



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**ESTUDIO GEOTÉCNICO DE TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS
CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO, DEL KM. 0+000 AL
KM. 8+000, UBICADO EN EL ESTADO DE TABASCO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:
SAÚL ALBERTO BERRIEL BUENFIL

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. CAROLINA HERNÁNDEZ VALERIO

NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO, 2022





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

DEDICATORIA

A mis padres:

Laudelina Elizabeth Buenfil Monsreal

Fausto Berriel Cobos

A mi hermano:

Maximiliano Josué Berriel Buenfil

A mi familia:

Mis tíos y abuelos

A Alina Iris Garcini Ponce

AGRADECIMIENTOS

A mi alma máter:

Universidad Nacional Autónoma de México

A mi universidad:

Facultad de Estudios Superiores Aragón

A mi tutora:

Dra. Carolina Hernández Valerio

A mis amigos:

Gabriel Soriano Santiago

Néstor López Elizarrarás

Un agradecimiento muy especial para:

Dra. Maribel Trujillo Valladolid

M. en C. Marjorie Márquez Vázquez

Ing. Ivonne Alejandra Álvarez Ramírez

M. en I. Tomás Romero Olán

Ing. Juan Carlos Carballo Vázquez

**ESTUDIO GEOTÉCNICO DE TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS CORTIJO
NUEVO - NUEVO PROGRESO, DEL KM. 0+000 AL KM. 8+000, UBICADO EN
EL ESTADO DE TABASCO**

ÍNDICE

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
Introducción	1
Justificación	2
Objetivos	3
Alcances	4
CAPÍTULO II ANTECEDENTES	5
2.1. CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS	6
2.2. DISEÑO DE UNA CARRETERA.....	8
2.3. TIPO DE PAVIMENTOS	32
2.4. CAPAS DEL PAVIMENTO.....	38
2.5. ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA TERRACERÍAS.....	43
2.6. ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA PAVIMENTOS.....	53
2.7. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO DE LA AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO)	55
2.8. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM (DISPAV-5).....	72
CAPÍTULO III CONDICIONES REGIONALES.....	84
3.1. FISIOGRAFÍA Y MORFOLOGÍA.....	85
3.2. GEOLOGÍA	87
3.3. HIDROLOGÍA.....	89
3.4. CLIMA	92
CAPÍTULO IV ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA TERRACERÍAS.....	95
4.1. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA TERRACERÍAS	95
4.2. MUESTREO Y EXPLORACIÓN PARA TERRACERÍAS	99
4.2.1. Ejecución de sondeos para terracerías.....	99
4.2.2. Estratigrafía	100

4.2.3. Exploración de bancos de materiales para terracerías	102
4.3. LABORATORIO DE TERRACERÍAS	106
4.3.1. Pruebas de laboratorio de muestras obtenidas en sondeos	106
4.3.2. Pruebas de laboratorio de muestras obtenidas en bancos de materiales	109
4.4. DATOS PARA CURVA MASA	110
CAPÍTULO V ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA PAVIMENTOS	118
5.1. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA PAVIMENTOS	118
5.2. MUESTREO Y EXPLORACIÓN DE BANCOS PARA PAVIMENTOS	118
5.3. LABORATORIO DE BANCOS PARA PAVIMENTOS	118
5.4. DISEÑO DEL PAVIMENTO	124
5.4.1. Estudio de tránsito	124
5.4.2. Solución por el método AASHTO.....	126
5.4.3. Solución por el método de la UNAM (DISPAV-5)	130
5.4.4. Sección estructural final del pavimento.....	141
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	146
ANEXO A – REPORTE FOTOGRÁFICO DE LOS SONDEOS (PCA)	155
ANEXO B – ESTRATIGRAFÍA.....	158
ANEXO C – REPORTE FOTOGRÁFICO DE LOS BANCOS DE MATERIALES Y TABLA DE RESUMEN GENERAL	160
ANEXO D – PRUEBAS DE LABORATORIO DE LOS SONDEOS (PCA).....	162
ANEXO E – PREUBAS DE LABORATORIO DE LOS BANCOS DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS	196
ANEXO F – PRUEBAS DE LABORATORIO DE LOS BANCOS DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS	205

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Introducción

Durante años las vías de comunicación terrestre han sido de suma importancia en la sociedad pues juegan un papel fundamental en el desarrollo económico y social gracias al traslado de personas, mercancías y bienes.

Las vías férreas y carreteras conforman este gran modo de transporte, el cual tiene como uno de sus objetivos principales comunicar y desarrollar poblaciones alejadas y de difícil acceso con las ciudades más desarrolladas. En este trabajo se hace énfasis en el segundo tipo de vía terrestre, es decir, las vías carreteras y, en particular, en el diseño (desde el punto de vista geotécnico) de un camino rural ubicado en el municipio de Tenosique en el estado de Tabasco.

Actualmente la red carretera nacional consta de 407,958 km, de los cuales: 51,197 km corresponden a la red carretera federal y 356,761 km integran la red rural y alimentadora, siendo la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) la que establece las políticas y programas necesarios para desarrollar el transporte y las comunicaciones de acuerdo con las necesidades del país, otorgando concesiones y licencias para operar servicios de transporte de carga a través de estas carreteras (y también en ferrocarriles, transporte aéreo y marítimo) monitoreando el desempeño de las operaciones y el cumplimiento de las disposiciones legales pertinentes.

Por otro lado, como apoyo a la SICT, se encuentra el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) el cual es una institución referente a nivel nacional e internacional que realiza trabajos de investigación, innovación tecnológica y, formulación y actualización de normas técnicas, para contribuir a la mejora del transporte. Ofrece sus estudios económicos y sociales; así como sus investigaciones en seguridad y competitividad en materia de transporte e infraestructura para vías terrestres en apoyo a la tecnología del transporte de nuestro país.

La SICT y el IMT trabajan en conjunto para el desarrollo de las vías carreteras, desde los trabajos de exploración hasta el proceso de diseño y construcción. Para que una carretera sea segura y de calidad debe contar con una buena estructura de pavimento pues es sobre ésta donde los vehículos se desplazan, por lo que es menester que se diseñe y construya bajo la normativa de las dependencias antes mencionadas para garantizar un buen funcionamiento.

En este trabajo se recopila y analiza la información necesaria que se llevó a cabo para diseñar un pavimento flexible en el municipio de Tenosique, en el estado de Tabasco, iniciando con un análisis geológico-geotécnico del sitio y de los materiales, hasta desarrollar las metodologías necesarias para ejecutar dicho diseño de la estructura del pavimento. Lo mencionado anteriormente fue efectuado bajo la

normativa correspondiente a la SICT, señalando los criterios que se deben considerar para el desarrollo de un camino rural garantizando la calidad de la obra durante su vida útil.

Los datos que se emplearon para este trabajo fueron proporcionados por la empresa DINER, Supervisión y Proyectos, S.A. de C.V., a través de la entonces Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), por medio del proyecto "*Elaboración de los Estudios y Proyectos de Ingeniería de los caminos: "E.C. Km. 3+750 (Tenosique - Santo Tomas) - Lic. Luis Echeverría Álvarez, tramo del Km. 0+000 al Km. 2+600, con una meta de 2.6 Km., incluye ramal a Javier Rojo Gómez, tramo del Km. 0+000 al Km. 2+400, con una meta de 2.4 Km.", así como "Cortijo Nuevo - Nuevo Progreso, tramo del Km. 0+000 al Km. 8+000, con una meta de 8.0 Km.", y "E.C. (Francisco I. Madero - Corregidora Ortiz) - Niños Héroes de Chapultepec, tramo del Km. 0+000 al Km. 2+000, con una meta de 2.0 Km.", todos ubicados en el estado de Tabasco*".

El primer capítulo introduce al lector al tema de desarrollo y da a conocer los objetivos que se plantea en dicho trabajo, así como los alcances que tuvo el proyecto para su realización y progreso.

El segundo capítulo expone la teoría necesaria para la comprensión de los futuros subtemas en relación con los conceptos de carreteras y pavimentos. Se explica a detalle qué son, para qué sirven y cuál es el proceso que se debe seguir en su diseño y construcción.

El tercer capítulo muestra cuáles son las condiciones geológicas, climáticas e hidrológicas del sitio en estudio, con el propósito de entender la situación regional del lugar, y tener una perspectiva más amplia de las circunstancias a las que estará sometida y expuesta la estructura vial y, sobre todo, la del pavimento.

El cuarto y quinto capítulo son los de mayor importancia pues en ellos se concentra la información y los trabajos necesarios para dar resolución a los objetivos planteados. El cuarto capítulo trata sobre los estudios geotécnicos que se llevaron a cabo en el camino y los bancos (durante las exploraciones) para las terracerías; y el quinto capítulo sobre los estudios geotécnicos que se llevaron a cabo a los bancos de materiales para el pavimento, así como el diseño estructural del mismo.

El sexto y último capítulo argumenta cuáles fueron las conclusiones finales del proyecto, se menciona la estructura propuesta del pavimento con base en los análisis de los estudios geotécnicos y expone algunas observaciones y recomendaciones que se hicieron durante el desarrollo del estudio.

Justificación

El municipio de Tenosique se localiza en la región a orillas del Río Usumacinta, en el estado de Tabasco. Al norte limita con el municipio de Balancán, al sur y al este con la República de Guatemala y al oeste con el municipio de Emiliano Zapata,

Chiapas. Tiene como cabecera municipal a la ciudad de Tenosique de Pino Suárez, entre los paralelos 17°28' N y 91°25' O.

Tenosique, al igual que muchos otros municipios del país, se encuentra en constante crecimiento y una de las finalidades de construir dicho camino vial es comunicar al poblado de Santo Tomás (17°18'16.37"N, 91°21'9.12"O) localizado a 23 km al sur de la cabecera municipal, con el poblado de Nuevo Progreso (17°15'12.23"N, 91°16'5.77"O) el cual alberga al "Campo béisbol y fútbol diablos de progreso" que ha pasado a ser uno de los lugares más relevantes para los habitantes de los alrededores.

Ya que las conexiones a los diferentes municipios colindantes con Tenosique no cuentan con un sistema carretero es indispensable la presencia de éste ya que de esta manera la comunicación entre cada uno de estos municipios resultará beneficioso para el desarrollo de los mismos, por eso que es necesaria la construcción de caminos que alimenten estos municipios pues así los pobladores originarios de estos lugares podrán tener un mejor traslado sin sufrir daños en sus vehículos, aminorando sus tiempos, y los turistas interesados en conocer estos lugares del país podrán moverse con mayor comodidad, beneficiando la economía de la región.

Objetivos

- Evaluar las condiciones geológicas – geotécnicas regionales para la construcción del camino Cortijo Nuevo – Nuevo Progreso en el municipio de Tenosique, estado de Tabasco.
- Proponer y evaluar bancos de materiales para la construcción de las diferentes capas estructurales del pavimento que formará la carretera.
- Emitir recomendaciones para el proyecto de terracerías para el uso de los materiales de la zona en la subrasante de la carretera, el tratamiento que requiere y su presupuesto de acuerdo con su clasificación de corte o terraplén.
- Diseñar la propuesta de pavimento flexible con base en los estudios geotécnicos correspondientes mediante diferentes métodos.
- Determinar los posibles problemas geotécnicos que pueden ocurrir durante la construcción de la carretera y proponer posibles soluciones y/o recomendaciones.

Alcances

Los alcances para este proyecto se limitaron a lo siguiente:

1. Visita técnica del sitio para reconocimiento geológico-geotécnico.
2. Revisión y análisis de información de sondeos (PCA) a cada 500 m, a una profundidad de 3 metros, hasta encontrar el NAF o un estrato rocoso.
3. Revisión y análisis de información de la exploración y ejecución de sondeos en dos bancos de materiales para la construcción de las capas que conformarán el pavimento.
4. Revisión del estudio de tránsito llevado a cabo en tres días consecutivos, con 16 horas continuas, de forma manual para determinar la tasa de crecimiento y el TDPA utilizados en el diseño posterior del pavimento.
5. Recopilación y ordenamiento de los datos obtenidos en campo y en laboratorio para la determinación de la estratigrafía del terreno y la obtención de la curva masa para trabajos de terracerías.
6. Diseño del pavimento flexible mediante un método empírico – experimental y un método empírico – mecanicista.

CAPÍTULO II ANTECEDENTES

Una carretera es una infraestructura vial de dominio y uso público, diseñada y construida para la circulación de vehículos, de manera continua, permitiendo la comunicación y transporte de personas y mercancías a una o varias poblaciones.

Aquellas zonas que cuentan con una buena carretera u obra vial son beneficiadas por las diferentes actividades que surgen debido a su uso. Casetas, gasolineras o tiendas de conveniencia son importantes fuentes de empleo para los pobladores de los alrededores. Además, el traslado de alimentos, artículos de sanidad, educación, entre otros más, contribuye a una mejor calidad de vida para los habitantes, dando respuesta a todas sus necesidades.

Para que un camino carretero pueda cumplir con los objetivos señalados anteriormente, es importante que el proyecto parta de un buen diseño geométrico. Cárdenas (2013) menciona que través del diseño geométrico se establece la configuración geométrica de la carretera con la finalidad de que ésta sea funcional, segura, cómoda, económica y compatible con el medio ambiente:

“Una vía será funcional de acuerdo a su tipo, características geométricas y volúmenes de tránsito, de tal manera que ofrezca una adecuada movilidad a través de una velocidad de operación suficiente.

La geometría de la vía tendrá como premisa básica la de ser segura, a través de un diseño simple, uniforme y consistente.

La vía será cómoda en la medida en que se disminuyan las aceleraciones de los vehículos y sus variaciones, lo cual se logrará ajustando las curvaturas de la geometría y sus transiciones a las velocidades de operación por las que optan los conductores a lo largo de los tramos rectos.

La vía será estética al adaptarla al paisaje, permitiendo generar visuales agradables a las perspectivas cambiantes, produciendo en el conductor un recorrido fácil.

La vía será económica, cuando cumpliendo con los demás objetivos, ofrece el menor costo posible tanto en su construcción como en su mantenimiento.

Finalmente, la vía deberá ser compatible con el medio ambiente, adaptándola en lo posible a la topografía natural, a los usos del suelo y al valor de la tierra, y procurando mitigar o minimizar los impactos ambientales” (p. 2).

Por otra parte, la construcción de una carretera tiene como consecuencia la modificación del terreno natural: cortes y terraplenes son acciones o soluciones muy comunes que resultan de las actividades de movimientos de tierra, las cuales son ejecutadas según las indicaciones del proyecto.

De acuerdo con la norma *N·CTR·CAR·1·01·003/11*, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), los cortes son excavaciones ejecutadas en: el terreno natural, en ampliación de taludes, en derrumbes y en rebajes de la corona de cortes o terraplenes existentes; con el objeto de preparar y formar la sección de la obra de acuerdo con lo indicado en el proyecto.

Por otro lado, de acuerdo con la norma *N·CTR·CAR·1·01·009/16*, de la SCT, los terraplenes son estructuras que se construyen con materiales de cortes o procedentes de bancos, con el fin de obtener el nivel de subrasante que indique el proyecto, ampliar la corona, cimentar estructuras, formar bermas y bordos, y tender taludes.

Como se puede observar es importante diseñar, construir y mantener una buena infraestructura vial pues no sólo se generan empleos y se mantiene activa la economía de un sector público; sino además se garantiza la seguridad de todos los usuarios, e incluso puede ser la ruta de ayuda o escape ante cualquier catástrofe natural.

2.1. CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS

De acuerdo al *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018*, de la SCT, las carreteras se clasifican de la siguiente manera:

Clasificación administrativa

Se utiliza para denotar los diferentes niveles de responsabilidades gubernamentales, así como el financiamiento, modernización y conservación de las mismas. A continuación, se describe dicha clasificación de acuerdo al *PROGRAMA SECTORIAL DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES 2001 – 2006*, de la SCT.

- **Red federal:** Es atendida en su totalidad por el gobierno federal. Registra la mayor parte de los desplazamientos de pasajeros y cargas entre ciudades y canaliza los recorridos de largo itinerario, los relacionados con el comercio exterior y los producidos por los sectores más dinámicos de la economía nacional.
- **Red estatal:** Cumplen una función de gran relevancia para la comunicación regional, para enlazar las zonas de producción agrícola y ganadera y para asegurar la integración de extensas áreas en diversas regiones del país.
- **Red rural:** Son vías modestas y en general no pavimentadas; su valor es más social que económico, pues proporcionan acceso a comunidades pequeñas que de otra manera estarían aisladas. Sin embargo, su efecto en las actividades y la calidad de vida de esas mismas comunidades es de gran trascendencia.

Clasificación normativa

Esta clasificación también puede considerarse como técnica, ya que se respalda en las características geométricas de las carreteras a partir de datos básicos como son el volumen horario de proyecto, el vehículo de proyecto, velocidades de proyecto, distancias de visibilidad de parada, de rebase o de encuentro, según sea el caso.

En otras palabras, esta clasificación está en función del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), es decir, el promedio de los volúmenes diarios registrados durante un año.

A continuación, la descripción de cada tipo de carretera se obtuvo del *REGLAMENTO SOBRE EL PESO, DIMENSIONES Y CAPACIDAD DE LOS VEHÍCULOS DE AUTOTRANSPORTE QUE TRANSITAN EN LOS CAMINOS Y PUENTES DE JURISDICCIÓN FEDERAL*, del año 2006, del Diario Oficial de la Federación (DOF).

- **Carretera tipo ET:** Forma parte de los ejes de transporte establecidos por la SCT, cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, así como de otros que por interés general autorice la SCT, y que su tránsito se confine a este tipo de caminos.

- **Carretera tipo A:** Por sus características geométricas y estructurales permite la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, excepto aquellos vehículos que por sus dimensiones y peso sólo se permitan en las carreteras tipo ET.
 - *Tipo A2:* para un TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos.
 - *Tipo A4:* para un TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos.

- **Carretera tipo B:** Conformar la red primaria y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales presta un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.
 - Esta carretera es para un TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos.

- **Carretera tipo C:** Conformar la red secundaria y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.
 - Esta carretera es para un TDPA de 500 a 1,500 vehículos.

-
-
- **Carretera tipo D:** Conforman la red alimentadora y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente presta servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.

- Esta carretera es para un TDPA de 100 a 500 vehículos.

2.2. DISEÑO DE UNA CARRETERA

El diseño de una carretera es una labor en la que los ingenieros civiles participan activamente, no obstante, otras disciplinas más intervienen para garantizar un trabajo seguro y beneficioso para la población y los usuarios que la transitarán. Tal es el caso de los ingenieros topógrafos, ingenieros hidráulicos, ingenieros geólogos, urbanistas, entre otros.

Cabe señalar que, dependiendo el aforo vehicular, el lugar donde se proyectará el tramo carretero (topografía); así como de las condiciones climáticas, hidrológicas y geológicas del sitio; pueden variar algunos datos para el diseño de una carretera.

Los siguientes conceptos son clave para el diseño de una carretera, se deben tomar en cuenta para garantizar que la obra será segura y cumplirá con los objetivos del proyecto.

Topografía

La norma *N·PRY·CAR·1·01·001/07*, de la SCT, define al estudio topográfico como el conjunto de actividades, de campo y gabinete, necesarias para representar de manera gráfica y a una escala adecuada, la topografía de un lugar por medio de sus proyecciones horizontales (planimetría) y verticales (altimetría), identificando los puntos característicos de las obras que existen en el lugar.

El levantamiento topográfico es un estudio técnico y descriptivo de un terreno donde se examina la superficie terrestre en la cual se tienen en cuenta las características físicas, geográficas y geológicas del terreno, pero también sus variaciones y alteraciones (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2018). Tiene como finalidad mostrar los rasgos topográficos tales como drenajes, afloramientos y pendientes del terreno; las distancias horizontales y las elevaciones o cotas mediante curvas de nivel, a escalas convenientes, para la interpretación del ingeniero y para la adecuada representación de la carretera; y de las demás estructuras que la componen (Keller y Sherar, 2003/2004; Ministerio de Transportes y Comunicaciones, de Perú [MTC], 2008).

Todas estas actividades son plasmadas y dibujadas en un plano topográfico en el cual se muestran las edificaciones, cercas, caminos, ríos, lagos y bosques, así como las diferencias de altura como valles y colinas. Se basan en los datos que se

recogen durante los levantamientos topográficos (Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital [UAECD], s.f.).

En los caminos carreteros es necesario localizarlos de tal manera que se adapten a la configuración del terreno, como lo muestra la Figura 2.1 (Keller y Sherar, 2003/2004).

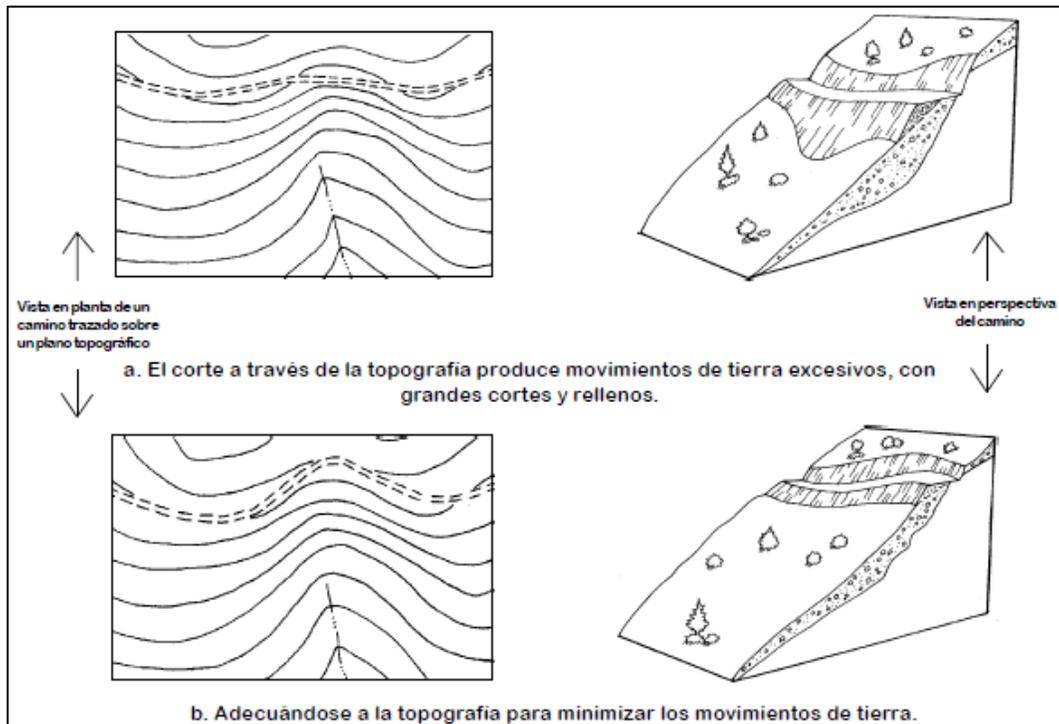


Figura 2.1. Alteraciones del alineamiento del camino en función de la topografía (Keller y Sherar, 2003/2004).

Estudios topográficos para carreteras

La norma *N·PRY·CAR·1·01·001/07* define los siguientes tipos de estudio topográfico para carreteras:

a) Estudio topográfico para proyecto preliminar (básico) de la carretera:

Es el conjunto de trabajos necesarios para trazar, nivelar y referenciar en el campo el eje preliminar de la carretera; así como obtener su perfil y la topografía del terreno; esto con el propósito de proveer al proyectista la información topográfica necesaria que le permita determinar los ejes definitivos del camino, así como elaborar el anteproyecto de la carretera. El eje preliminar del camino corresponde al eje de la ruta definitiva previamente seleccionada que se determina sobre las plantas topográficas producto del estudio aerofotogramétrico y se señala con sus puntos característicos, como los puntos de inflexión (PI) y los puntos sobre tangente (PST), que identifican secciones especiales.

Entre las actividades que se desarrollan en estos estudios se encuentra el ya mencionado estudio aerofotogramétrico con el cual se pueden conocer las dimensiones y posiciones de los objetos en el espacio, a través de la medida o medidas realizadas a partir de la intersección de dos o más fotografías, o de una fotografía del terreno correspondiente al lugar representado. Al ser un estudio aéreo, por obvias razones las estaciones se encuentran en el aire y es muy utilizado para la elaboración de planos y/o mapas para el desarrollo de proyectos de ingeniería (Topoequipos S.A., s.f.).

b) Estudio topográfico para proyecto definitivo (de detalle) de la carretera:

Es el conjunto de trabajos necesarios para trazar, nivelar y referenciar en el campo los ejes definitivos del camino y de las obras menores de drenaje, así como obtener sus perfiles y sus secciones transversales, con el propósito de proveer al proyectista la información topográfica que le permita ejecutar la ingeniería de detalle para elaborar el proyecto ejecutivo de la carretera.

De acuerdo a la norma, el eje definitivo es el eje que, después de un análisis de alternativas, se elige como el más conveniente para el camino dentro de la ruta seleccionada, con base en el eje preliminar.

Transito Diario Promedio Anual (TDPA)

El TDPA se define como el número de vehículos que pasan por un determinado sitio, a lo largo del año, dividido entre el número de días que conforman el año (SCT, 1984). Al número de vehículos que pasan por el sitio o el tramo carretero, en cierto tiempo, se le conoce también como volumen vehicular. Este número se determina con un conteo o aforo que, dependiendo su duración, el volumen puede ser horario, diario, semanal, mensual o anual. El aforo puede realizarse con operarios o contadores mecánicos.

Para poder determinar el TDPA con precisión, se hace uso de estaciones permanentes. En ocasiones este aforo puede verse limitado por lo que el TDPA se tiene que calcular corrigiendo el número de vehículos, dividido entre el número de días contados.

Aun cuando el TDPA es de suma importancia en diversos estudios, no es la mejor opción para el proyecto geométrico ya que no muestra las variaciones de periodos cortos que se podrían considerar en todo el año. Es más frecuente utilizar el volumen horario, sin embargo, el flujo en una carretera puede variar a lo largo de las horas del día creando problemas a lo largo del año. Por lo antes mencionado, será necesario determinar cuál es la mejor opción para el proyecto (SCT, 2018).

Se debe tener en cuenta que si se hace uso del máximo volumen horario de tránsito resultará un diseño muy conservador provocando un desperdicio de recursos. Por

otro lado, el volumen horario promedio originaría un diseño escaso e inapropiado. Por esta razón, el volumen horario del proyecto se deberá seleccionar a partir de un cálculo estadístico de los volúmenes de todo el año, ordenados en forma descendente.

Las características de operación, así como los tamaños y pesos de los vehículos deben ser considerados en un proyecto carretero. Los camiones son más pesados, más voluminosos y más lentos que los vehículos ligeros. A mayor proporción de camiones en la corriente de tránsito, mayor capacidad requerirá la carretera (SCT, 2018).

Es menester que la carretera nueva o existente se proyecte para un tránsito que hará uso de ella a lo largo de toda su vida útil, por ello, el proyecto no se puede basar en los volúmenes de demanda actual sino en los que se espera a futuro. Por esta razón es que se emplea el término de “horizonte de proyecto”, que es el periodo para el cual se proyecta la carretera (SCT, 2018).

Resulta muy difícil determinar la vida útil de una carretera ya que la mayoría termina excediendo su tiempo de uso.

TDPA en el diseño

Para el caso de carreteras pavimentadas, el estudio de TDPA permite establecer el efecto destructivo que tendrá el tránsito sobre el pavimento por lo que se logrará diseñar el pavimento deseado, dándose alternativas de diseño en función de los materiales a utilizarse (MTC, 2008).

Para un volumen de tránsito que se determina con el estudio de TDPA, es importante obtener el número de vehículos que transitan por la vía, así como sus pesos, pues al ser cargas móviles generan daños al pavimento (deformaciones, fallas o hundimientos) mismos que pueden y deben prevenirse en el diseño.

Existen diversos métodos de diseño para pavimentos, sin embargo, Rico et al. (1998) mencionan que el Método AASHTO y el Método de la UNAM son de los más utilizados en México. Éstos requieren de los resultados obtenidos en el estudio de TDPA puesto que son variables importantes en la metodología de cada diseño.

Proyecto geométrico

El proyecto geométrico son los estudios de campo, la elección de la ruta vial y la determinación de los parámetros de diseño que, en conjunto, dan como origen la geometría general del camino, así como los volúmenes de material necesarios para su construcción (Proyectos. Consultoría y Construcción de Vías Terrestres S.A. de C.V. [PROCCSA], s.f.-b).

Consiste en ejecutar el diseño de la carretera correlacionando sus elementos físicos y las características operativas de los vehículos, prestando atención a las

normativas en alineamiento horizontal, alineamiento vertical y las secciones transversales. Estos tres elementos se muestran en la Figura 2.2.

Durante este proceso se determinan las características geométricas de la vía a través del tránsito, topografía y velocidades, con la finalidad de que el conductor pueda circularla de manera cómoda y segura.

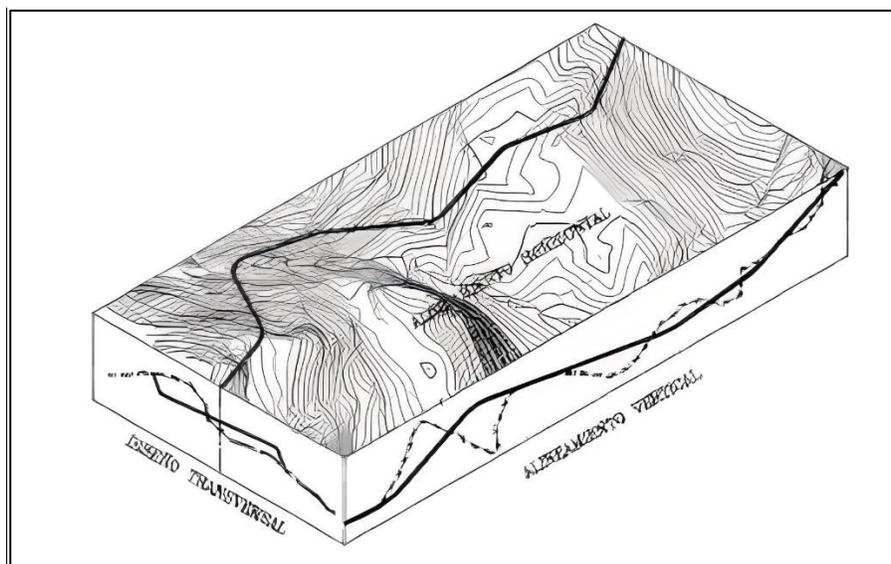


Figura 2.2. Componentes del diseño geométrico (Agudelo, 2002).

Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal se define como el conjunto de tangentes (rectas) y curvas que determinan el eje de trazo del camino. Para que el alineamiento horizontal sea adecuado debe de cumplir con ciertas características de longitudes de tangentes, grados de curvatura y distancias a obstáculos (PROCCSA, s.f.).

El *MANUAL DE PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS 2018* define a la tangente horizontal como la recta que une dos curvas horizontales consecutivas y está en función de la seguridad del usuario pues sugiere que el empleo de tangentes muy largas puede generar somnolencia al mantener concentrada la atención en puntos fijos durante bastante tiempo o deslumbramientos durante la noche, provocando accidentes; por tal razón, conviene limitar la longitud de las tangentes sustituyéndolas con tangentes de menor longitud y curvas horizontales de gran radio.

Según el *MANUAL PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO* (MTC, 2008) el alineamiento horizontal debe permitir la circulación continua y segura de los vehículos, manteniendo una velocidad constante durante el tramo carretero. Esto se logra si se adecuan las condiciones del relieve y si se disminuyen los cambios de dirección evitando el

empleo de curvas con radio mínimo, así como transiciones muy marcadas de una zona de curvas de grandes radios a otra de menores radios.

En la Tabla 2.1 se muestran los valores de radio mínimo (R_{MIN}) para cada velocidad de proyecto (V_P), es decir, la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un camino y que está en función del tipo de camino a proyectar (SCT, 2018).

Tabla 2.1. Radios mínimos en función de las velocidades de proyecto (Modificado de SCT, 2018).

V_P (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
R_{MIN} (m)	19.1	38.2	67.41	104.17	152.79	208.35	269.63	352.59	458.37

En la Figura 2.3 se ilustra una curva en alineamiento horizontal.

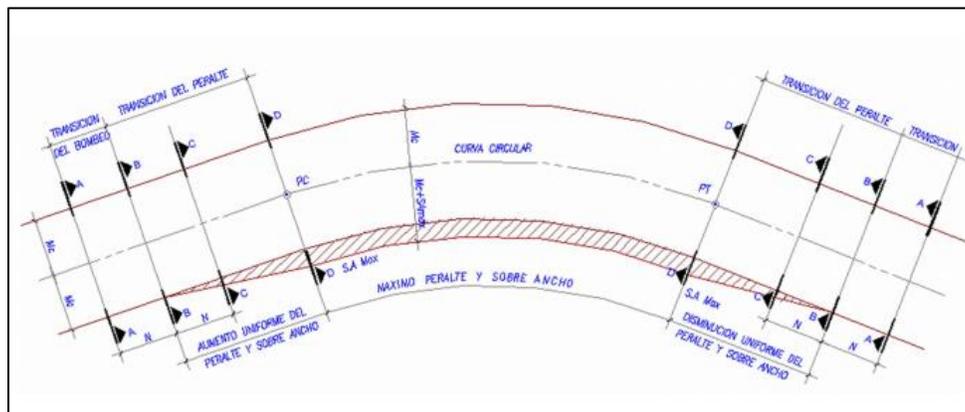


Figura 2.3. Alineamiento horizontal (Navarro, 2011).

Alineamiento vertical

El alineamiento vertical es el conjunto de pendientes y curvas verticales que definen al eje de la subcorona o la línea subrasante. Es necesario que se cumplan las características de pendientes, longitudes críticas y distancias de visibilidad para que el alineamiento vertical sea el idóneo (PROCCSA, s.f.).

Navarro (2011) menciona que el alineamiento vertical depende de la configuración topográfica del terreno donde se ejecute la obra. Está compuesto de líneas rectas y curvas sobre el plano vertical, denotando pendientes ascendentes con signo positivo (+) y descendientes con signo negativo (-), expresadas en porcentajes, como se muestra en la Figura 2.4.

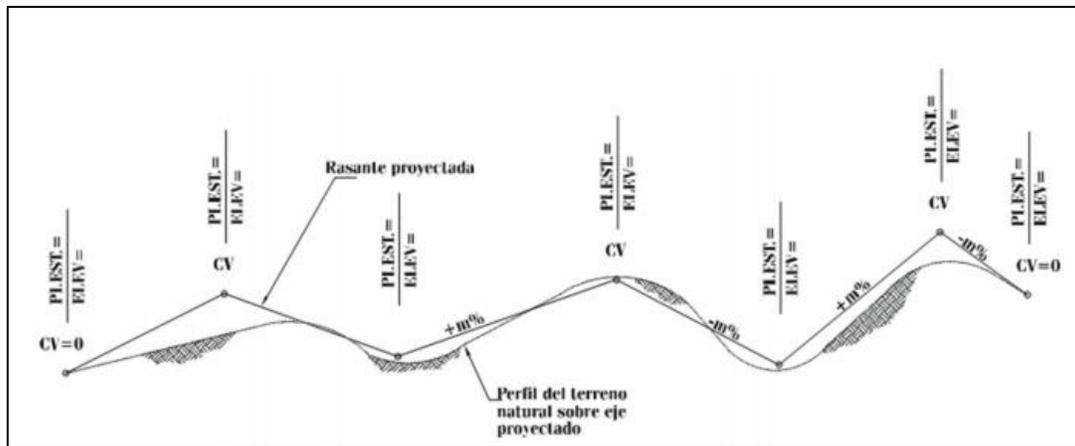


Figura 2.4. Alineamiento vertical (Navarro, 2011).

La orografía del lugar donde se ubica la carretera influye demasiado en el alineamiento vertical. Si en un terreno montañoso se quisiera mantener el alineamiento que corresponde a un terreno plano, los grandes cortes y terraplenes que se harían implicarían altos costos que probablemente no podrían asumirse. Por lo tanto, es necesario mantener un equilibrio entre la geometría y el costo; garantizando la seguridad y el menor impacto económico y ambiental (SCT, 2018).

Para fines del proyecto del alineamiento vertical, la SCT (2018) define los siguientes conceptos:

- a) **Pendiente mínima:** Es la pendiente menor que permite el buen drenaje de la precipitación pluvial. En los cortes puede ser 0.5 por ciento; aunque en ocasiones la longitud de corte y precipitación pluvial hacen necesario aumentarla. En terraplenes puede ser cero, toda vez que el agua escurre a través del bombeo.
- b) **Pendiente máxima:** Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto de la carretera. Se recomienda de acuerdo con la jerarquía de la carretera; pero se debe usar lo menos que permita la configuración orográfica.
- c) **Pendiente gobernadora:** Es la pendiente uniforme con que se pueden unir dos puntos obligados de la carretera. Un punto obligado es aquel seleccionado por el proyectista, para fines de control, por el que necesariamente tienen que pasar los alineamientos. La línea en planta que resulta del uso de esta pendiente, conocida coloquialmente como "línea a pelo de tierra" es muy útil para definir el alineamiento horizontal en las primeras etapas del proyecto y se selecciona en función de la jerarquía de la red y del tipo de carretera, así como de las características del tránsito y de la configuración del terreno.

Las pendientes, gobernadora y máxima, de una carretera deben ser las menores posibles, siempre que sean compatibles con las condiciones orográficas, pero no deben superar los valores de la Tabla 2.2:

Tabla 2.2. Pendientes gobernadoras y máximas de cada carretera, en función del tipo de terreno (Modificado de SCT, 2018).

Tipo de carretera	Tipo de terreno	Pendiente gobernadora	Pendiente máxima								
			40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	
ET y A	Plano	2%	-	-	-	-	-	-	-	5%	4%
	Lomerío	3%	-	-	-	-	-	-	5%	5%	-
	Montañoso	4%	-	-	-	-	6%	5%	-	-	-
B	Plano	3%	-	-	-	-	-	6%	6%	5%	-
	Lomerío	4%	-	-	-	-	6%	6%	-	-	-
	Montañoso	5%	-	-	-	7%	6%	-	-	-	-
C	Plano	4%	-	-	-	-	6%	6%	-	-	-
	Lomerío	5%	-	-	7%	6%	-	-	-	-	-
	Montañoso	6%	-	8%	7%	-	-	-	-	-	-
D	Plano	6%	-	-	8%	7%	-	-	-	-	-
	Lomerío	7%	-	8%	8%	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	8%	9%	8%	-	-	-	-	-	-	-

Los automóviles pueden ascender hasta pendientes del 5% sin bajar su velocidad; sin embargo, los camiones reducen drásticamente su velocidad a medida que ascienden, provocando retrasos en los demás vehículos, generando problemas de seguridad y economía. Por ello, se requiere que no se exceda la longitud crítica que es la máxima sobre la cual un camión cargado puede subir sin reducir su velocidad más allá del límite establecido (SCT, 2018).

Si la orografía del terreno no permite acortar las longitudes ascendentes, se puede incorporar carriles adicionales para el ascenso o rampas de frenado en el descenso, considerando el costo que implica cada solución.

Sección transversal

El seccionamiento transversal es la representación del corte transversal de un camino donde se aprecian los anchos de corona, los peraltes, obras complementarias y otros detalles. Para que el seccionamiento transversal sea adecuado debe cumplir con ciertas características de sobreanchos y sobreelevaciones máximas, taludes de corte y terraplén (PROCCSA, s.f.).

El *MANUAL DE PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS 2018* menciona que, de acuerdo con la posición del alineamiento vertical y su relación con el terreno natural, existen tres tipos de sección: en corte, en terraplén y en balcón, esta última contiene una parte en corte y otra en terraplén, que puede llegar a anularse.

Las secciones se proyectan cada veinte metros y sus características dependen del tipo de carretera. Por ejemplo, las carreteras multicarriles tienen un sólo cuerpo, con sentidos opuestos divididos (Figura 2.5).

La importancia de los elementos visibles de la sección transversal se debe a que sus características influyen en la elección de la velocidad del conductor. En curvas horizontales, la pendiente transversal es la sobreelevación, que tiene un valor máximo de 10% hacia el centro de la curva; en tangentes horizontales, la pendiente transversal hacia los lados de la corona se le denomina bombeo y su finalidad es desalojar el agua que cae sobre la carretera.

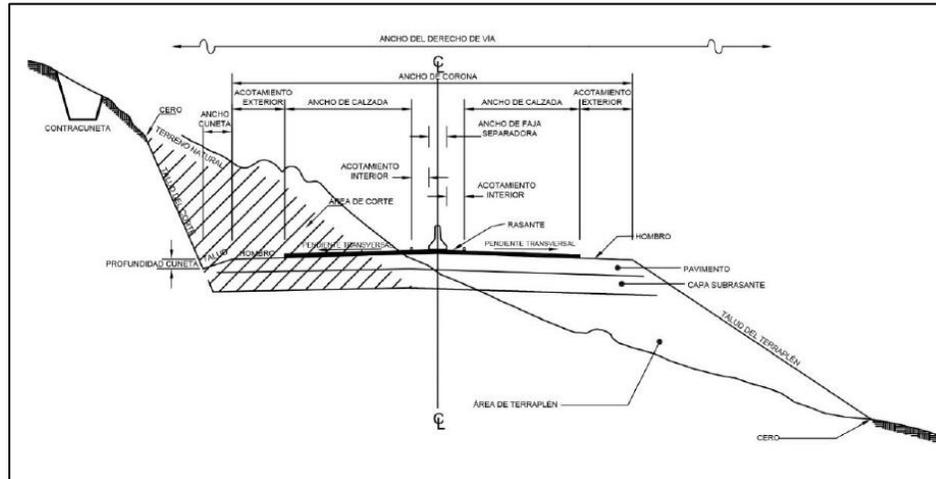


Figura 2.5. Sección de carretera de dos carriles (A2) (SCT, 2018).

En general, gracias a estos tres elementos que constituyen al proyecto geométrico (alineamiento vertical, horizontal y transversal), se puede obtener diferentes resultados como la planta general donde se representa el eje definitivo, curvas de nivel, características geométricas y coordenadas de puntos importantes; también el perfil longitudinal donde se observan las cotas y puntos importantes, así como obras de drenaje y estructuras; además de la curva masa, en la que se indican los volúmenes de material y distancias de acarreo (PROCCSA, s.f.).

Estudio hidrológico

El estudio hidrológico permite conocer los factores que influyen en la obtención de diseños adecuados que puedan garantizar el buen funcionamiento del sistema de drenaje proyectado. Asimismo, el estudio permite identificar y evaluar los sectores críticos de origen hídrico como deslizamientos, derrumbes, erosiones o asentamientos que puedan incidir negativamente en la conservación y permanencia de la estructura vial (Gómez, 2014).

Uno de los principales factores que pueden influir en el diseño del drenaje es el tamaño de la cuenca pues el caudal que ésta aporta está en función de sus condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, tipo de cobertura vegetal, tipo de manejo de suelo y capacidad de almacenamiento. Por esta razón, es primordial que se definan sus límites y su área de análisis e identificar si existe alguna estación de medición de escurrimiento y/o precipitación (Ergueta, 2019a; Gómez, 2014).



Figura 2.6. Cuenca (Modificado de Ergueta, 2019).

Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2018), una cuenca es una cavidad natural en la que se acumula agua de lluvia que circula hacia una corriente principal y finalmente llega a un punto común de salida (Figura 2.6). Es frecuente que las cuencas no dispongan de registros sobre el escurrimiento del líquido por lo que es necesario utilizar métodos empíricos donde se pueda relacionar las alturas de precipitación y ciertos coeficientes o parámetros que dependen de la topografía o región, para calcular el gasto de diseño.

De acuerdo con las *NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL DISEÑO Y EJECUCIÓN DE OBRAS E INSTALACIONES HIDRÁULICAS (2008)*, el gasto de diseño es el que se prevé que circulará en condiciones críticas en un sistema abierto o conducto; con base en él, se realizará el diseño de alguno de éstos.

Es fundamental que, sin importar qué estructura se vaya a realizar, ésta debe cumplir con un intervalo de tiempo de servicio para el que fue diseñada, es decir, que operará con los parámetros utilizados para su dimensionamiento (gasto de diseño, tipo de material, localización, entre otros), durante su vida útil.

A este intervalo de tiempo se le conoce como periodo de diseño y no deberá ser menor a los presentados en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Periodos de diseño (NTC – Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas, 2008).

Población (habitantes)	Periodo de diseño
Menos de 4,000	5 años

De 4,000 a 15,000	10 años
De 15,000 a 70,000	15 años
Más de 70,000	20 años

Estudio hidráulico

Como se vio en el anterior apartado y de acuerdo con la norma *N·PRY·CAR·1·06·001/18*, de la SCT el estudio hidráulico-hidroológico es el conjunto de trabajos de campo y gabinete (recopilación de información fisiográfica e hidrológica, levantamiento topográfico, análisis hidrológico, entre otros) que definen al diseño hidráulico.

Según el *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE* (MTC, 2008) el diseño hidráulico determina la sección hidráulica idónea para el libre paso y conducción del flujo líquido y el flujo de sólidos que eventualmente transportan los cursos naturales, sin causar daño a la carretera y a las propiedades adyacentes. Esto se logra a través de un buen sistema de drenaje con sus respectivas obras complementarias.

Ergueta (2019 a) menciona que la finalidad del drenaje en una carretera es eliminar el exceso de agua sobre la superficie del camino, así como restituir el drenaje natural afectado por la obra y evitar que el agua subterránea dañe la estabilidad de la base, del terraplén o de los taludes. Un exceso de agua en el suelo o en la conformación de la carretera podría afectar sus propiedades mecánicas mediante la transferencia de cargas, presiones en la porosidad, presiones hidrostáticas y cambios volumétricos.

Para garantizar un adecuada circulación y evacuación del agua, Ergueta (2019 b) y Olivera (2009) clasifican al drenaje, dependiendo si el escurrimiento se lleva a cabo sobre la corteza terrestre o en su interior, como: superficial (longitudinal y transversal) y subterráneo.

- **Drenaje superficial:** Consiste en un conjunto de obras (canales), que actúan directamente sobre la carretera y para el control de erosión de taludes; recolectando, canalizando y evacuando, hacia los cauces naturales o sistemas de alcantarillado, el agua de origen pluvial, por deshielo o emergimiento. Según la posición que la obra guarde con respecto al eje del camino, el drenaje superficial se puede clasificar en:
 - **Drenaje longitudinal:** Capta los escurrimientos evitando que lleguen a la carretera o permanezcan en ella y causen deterioros. Algunos ejemplos son las cunetas o bordillos.
 - **Drenaje transversal:** Se caracteriza por dar paso al agua que cruza de un lado al otro de la carretera, o bien, la evacúa de la corona del

modo más rápido posible, mediante lavaderos, vados, bombeo de la corona, entre otros.

- **Drenaje subterráneo:** Es un proceso constructivo que capta y evacua el agua subterránea modificando su nivel hasta donde no sea perjudicial para la carretera. El principal objetivo del drenaje subterráneo es controlar y limitar la humedad existente en el sitio, además de las diferentes capas del pavimento.

Olivera (2009) menciona que se debe tener presente que en la elección del tipo de drenaje interviene la adecuada funcionalidad hidráulica y estructural, condicionada a los siguientes factores:

- Materiales de construcción
- Forma de la sección del cruce
- Tipificación de las obras y dimensiones
- Altura del terraplén

En relación a la altura del terraplén, cuando la subrasante ya está definida, se deberá tomar en cuenta que algunos tubos o bóvedas (Figura 2.7) requieren de un colchón mínimo de terraplén en los hombros (0.60 m y 1.00 m respectivamente); de ser necesario, se deberá modificar la rasante para dar cabida al tipo de alcantarillado que sea más adecuado al propuesto inicialmente.



Figura 2.7. Bóveda (Tierra Armada, s.f.).

Por esta razón, Campoy y Heberto (1996) señalan que, al iniciar el estudio de la subrasante, debe analizarse su alineamiento horizontal, su perfil longitudinal y sus secciones transversales; así como la calidad de los materiales y la elevación mínima para alojar estructuras de drenaje (alcantarillas, puentes o pasos a desnivel) para evitar humedades perjudiciales a las terracerías o al pavimento, causadas por zonas de inundación o humedad excesiva en el terreno natural.

Obras complementarias de drenaje

De acuerdo con el manual *M·PRY·CAR·4·02·002/16*, de la SCT, las obras complementarias de drenaje se utilizan para captar, conducir y desalojar los caudales provocados por las aguas de lluvia que caen sobre la corona del camino, al igual que las aguas aportadas por los taludes de los cortes y por la cuenca que exista en la parte superior de dichos cortes.

A continuación, se muestra un listado de las obras complementarias que la SCT, por medio del manual *M·PRY·CAR·4·02·002/16*, aprueba para su empleo. Cada una de ellas tiene sus características y especificaciones técnicas de uso, así como sus respectivas fórmulas y recomendaciones de diseño, sin embargo, para este listado sólo se mostrará su breve descripción la cual está basada en la norma antes mencionada.

- **Bombeo:** Pendiente transversal que se le proporciona a la superficie de rodadura de la carretera, para permitir que el agua de lluvia escurra hacia los hombros del camino (Figura 2.8). En las carreteras de dos carriles, tipo ET, A, B y C, su pendiente transversal será del 2% desde el eje del camino hasta cada hombro de éste; para el caso de las carreteras tipo del bombeo será del 3%.

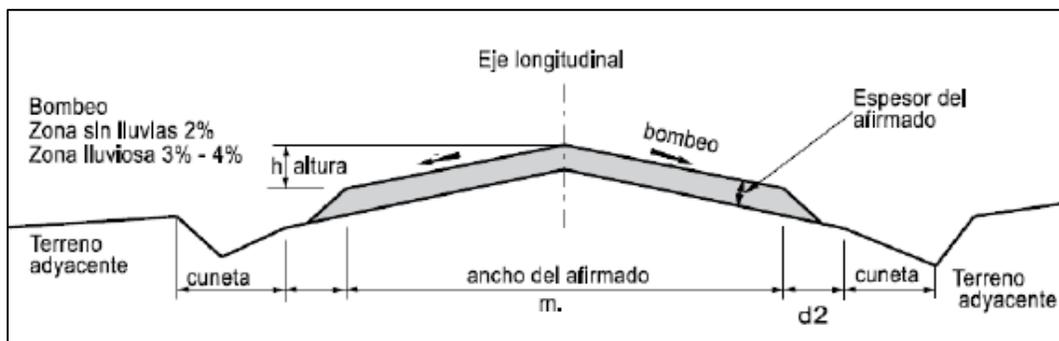


Figura 2.8. Sección transversal típica en recta (MTC, 2008).
 Nota: El objetivo de esta figura es sólo ilustrar el bombeo en una carretera.

- **Cuneta:** Son zanjas que se construyen adyacentes a los hombros de la corona (Figura 2.9) con el objetivo de interceptar el agua que escurra sobre la superficie de la corona y taludes para así conducirla hacia un sitio seguro.



Figura 2.9. Cuneta (COLETANCHE, s.f.).

- **Bordillo:** Son elementos que interceptan y conducen el agua que por el efecto del bombeo corre sobre la corona del camino (Figura 2.10), descargándola en los lavaderos para evitar la erosión de los taludes de los terraplenes.

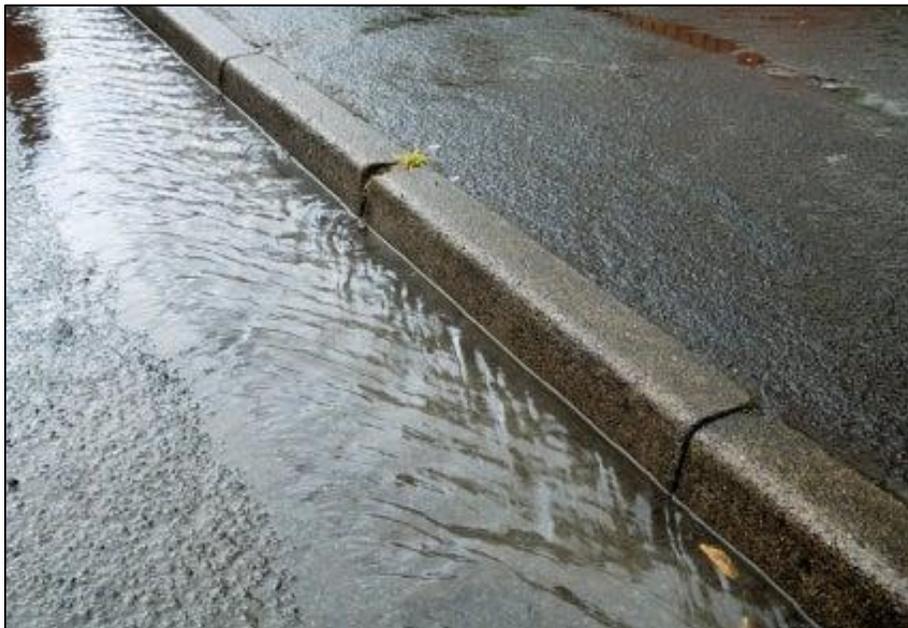


Figura 2.10. Bordillo (esp_imaging, 2008).

- **Lavadero:** Son canales que conducen y descargan el agua recolectada por los bordillos, cunetas y contracunetas, a lugares donde no cause daño a la estructura del pavimento (Figura 2.11). Los lavaderos se utilizan de tal manera que capturen el escurrimiento desde el punto superior y lo conduzcan hasta la parte inferior del corte.



Figura 2.11. Lavadero (Mindomo, s.f.).

- **Contracunetas:** Son zanjas o bordos que se construyen en las laderas localizadas aguas arriba de los taludes de los cortes (Figura 2.12), con el objeto de interceptar el agua que escurre sobre la superficie del terreno natural, y conducirla a una parte baja del terreno, para evitar la saturación hidráulica de la cuneta, el deslave o erosión al corte; la contracuneta será ubicada a una distancia mínima de 5 m a partir del cero al corte, teniendo en cuenta que el proyecto como la secretaría pueda indicar lo contrario.

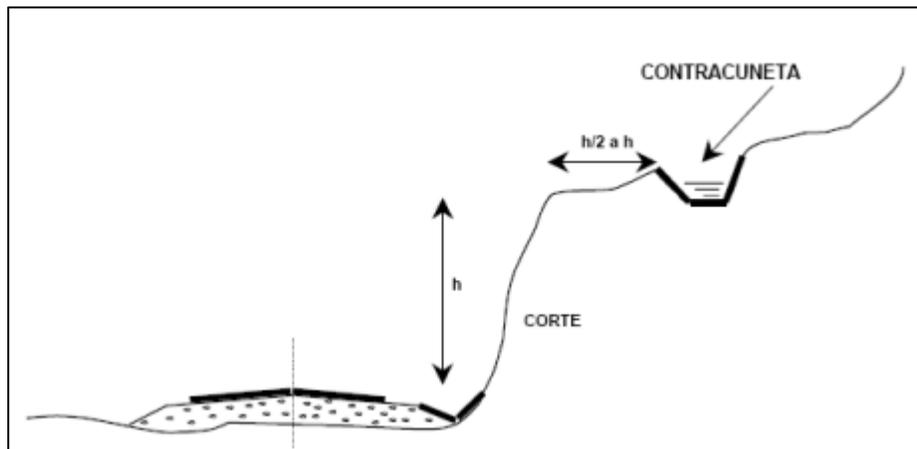


Figura 2.12. Localización de la contracuneta (Universidad de Guanajuato, 2008).

Geología y estudio de terracerías

Rico y Del Castillo (1977) definen al estudio geotécnico, para vías terrestres, como el conjunto de estudios de campo y laboratorio, recorridos e inspecciones, análisis y cálculos, así como recomendaciones y conclusiones, que establecen los procedimientos de construcción de las vías terrestres.

El estudio geotécnico proporciona toda la información importante sobre el terreno de cimentación, tipo de materiales y tratamientos en suelos y rocas, así como procedimientos de construcción. Del mismo modo, determina las características geológicas del terreno a lo largo del trazo definitivo y de las fuentes de materiales (bancos), definiendo las unidades estratigráficas considerando las características geológicas tanto de rocas como de suelos y la pérdida de estabilidad en relación a la obra a construir (MTC, 2008).

Asimismo, estos estudios geotécnicos son aplicados para las terracerías las cuales son definidas por Olivera (2009) como el volumen de material que es necesario excavar y que sirve como relleno para formar la obra. Las terracerías tienen dos partes que son la inferior y la superior (capa subrasante), tal como se observa en la Figura 2.24. El material de esta última debe cumplir con normas de resistencia mínima, expansión máxima y otras características acordes con las funciones que tendrá la estructura.

La calidad de los materiales es un factor importante para lograr una subrasante económica. La elevación de la subrasante está limitada, a veces, por la capacidad de carga del suelo que es la base del camino.

La SCT clasifica a los materiales de terracería de la siguiente forma:

- **Material tipo A:** Suelo que puede ser atacado fácilmente con pala de mano, pico, escropa o pala mecánica. Son suelos poco o nada cementados, con partículas de hasta 7.5 cm.
- **Material tipo B:** Suelo atacado mediante arado o por explosivos ligeros. También se consideran las piedras sueltas mayores de 7.5 cm y menores de 75 cm.
- **Material tipo C:** Roca que requiere ser atacado mediante explosivos y para su remoción se emplean palas mecánicas de gran capacidad.

Además, se clasifican en compactable y no compactable:

- **Compactable:** Es posible controlar su compactación por alguna de las pruebas de laboratorio sugeridas en las normas para terracerías ubicadas en el libro *MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES (MMP)*, de la SCT.
- **No compactable:** Se le aplica un tratamiento de bandeado el cual logra un mejor acomodo de los fragmentos, reduciendo vacíos u quedades.

Existen ciertos requisitos con los que se debe contar para llevar a cabo un estudio geotécnico para la construcción de carreteras, algunos son:

- Anteproyecto aprobado.

-
-
- Perfil y el eje de proyecto de la carretera.
 - Fotografías aéreas del trazo de la carretera en las escalas indicadas, o bien, imágenes de satélite que puedan ser procesadas mediante sistemas de cómputo.
 - Perfil topográfico del terreno natural por el eje de trazo de la carretera, en tramos de cinco kilómetros.
 - Reconocimiento geológico de la carretera y probables préstamos y bancos de materiales.
 - Estudio de tránsito de la carretera (TDPA).

Una vez obtenidos y aprobados los anteriores puntos, se procede a ejecutar el estudio geotécnico el cual, de acuerdo a la norma *N-PRY-CAR-1-02-001/19*, de la SCT, debe cumplir con los siguientes puntos:

a) Trabajos previos

- Recopilar toda la información fisiográfica y litológica de la zona, así como la localización de préstamos y bancos de material. También buscar cartas topográficas, geológicas, hidrológicas y edafológicas elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) a una escala de 1:50 000.
- Observar físicamente las condiciones morfológicas del terreno natural y su drenaje superficial y subterráneo.
- Identificar y ubicar las áreas de posibles préstamos y bancos de materiales, tanto de terracerías y pavimentos.
- Identificar y ubicar los problemas geotécnicos como suelos blandos, expansivos o erosionables; formación de cavernas; laderas inestables; entre otros.

b) Determinación de la estratigrafía y propiedades del subsuelo

- Determinar la estratigrafía y propiedades del subsuelo a lo largo del trazo carretero por medio de exploración directa del subsuelo, muestreo y análisis en el laboratorio.
- Definir el uso de materiales y tratamiento, determinando sus características geotécnicas para el cálculo de masas.
- Determinar taludes estables en cortes y terraplenes.

-
-
- Determinar el tipo de cimentación, profundidad de desplante y capacidad de carga de las obras de menor drenaje.

c) Determinación de préstamos y bancos de materiales

- Determinar los préstamos y bancos de materiales, para terracerías y pavimentos, llevando a cabo trabajos de exploración, muestreo y análisis de laboratorio para definir la calidad, utilización, tratamiento y volúmenes de materiales aprovechables.

d) Informe técnico

- Elaborar el informe técnico como se indica en la norma *N·PRY·CAR·1·02·015*, de la SCT.

Impacto ambiental

Los proyectos de infraestructura carretera producen distintos efectos al medio ambiente, por lo cual son sometidos a un análisis con el objetivo de identificar y valorar los impactos potenciales que futuras obras de este tipo generarán al ambiente. A este proceso se le denomina estudio de impacto ambiental. Es un estudio sistemático y multidisciplinario que se utiliza para predecir los efectos y las consecuencias ambientales que generará una propuesta de acuerdo a las características físicas, biológicas, culturales y socioeconómicas del sitio (Martínez y Damián, 1999).

Para realizar un estudio de impacto ambiental, (Martínez y Damián, 1999; Martínez, 2014) mencionan que se requiere la participación de un equipo multidisciplinario, formado por numerosos especialistas que laboren conjuntamente en el campo. Entre los especialistas que deben ser convocados están: ingenieros civiles, topógrafos, geólogos, geotécnicos, biólogos, geógrafos, químicos, analistas de la calidad del aire, expertos en ruido, planificadores del transporte, planificadores urbanos, economistas, entre otros.

Este estudio se debe realizar durante las fases iniciales del proyecto para identificar los problemas potenciales y sean tratados en la etapa de planificación y diseño. Si se elabora más tarde, se vuelve muy costoso realizar cambios importantes en el diseño, seleccionar una propuesta alternativa o decidir no continuar con el proyecto (Martínez y Damián, 1999).

Movimiento de tierras

Las actividades de movimiento de tierras son una parte importante de muchos proyectos de construcción pues implica alterar, remover o depositar suelo o tierra resultante de la creación de superficies expuestas. Por lo general, se realizan con equipos pesados de construcción que consumen grandes cantidades de

combustible diesel y producen grandes cantidades de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Si no se gestiona bien, los movimientos de tierra tienen el potencial de causar efectos adversos importantes en el medio ambiente (Lewis y Hajji, 2012; Quality Planning [QP], s.f.).

Los materiales procedentes de las excavaciones pueden ser utilizados en la propia obra para la conformación de rellenos, sin embargo, no todo el material se puede aprovechar dando origen a un excedente de tierras que deberá destinarse a los vertederos. Estos espacios generan importantes afecciones al medio ambiente, especialmente a la geología, geomorfología (relieve), vegetación, fauna, paisaje y calidad de las aguas. Es por ello que es necesario buscar y analizar posibles bancos de materiales y vertido de excedentes (Ingeniería y Economía del Transporte [INECO], s.f.)

De acuerdo a lo anteriormente mencionado y con base en la Tabla 2.4 los movimientos de tierra desencadenan grandes impactos en más de un ecosistema o medio, repercutiendo en el presupuesto y provocando un efecto dominó. Por ejemplo, al usar maquinaria pesada puede generarse mucho ruido y levantar polvo; se altera la estructura de la tierra y se desprende la vegetación; entre otras repercusiones que más adelante se profundizan. Es importante recordar que los movimientos de tierra pueden ser actividades temporales pero los efectos pueden ser permanentes (QP, s.f.).

Sin embargo, no todos los impactos son negativos pues cabe recordar que la construcción de una carretera genera empleos, traslado de mercancías a lugares apartados de las ciudades, crecimiento económico, turismo, entre otros.

Tabla 2.4. Alteraciones producidas por el movimiento de tierras y medidas correctoras (Modificado de Borrajo, 1999).

Medio	Alteración producida	Medidas preventivas y correctoras
Aire	- Pérdida de calidad por inmisión de partículas - Ruido	- Riegos - Vallas
Suelos	- Erosión - Destrucción - Compactación - Pérdida de calidad	- Acopio y reutilización de tierra vegetal - Control de movimientos de maquinarias
Hídrico	- Pérdida de calidad de aguas - Afección de acuíferos - Riesgo de inundaciones	- Control de instalaciones y vertidos de maquinaria - Obras de desagüe
Vegetación	- Destrucción - Alteraciones	- Vallado - Trasplantes
Fauna	- Destrucción - Efecto barrera	- Obras de paso - Cerramientos
Paisaje	- Impacto visual - Cambios cromáticos y en las formas de relieve	- Plantaciones - Limitación, altura máxima, desmontes y terraplenes

Patrimonio	- Destrucción de patrimonio arqueológico, paleontológico o puntos de interés geomorfológico	- Prospecciones - Jalonamientos
------------	---	------------------------------------

Ruido y polvo

El ruido se puede definir como un sonido desagradable para el oyente. Se produce principalmente en las etapas de construcción de la carretera, pero también puede ocurrir, en menor medida, durante las operaciones de mantenimiento (Matintupa et al., s.f.).

De acuerdo a Kristen M. Parris, el ruido que se genera durante la construcción y el ruido causado por los vehículos que circulan por una carretera existente se diferencian del ruido natural en varias formas. El de la construcción puede ser de alta intensidad, pero generalmente de duración limitada. Por otro lado, el ruido de tráfico suele ser de menor intensidad que el de la construcción, pero más prolongado en el tiempo (van der Ree et al., 2015, Capítulo 19, p. 151).

El polvo es una consecuencia casi inevitable en las obras civiles (Figura 2.13). El polvo generado en actividades de movimientos de tierra puede tener un efecto potencial a gran escala. Sin embargo, las gravas y agregados de roca también contienen una proporción de finos que, si se encuentran en estado seco, se puede levantar una gran nube de polvo muy densa si se movilizan. Para evitar este problema existen algunos medios que se pueden considerar como el riego del sitio, uso de materiales alternativos o aglutinantes de polvo cerca de las casas (Matintupa et al., s.f.; QP, s.f.).



Figura 2.13. Los caminos de grava son susceptibles a la generación de polvo, especialmente durante las estaciones secas (Matintupa et al., s.f.).

Se debe tener presente que la salud del personal de construcción y/o mantenimiento de la carretera también puede verse directamente afectado por el ruido y el polvo

que se produce en la construcción, en la rehabilitación o los trabajos de mantenimiento (Bickel et al., 2003/2010).

Keller y Sherar (2003/2004) proponen una medida de mitigación, contra el polvo, con base a resultados obtenidos en análisis ambientales: *“Colocar agregado o algún otro tipo de pavimento a la superficie de rodamiento del camino, para reducir la erosión, la pérdida de materiales y los problemas de polvo, así como para disminuir la frecuencia de mantenimiento y mejorar el confort del conductor”* (p. 10).

Prevención y control de la erosión

Durante la construcción de caminos, puede producirse más erosión en el suelo que en la mayor parte de otras actividades que tienen lugar en zonas rurales. Los sistemas de caminos pobremente planeados pueden llegar a tener altos niveles de erosión y excesivos costos de mantenimiento. Por ello, es importante ubicar a las carreteras, desde el principio, sobre terrenos y taludes estables y alejadas de zonas problemáticas para evitar accidentes como en la Figura 2.14 (Keller y Sherar, 2003/2004).



Figura 2.14. Deslizamiento de una carretera (Ramajo et al., 2014).

Duque (2017) define a la erosión como el proceso de desprendimiento de los fragmentos alterados de la roca o el suelo por diversos agentes como el agua o el viento. Este proceso produce escorrentía de sedimentos o transporte de polvo por el aire.

La cobertura vegetal actúa como una capa de protección del suelo atenuando los efectos de la erosión. Los tallos, hojas, hierbas y pastos actúan como un colchón disipando la energía del agua que fluye por la superficie y la acción de arrastre del viento; mientras que la vegetación con mayor densidad de follaje amortigua, de manera eficaz, el golpe de la lluvia disminuyendo la erosión (Ramajo et al., 2014; Suárez, 2009).

Es necesario realizar la estabilización de suelos y control de erosión en zonas donde el suelo esté expuesto. El terreno desgastado debe cubrirse con alguna forma de estera (geomalla) o cubierta vegetal. Esto ayudará a prevenir la erosión y el arrastre subsecuente de sedimentos hacia arroyos, lagos, pies de taludes o cunetas. Cabe recordar que la mayor parte de la erosión ocurre durante y después de la construcción y trabajos de mantenimiento; así como durante la primera temporada de lluvia posterior a la construcción (Keller y Sherar, 2003/2004).

Protección del sistema hidrológico

Los impactos más importantes que se han detectado en las corrientes superficiales y subterráneas, a causa de la construcción de carreteras, son la modificación de patrones naturales de drenaje, cambios de elevación del agua subterránea, incremento de la erosión, sedimentos en ríos y lagos, afectación de recarga en acuíferos, pérdida de calidad del agua, entre otros (Hernández et al., 2000).

Muchos contaminantes se mueven en su totalidad por agua y aire. En los procesos basados en agua, los contaminantes son transportados hacia y/o por el agua a través del suelo o poros, sobre el pavimento o el drenaje. A medida que el agua se mueve a través del subsuelo, tiene la capacidad de recoger productos químicos del suelo; mientras el agua de escorrentía que llega a la superficie del pavimento o pasa por la construcción puede arrastrar impurezas (Dawson, 2008). En ambas situaciones, el agua puede depositar los contaminantes en algún río, lago o acuífero, contaminando el ecosistema que habita alrededor y en el cuerpo de agua.

Las actividades del proyecto, responsables de ocasionar los impactos ambientales en el sistema hidrológico, son varias: La desviación temporal o permanente de un caudal, impermeabilización de superficies y grasas e hidrocarburos derramados por accidente de la maquinaria pesada durante sus actividades o en zonas de almacenamiento (Hernández et al., 2000). Sin embargo, también puede llevarse a cabo acciones contaminantes durante el uso de la carretera que pueden provocar un fuerte impacto en las aguas como el derrame accidental de algún camión cisterna causado por una fuga o un accidente (Dawson, 2008).

Para minimizar el impacto en los flujos hidrológicos es fundamental la disminución significativa de la escorrentía de la superficie del camino y la velocidad del flujo terrestre. Al disminuir la energía de la escorrentía se reduce el desprendimiento de partículas del suelo y su transporte hacia los arroyos (Kastridis, 2020).

Hernández et al. (2000) también proponen otras medidas de mitigación para estos impactos como: Evitar almacenar o tirar material de despilme cerca de cuerpos de agua; respetar el patrón de drenaje natural, evitar desviaciones de caudales superficiales, colocar el combustible sobre superficies impermeables que cuenten con una barrera de 15 cm de alto que permita (Figura 2.15), en caso de accidente, su recuperación; apegar el diseño, en lo posible, al patrón natural del drenaje para evitar la interrupción de las corrientes superficiales; instalar obras hidráulicas que contrarresten el efecto del agua superficial; entre otras medidas más.



Figura 2.15. Cubeto de retención protegido con un revestimiento belzona (Marco, 2012).

Flora y fauna

Entre los efectos ecológicos más representativos de las carreteras pueden mencionarse los siguientes: Fragmentación de ecosistemas, dispersión de especies y disminución de las poblaciones de flora y fauna (Arroyave et al., 2006).

Cuando los animales cruzan las carreteras, el resultado suele ser la muerte. De hecho, las carreteras son la principal fuente de mortalidad para muchas poblaciones de vida silvestre causando la disminución de algunas especies (Hill, 2015).

La fragmentación y el efecto barrera son dos problemas que se presentan con mucha frecuencia a causa de la construcción de una carretera. Arroyave et al. (2006) mencionan que el primero ocurre cuando el hábitat se reduce o divide porque el área es atravesada por una carretera. El segundo se produce cuando la movilidad, alimentación y reproducción es impedida a causa de la limitada dispersión de los animales, afectando también a las plantas y frutos que necesitan ser dispersados.

Por otro lado, los efectos de movimiento de tierras resultan en la remoción de la vegetación (particularmente vegetación endémica o autóctona) causando pérdida de hábitat, erosión del suelo y aumento del agua superficial y escorrentía de sedimentos (QP, s.f.). Sin embargo, no todo está perdido, según Martínez y Damián (1999) la pérdida de pasto o vegetación se puede considerar un impacto a corto plazo, porque el área se puede revegetar fácilmente. El problema se agrava cuando se pierde un bosque maduro porque el impacto pasa a ser de largo plazo debido al tiempo necesario para reforestar el sitio y a que los árboles alcancen su madurez.

Keller y Sherar (2003/2004) mencionan que un paso inferior de animales ayudaría a minimizar el impacto de migración y se les permitiría cruzar con seguridad, de un lado a otro, sin que sufran atropellamientos en el camino (Figura 2.16). También una "alcantarilla amistosa" para peces ayudaría a el paso de peces impidiendo el estrechamiento del flujo normal del caudal (Figura 2.17).

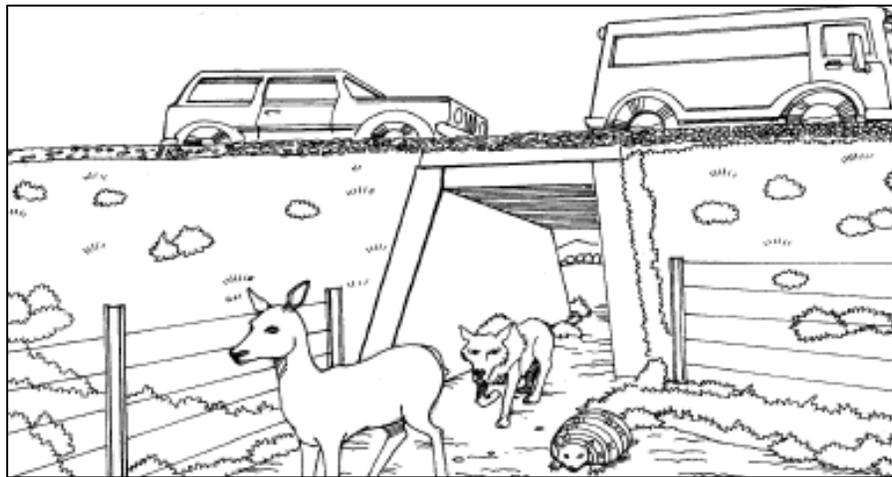


Figura 2.16. Ejemplo de un paso inferior de animales (Keller y Sherar, 2003/2004).

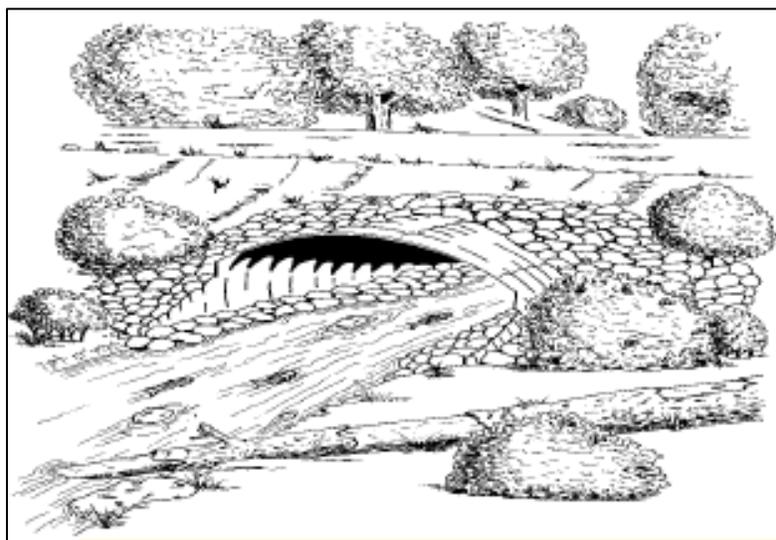


Figura 2.17. "Alcantarilla amistosa" para los peces (Keller y Sherar, 2003/2004).

2.3. TIPO DE PAVIMENTOS

Los pavimentos son estructuras viales que deben estar bien diseñadas y construidas para garantizar la seguridad de los usuarios y un buen funcionamiento al pasar los vehículos sobre éstas. Para ello es importante saber qué son, cómo se construyen, qué materiales se utilizan en su proceso constructivo, cómo se comportan y qué metodología se emplea en México para su diseño en sus tres presentaciones: Pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y semirrígidos.

Diversas bibliografías exponen distintos tipos de pavimentos, cada uno de ellos es diferente respecto al otro en su diseño, materiales de uso y forma de construcción. Sin embargo, todos deben cumplir los mismos objetivos: tener una vida y un diseño funcional, transmitir las cargas de los vehículos adecuadamente, ser seguros para los usuarios y que no sean costosos.

Existen principalmente los pavimentos flexibles, rígidos y semirrígidos (SCT, 2012); siendo los primeros dos de los que se hablará en un momento. El pavimento semirrígido es una fusión entre el flexible y el rígido; de manera externa se asemeja a un pavimento flexible pero internamente se parece más a un pavimento rígido.

Por otro lado, también existe otro más llamado “pavimento articulado” que consta de una capa de rodadura de adoquines, acomodados de manera ordenada.

Como ingenieros civiles, es importante conocer acerca de los principales tipos de pavimentos empleados en las carreteras de nuestro país y su funcionamiento, esto con el fin de poder decidir qué opción es la más viable al momento de estar desarrollando una infraestructura vial, con base en los resultados obtenidos en los estudios de gabinete, in situ y laboratorio.

Pavimento flexible

Este tipo de pavimentos se caracterizan por estar conformados por una serie de capas cuyos materiales presentan una resistencia a la deformación que impide que las capas inferiores se rompan, consiguiendo un trabajo en conjunto de la totalidad de las capas de la estructura (Bañón y Breviá, 2000; Olivera 2009).

Las capas más superficiales están conformadas de mezclas asfálticas, lo que le otorga al pavimento esa característica flexible y, a su vez, el nombre de pavimento asfáltico, ver Figura 2.18 (Bañón y Breviá, 2000; Tapia, 2013). Estas capas se apoyan sobre capas granulares (de origen natural o artificial) que distribuyen adecuadamente los esfuerzos hacia áreas más grandes, en forma de cono truncado como se observa en la Figura 2.19 (a), disminuyendo los esfuerzos y cargas en la parte inferior de la estructura sin sufrir daños (Bañón y Breviá, 2000; Jamal, 2017; The Asphalt Institute, 1970).



Figura 2.18. Pavimento flexible o asfáltico (Castillo, 2019).

De acuerdo con The Asphalt Institute (1970), como se observa en la Figura 2.19 (a), la carga W de la llanta del vehículo se transmite a la superficie del pavimento como una carga distribuida P_0 (aproximadamente). La estructura del pavimento reparte los esfuerzos de la carga disminuyendo su intensidad hasta que la presión vertical P_1 sobre la subrasante es máxima. Como se observa en la Figura 2.19 (b) la intensidad de la presión vertical máxima disminuye con la profundidad, desde P_0 hasta P_1 . Por ello es necesario garantizar que P_1 sea lo suficientemente pequeña para que la subrasante la resista. Esto se consigue con una buena selección de profundidad y materiales para la estructura.

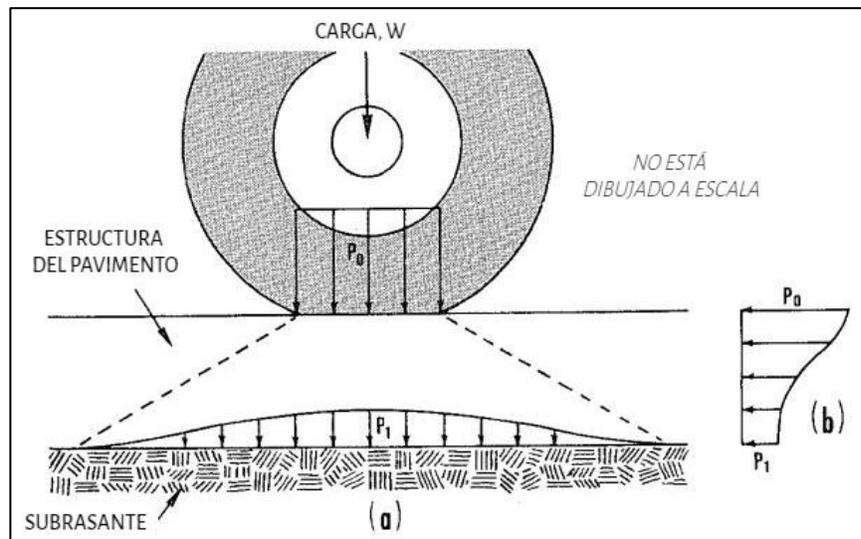


Figura 2.19. Distribución de la carga de las llantas a través de la estructura del pavimento (Modificado de The Asphalt Institute, 1970).

De acuerdo con Olivera (2009), el pavimento flexible está conformado por las siguientes capas: Carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante; tal como se observa en la Figura 2.20. Más adelante se hablará a detalle de cada una de ellas.

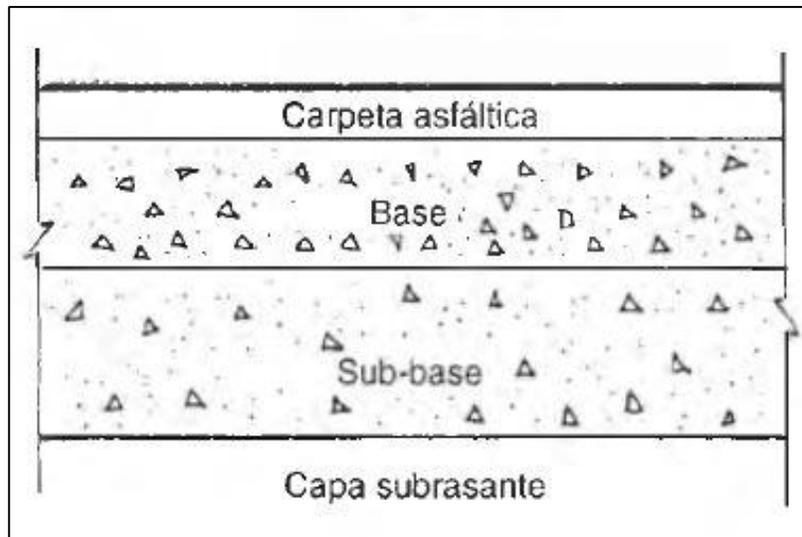


Figura 2.20. Capas que forman en general un pavimento flexible (Modificado de Olivera, 2009).

Pavimento rígido

En este tipo de pavimentos la superficie de rodamiento está constituida por losas de concreto hidráulico (Figura 2.21) que en ocasiones presentan un armado de acero, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas más profundas, por medio de toda la superficie de la losa (Olivera, 2009; Tapia, 2013).

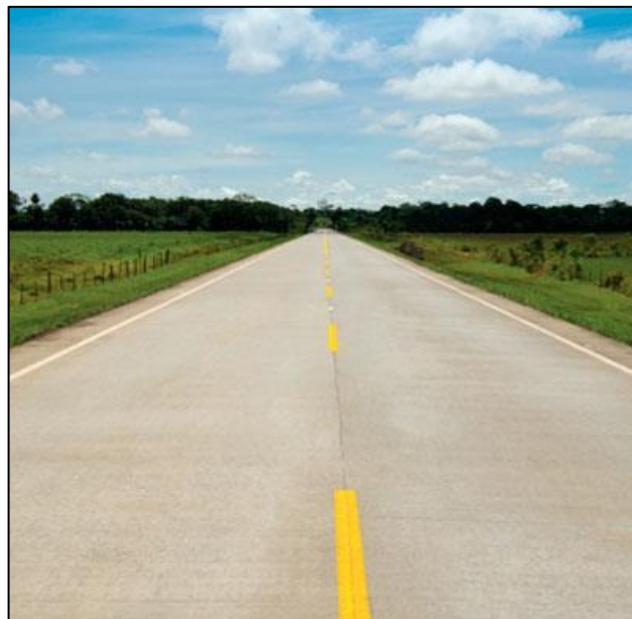


Figura 2.21. Pavimento rígido (Argos, s.f.).

Las losas pueden colocarse directamente sobre la subrasante, pero se recomienda construir una capa subbase para evitar el bombeo de finos hacia la superficie de rodamiento, ya que puede ocasionar fallas en las esquinas u orillas de las losas (Olivera, 2009). Este pavimento no puede someterse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se registre un daño estructural, por ello, pueden contener acero de refuerzo que ayudará a controlar las tensiones térmicas o de carga, aminorando o eliminando las grietas (Olivera, 2009; Stevenson, 2021).

Debido a la alta rigidez del concreto y su elevado coeficiente elástico, la distribución de cargas y esfuerzos se distribuirán a la capa del suelo natural por medio de las diferentes capas del pavimento, en una amplia zona (Anupoju s.f.; Montejo 2002) siendo menores las presiones verticales, a diferencia del pavimento flexible, como se observa en la Figura 2.22.

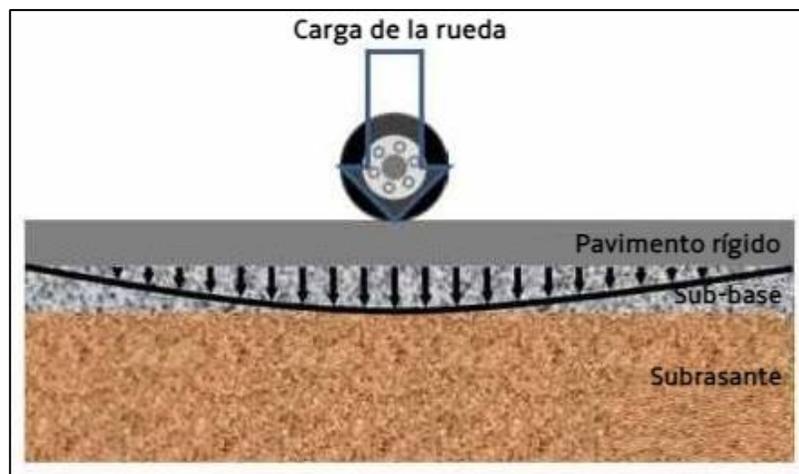


Figura 2.22. Transferencia de la carga de la llanta a la subrasante en pavimento rígido (Modificado de Anupoju, s.f.).

De acuerdo con Olivera (2009), el pavimento rígido está conformado por las siguientes capas: Losa de concreto, subbase y subrasante; tal como se observa en la Figura 2.23.

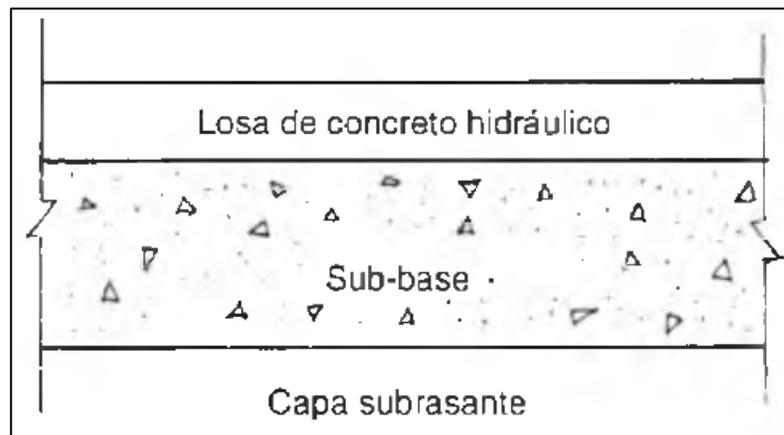


Figura 2.23. Capas que forman un pavimento rígido (Olivera, 2009).

Comparación entre pavimentos

Es necesario aclarar que no existe una solución perfecta, pues cada estructura tiene grandes ventajas y un muy buen funcionamiento si se diseña y construye correctamente. Sin embargo, como toda obra, tienen sus inconvenientes y existen muchos ejemplos documentados donde el desempeño que se esperaba no se cumplió.

Parera (2022) menciona que, en la práctica común, no es raro ver que se opte por la solución de menor costo sin evaluar una serie de alternativas, por ejemplo, el mantenimiento. Por otra parte, se cree que los pavimentos rígidos duran más que los flexibles, pero en realidad no es que duren más, sino que por las circunstancias en que se construyen los flexibles, éstos presentan menores ventajas ante los rígidos. El citado autor explica que muchas veces las constructoras se aprovechan de la diferencia de espesores entre un pavimento y el otro resultando un proyecto más económico, pero sin considerar los futuros gastos que se generarán por su mantenimiento.

No obstante, la diferencia de espesores de cada una de estas estructuras no son la única discrepancia que poseen, por ello, en la Tabla 2.5 se observa una detallada comparación entre ambos pavimentos:

Tabla 2.5. Diferencias entre el pavimento flexible y el pavimento rígido (Modificado de Parera, 2022).

Propiedades	Pavimento rígido	Pavimento flexible
Número de capas	De dos a tres capas	Está constituido por varias capas
Absorción de esfuerzos	La losa de concreto absorbe todo el esfuerzo	Buena parte del esfuerzo de transmite al suelo
Costo de construcción	Mayor costo inicial	Menos costo inicial
Deformación	Menor deformación	Mayor deformación
Vida en servicio	Por lo general tiene mayor vida útil	Menor vida útil
Costo de mantenimiento	Menor costo de mantenimiento	Mayor costo de mantenimiento
Seguridad	Si la superficie está pulida, existe menor fricción en la superficie de rodadura. Además, son más resistentes a los hidrocarburos y al fuego.	Existe mayor fricción en la superficie de rodadura
Juntas	Se crea discontinuidad en la capa de rodadura	La capa de rodadura es prácticamente continua
Puesta en servicio	El tiempo de puesta en servicio requiere varios días de fraguado	Puesta en servicio de la superficie asfaltada inmediata

Rendimientos	Rendimientos menores	Rendimientos mayores. Mayor superficie pavimentada en cada jornada de trabajo
Drenaje	Menor drenaje	Mayor drenaje. Estos pavimentos proporcionan un desalojo de agua mayor al permitir el flujo del agua transversalmente hacia las obras complementarias. En Europa se ha prohibido, como práctica común, el empleo de mezclas asfálticas en los túneles, debido a que permiten que los combustibles o líquidos inflamables vertidos se desplacen por su interior facilitando la propagación del fuego en caso de incendio
Confort	Menor confort. Mayor rigidez.	Además de aumentar la comodidad en la circulación, también aumenta la seguridad, puesto que el conductor experimenta una menor tensión al volante a causa del amortiguamiento proporcionado por la capa asfáltica
Visibilidad	El concreto proporciona mayor reflectancia de la luz debido a su color claro dificultando la visibilidad del alineamiento horizontal y vertical. En presencia de lluvia tiende a crearse una especie de <i>espejo</i> que refleja la luz solar.	Debido al color oscuro del asfalto, la luz es absorbida impidiendo su reflectancia.
Sostenibilidad ambiental	Gracias a su mayor reflectancia y menor absorción del calor, se aminora la interacción entre los vehículos y el pavimento, además de reducir las emisiones de dióxido de carbono.	Se aumenta el uso de los combustibles y propician que la huella de carbono sea mayor

Téllez (2010) sugiere establecer dos criterios de selección desde el inicio del proyecto, para una adecuada toma de decisiones:

- **Criterio estructural:** Capacidad estructural del pavimento (TDPA y porcentaje de vehículos pesados), vida útil, terreno natural de soporte, materiales, medio ambiente y agentes contaminantes (derrame de combustibles, susceptibilidad a temperaturas extremas, etcétera).
- **Criterio por costos:** Inversión (construcción, mantenimiento, operación), rentabilidad (costo/beneficio), limitaciones de construcción (bancos materiales), uso/operación, seguridad, confort y regularidad superficial.

2.4. CAPAS DEL PAVIMENTO

Olivera (2009) define al pavimento como el conjunto de capas que reciben, en forma directa, las cargas de tránsito para transmitir las y distribuir las uniformemente hacia las capas inferiores. De acuerdo con Tapia (2013) estas capas se caracterizan por sus espesores y materiales que las conforman, apoyadas una con otra, sobre otra capa denominada subrasante.

De acuerdo con Todo Vial (2020 a), la capa subrasante no es más que el propio terreno natural del sitio. Cuando los materiales que conforman a esta capa no pueden soportar la estructura del pavimento es necesario llevar a cabo un mejoramiento del terreno para aumentar su resistencia y condiciones de durabilidad. Este tratamiento dependerá de las características del suelo y el presupuesto del proyecto. Por esta razón, Rico y Del Castillo (1977) sugieren los siguientes procedimientos de estabilización para mejorar las propiedades del suelo pues estos tratamientos deben resultar más económicos que tener que acarrear material a grandes distancias:

- a) **Estabilización por medios mecánicos:** La compactación es el más conocido, consiste en someter al suelo a cargas externas disminuyendo su volumen a causa del desplazamiento de aire a través de los poros de los granos del suelo. Por su parte, Olivera (2009) señala que el disgregado y el cribado de materiales también son importantes soluciones en la estabilización por medios mecánicos pues el primero se lleva a cabo con ayuda de rodillos lisos metálicos sobre el material fino; mientras que en el segundo se emplea el uso de mallas o tamices con una abertura un poco mayor que el tamaño máximo permisible.
- b) **Estabilización por drenaje:** Consiste en la sobrecarga del terreno para acelerar el proceso de drenado.
- c) **Estabilización por medios químicos:** Generalmente lograda por la adición de agentes estabilizantes específicos como el cemento, la cal, el asfalto u otros.
- d) **Estabilización por uso de geomallas o geotextiles:** Estas estructuras de polímeros tejidos o entrelazados ayudan a reforzar el material evitando la contaminación y, en algunos casos, el paso de líquidos entre las capas. Además, permiten el confinamiento del material y el suelo.

De esta manera, la estabilización de la subrasante, así como los volúmenes de materiales y espesores de las capas, utilizados en la estructura, que son optimizados a través del diseño; incrementan la resistencia total de toda la sección estructural del pavimento.

Aunque en apariencia las estructuras de pavimento son simples, en realidad tienen cierto grado de dificultad. Un ejemplo es su diseño, en el cual se debe considerar que su falla se presentará de forma progresiva y no súbitamente, como consecuencia de la modificación de los materiales, el efecto ambiental y las condiciones de carga del tráfico. La calidad y los espesores de las capas del pavimento están íntimamente relacionados con los materiales de las capas inferiores, pues los esfuerzos debidos al tránsito, influyen en la estructuración del pavimento (Menéndez, 2009; Olivera 2009).

Como se mencionó antes, los pavimentos están conformados por diferentes capas que ayudan a disipar las cargas y los esfuerzos que ejercen los vehículos sobre ellas y sobre la estructura en general. Para poder lograr un buen trabajo en conjunto, estas capas deben ser construidas con buenos materiales (previamente seleccionados) y tener un buen ancho de diseño para garantizar un correcto funcionamiento y así poder evitar algún tipo de falla, hundimiento, filtración o cualquier otro daño que ponga en riesgo a la estructura y a los conductores que transitan y hacen uso de ella.

De forma general, la estructura del pavimento se puede diferenciar en dos fracciones: pavimento y terracerías (Figura 2.24). La primera parte está constituida por las capas superiores a la subrasante las cuales se distinguen por haber sido construidas con distintos materiales pétreos; por otro lado, la segunda parte consta de capas propias del suelo o materiales de la zona de cimentación que ayudan a recibir y disipar las cargas.

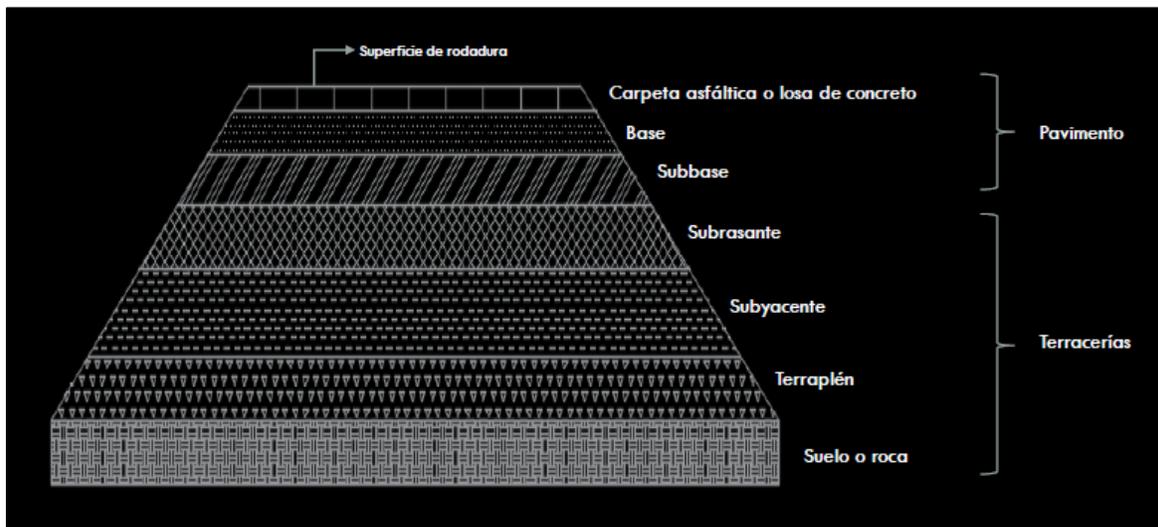


Figura 2.24. Partes de la estructura del pavimento.

Los agregados para construir las capas del pavimento provienen de bancos de materiales donde se utilizan aglomerados de arroyos y depósitos; conglomerados suaves y duros; y rocas fisuradas o sanas que generalmente requieren tratamiento. Los materiales industriales como el cemento Portland, cal, acero y asfalto se

adquieren de industrias o empresas que deben cumplir con los requisitos necesarios para su uso (Olivera, 2009).

Capa de rodadura

Las capas de rodadura son tratamientos de espesor delgado formadas por agregados pétreos y asfalto. Se colocan en la parte superior del pavimento para proteger la superficie de rodadura y contribuir a mejorar la textura, fricción y visibilidad; disminuir el ruido y desalojar más rápido el agua de lluvia (SCT, 2012)

Pueden fabricarse en frío o en caliente como se muestra a continuación:

- **Mezcla en frío:** De acuerdo con la norma *N·CTR·CAR·1·04·008/20* estas capas no tienen función estructural pues generalmente se construyen con espesores menores de cuatro centímetros, sobre la carpeta asfáltica.
- **Mezcla en caliente:** De acuerdo con la norma *N·CTR·CAR·1·04·010/20*, de la SCT, estas capas se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos, aditivos, adiciones y cemento asfáltico utilizando calor para su incorporación. Estas capas no tienen función estructural pues generalmente se construyen con espesores menores de cuatro centímetros, sobre la carpeta asfáltica.

Carpeta asfáltica

Es la parte superior del pavimento encargada de resistir directamente las cargas que se originan por el paso de los vehículos (Bañón y Breviá, 2000). Debe ser una superficie uniforme y, hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua hacia el interior del pavimento (Montejo, 2002).

El desempeño de la carpeta se basa en el comportamiento estructural y funcional. En el estructural debe soportar las cargas sin deformarse ni agrietarse, así como absorber esfuerzos horizontales y parte de los verticales (Bañón y Breviá, 2000; SCT, 2012); en el funcional, la superficie debe ser cómoda y segura para los usuarios de la carretera (SCT, 2012).

Las carpetas se construyen con mezclas asfálticas, en frío o en caliente, denominándose en este caso concretos asfálticos, los cuales pueden contener algún agente modificador para mejorar alguna de sus características (Tapia, 2013).

La norma *N·CMT·4·05·003/16*, de la SCT, clasifica a las mezclas asfálticas de la siguiente manera:

- **Mezcla asfáltica en caliente:** Son elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos, en una planta mezcladora estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla.

-
-
- **Mezcla asfáltica en frío:** Son elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas y materiales pétreos.
 - **Mezcla asfáltica por sistema de riego:** Son las que se construyen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfáltico, intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado en tamaños decrecientes.

Losa de concreto hidráulico

Al igual que en el pavimento flexible, la losa de concreto se ubica en la parte superior del pavimento y está en contacto directo con los vehículos. Según la norma *N·CTR·CAR·1·04·009/20*, de la SCT, la losa se construye mediante una mezcla de agregados pétreos, cemento Pórtland, aditivos y adiciones, y agua para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Además, tiene la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

Las losas de concreto ofrecen varias ventajas que no poseen las carpetas asfálticas, por ejemplo, son adecuadas para grandes cargas puntuales, resisten derrames de diesel y otros materiales agresivos, son idóneas cuando la resistencia del subsuelo es baja, resisten altas temperaturas y muchos otros beneficios más (Hamakareem, s.f.). La norma *N·CTR·CAR·1·04·009/20* establece que las carpetas de concreto hidráulico pueden construirse como:

- **Losas de concreto hidráulico con juntas:** Son aquellas que se construyen mediante el colado de concreto hidráulico con juntas longitudinales y transversales, con o sin pasajuntas, para formar elementos rectangulares.
- **Losas de concreto hidráulico con refuerzo continuo:** Son aquellas que se construyen mediante el colado de concreto hidráulico sin juntas transversales y con acero de refuerzo colocado longitudinalmente en forma continua con el objeto de resistir los esfuerzos de tensión, y asegurar que las grietas que se produzcan queden totalmente cerradas.
- **Losas de concreto presforzado:** Son aquellas que se construyen con secciones de concreto hidráulico sujetas a compresión, mediante un sistema de presfuerzo, con relativamente pocas juntas transversales.

Base

La norma *N·CTR·CAR·1·04·002/11*, de la SCT, define a la base como la capa de materiales pétreos seleccionados que se construye sobre la subbase o subrasante. La SCT (2012) y la norma *N·CTR·CAR·1·04·002/11* coinciden en que algunas de las funciones de la base son la de transmitir las cargas de los vehículos a la capa

inferior, drenar el agua que se pudo haber infiltrado e impedir el ascenso capilar del agua subterránea.

Cuando se agrega agua para su compactación entonces a esta capa se le llama base hidráulica. Es importante tener en cuenta que, si la capa no cumple con la calidad solicitada o si la resistencia del material no es suficiente para soportar las cargas vehiculares, entonces se deben construir las denominadas bases modificadas o estabilizadas, en las cuales se agrega algún producto químico para modificar la calidad o resistencia de los materiales (SCT, 2012).

La norma *N.CSV.CAR.4.02.005/14*, de la SCT, sugiere usar materiales asfálticos, cemento Pórtland, cal hidratada, polímeros, minerales naturales o sintéticos combinados entre ellos, otros productos o lo que indique el proyecto para estabilizar bases.

Antes de iniciar la construcción de la base estabilizada, la norma *N.CSV.CAR.4.02.005/14* menciona que la superficie sobre la que se debe colocar debe estar debidamente terminada sin irregularidades. El material mezclado de la base estabilizada se debe extender en capas sucesivas hasta llegar al espesor indicado en el proyecto, una vez hecho esto se procede a compactar. Si el material estabilizador requiere curarse, se deberá llevar a cabo de acuerdo a lo que diga el proyecto.

Subbase

La norma *N.CTR.CAR.1.04.002/11* define a la subbase como la capa de materiales pétreos seleccionados que se construye sobre la subrasante, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la base de un pavimento asfáltico, aminorar y distribuir los esfuerzos inducidos hacia la capa inferior y evitar la migración de finos hacia las capas superiores (bombeo de finos).

Asimismo, posee una importante función drenante que aleja el agua de las capas superiores por lo que es importante que los materiales empleados no posean finos arcillosos (Bañón y Breviá, 2000).

Subrasante

La subrasante es la superficie concluida gracias a los movimientos de tierras (corte y relleno), sobre la cual se va a colocar la estructura del pavimento (Palomino, 2017).

La norma *N.CMT.1.03/21* de la SCT, menciona que los materiales para la capa subrasante son los suelos naturales, seleccionados o cribados, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa sobre el cuerpo de algún terraplén.

2.5. ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA TERRACERÍAS

Durante los estudios geotécnicos para terracerías se pueden llevar a cabo algunos tipos de sondeos como es el caso del pozo a cielo abierto (PCA) o el de penetración estándar (SPT) para conseguir muestras alteradas o inalteradas de suelo y sean analizadas en laboratorio.

Las pruebas de laboratorio permiten analizar las propiedades índice y mecánicas del suelo y deben ser ejecutadas por personal capacitado para la correcta interpretación de los resultados obtenidos.

Absorción

Según el manual *M·MMP·1·05/18*, de la SCT, la absorción del material es la masa del agua o líquido que penetra en los espacios entre las partículas de un suelo y en las oquedades de las partículas gruesas, cuando se le deja sumergido en agua a una temperatura de 15 a 25°C, durante 24 h; se expresa en porcentaje con relación a la masa de sólidos del material.

Clasificación de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Fue propuesto por Casagrande en 1948 y es ampliamente utilizado en la actualidad en por los ingenieros para estudiar el tamaño de las partículas de un suelo y así poder clasificarlo. Das (2013/2015) menciona que el suelo que se clasifica en dos grandes categorías:

- **Suelos de grano grueso:** Son gravas y arenas en estado natural con menos del 50% de contenido que pasa a través del tamiz No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G (grava) o S (arena).
- **Suelos de grano fino:** Son limos y arcillas con 50% o más de contenido que pasa por el tamiz No. 200, así como suelos orgánicos. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M (limo), C (arcilla) y O (para limos orgánicos y arcillas orgánicas). El símbolo Pt se utiliza para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos.

De igual modo, existen otros símbolos que se utilizan para la clasificación:

- **W:** Bien clasificado
- **P:** Mal clasificado
- **L:** Baja plasticidad (límite líquido menor de 50)
- **H:** Alta plasticidad (límite líquido mayor de 50)

Para conocer con exactitud qué clasificación tiene un suelo, se requiere usar la Tabla 2.6 para establecer los criterios de asignación de símbolo. En el caso de los suelos finos es necesario usar, a la par con la Tabla 2.6, la gráfica de plasticidad (Figura 2.25).

Tabla 2.6. Sistema unificado de clasificación de suelo (Modificado de Das, 2013/2015).

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz No. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz No. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos ^a	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GW GP
		Gravas con finos Más de 12% finos ^{a,d}	PI < 4 o se sitúa por debajo de la línea "A" PI > 7 y se sitúa en o por encima de la línea "A"	GM GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa el tamiz No. 4	Arenas limpias Menos de 5% finos ^b	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SW SP
		Arenas con finos Más de 12% finos ^{b,d}	PI < 4 o se sitúa por debajo de la línea "A" PI > 7 y se sitúa en o por encima de la línea "A"	SM SC
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz No 200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	PI > 7 y se sitúa en o por encima de la línea "A" PI < 4 o se sitúa por debajo de la línea "A"	CL ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: Seco}}{\text{Límite líquido: No seco}} < 0.75$; zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido de 50 o más	Inorgánico	PI se sitúa en o por encima de la línea "A" PI se sitúa por debajo de la línea "A"	CH MH
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido: Seco}}{\text{Límite líquido: No seco}} < 0.75$; zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos: Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico				Pt

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.
^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.
^c $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y se sitúa en la zona sombreada, se usa doble símbolo: GC-GM o SC-SM.
^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y se sitúa en la zona sombreada, se usa doble símbolo: CL-ML.

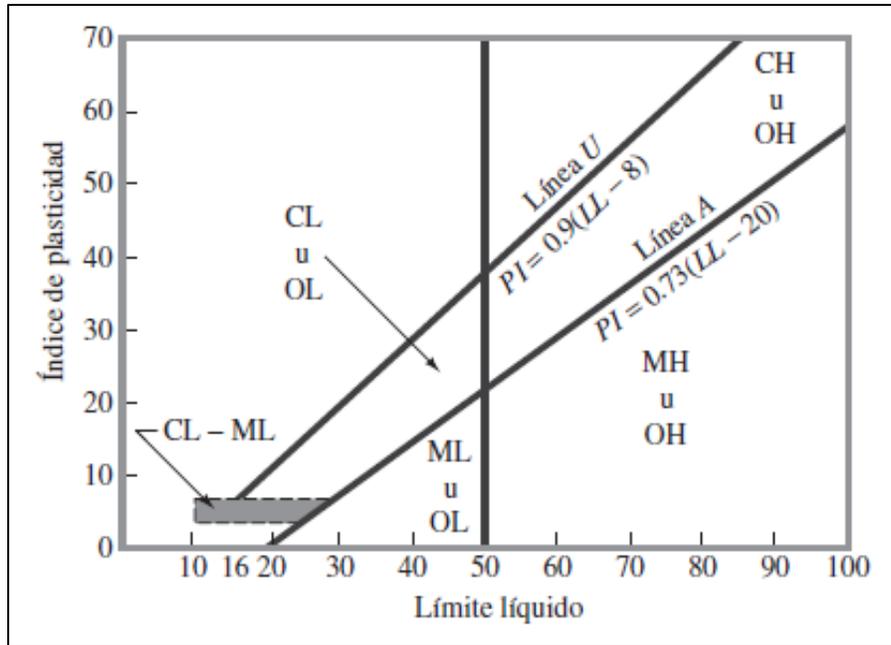


Figura 2.25. Carta de plasticidad (Das, 2013/2015).

Compresión simple

La prueba de compresión simple es una prueba que de forma rápida proporciona la resistencia de un material. Ésta consiste en colocar el espécimen en un equipo para aplicarle carga hasta hacerlo fallar y determinar su resistencia máxima, como se observa en la Figura 2.26.

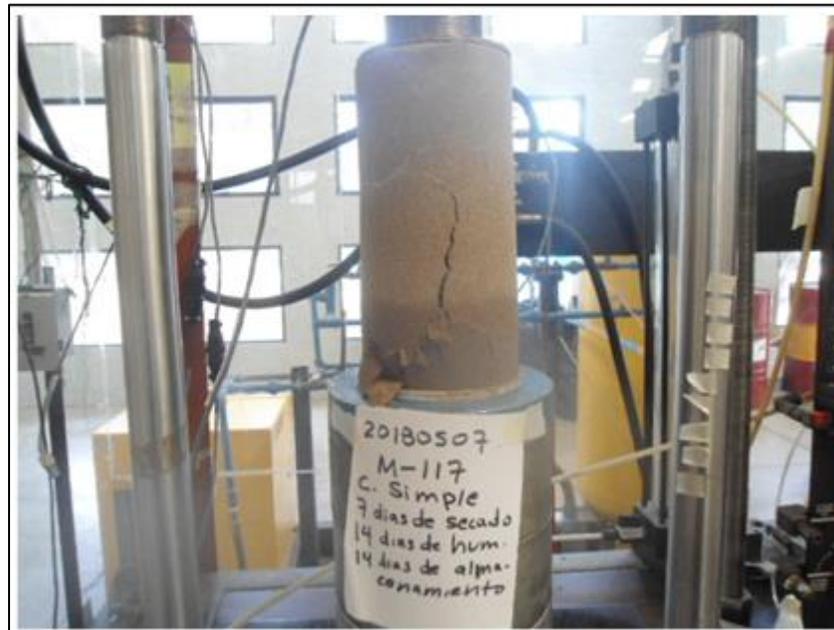


Figura 2.26. Prueba de compresión simple (Pérez et al., 2018).

Contenido de agua

El contenido de agua (ω) de un material es la relación entre la masa de agua contenida en los espacios porosos del suelo (o material rocoso) y la masa sólida de partículas, expresada como porcentaje. El manual *M·MMP·1·04/03*, de la SCT, menciona que el contenido de agua se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

ω = Contenido de agua (%)

W_w = Masa del agua (g)

W_s = Masa de sólidos (g)

Contracción lineal

La masa de suelo se contrae a medida que pierde humedad gradualmente. Con la pérdida continua de humedad se alcanza un estado de equilibrio hasta el punto en el que no se dará lugar a ningún cambio de volumen adicional. Se conoce como límite de contracción al contenido de humedad, en porcentaje, en el que el cambio de volumen de la masa de suelo cesa (Das, 2013/2015).

Densidades

El manual *M·MMP·1·05/18*, de la SCT, señala que estas pruebas permiten determinar las relaciones masa-volumen de los materiales en seco respecto a la relación masa-volumen en condiciones de contenidos de agua.

La determinación de las densidades relativas se hace considerando una representación esquemática de una muestra de suelo o una partícula gruesa de material pétreo, formadas por sus fases sólida, líquida y gaseosa, como se indica en la Figura 2.27.

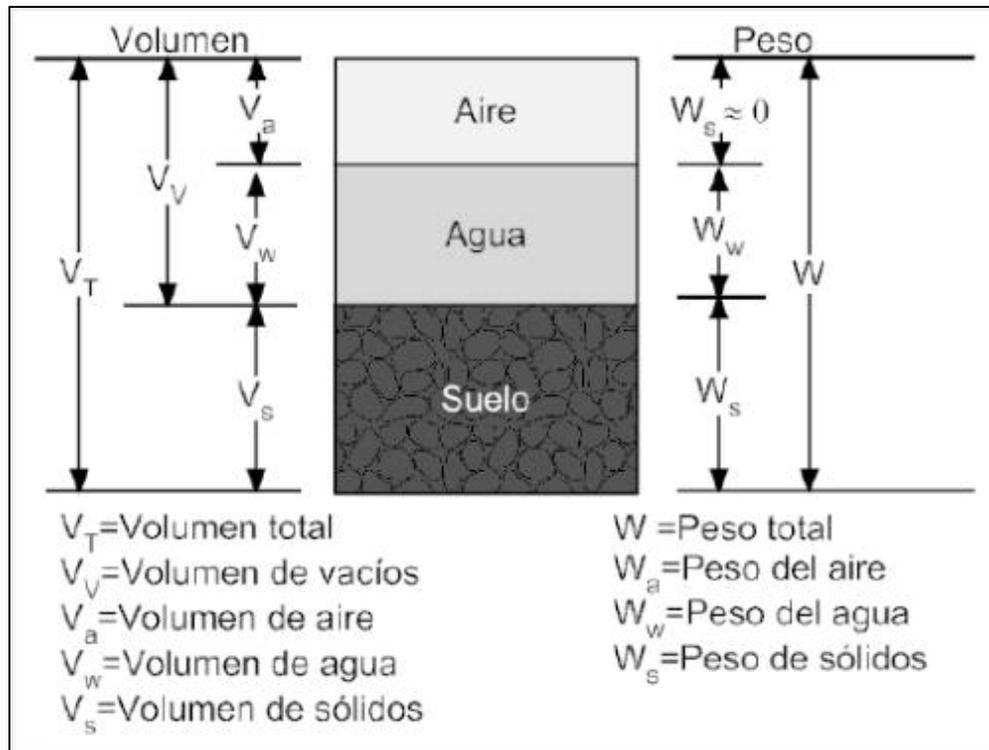


Figura 2.27. Fases del suelo (Oyola-Guzmán, 2016).

- **Densidad relativa del material seco (d_d):** Relación entre la masa volumétrica del material seco (γ_d) y la masa volumétrica del agua destilada a 4°C (γ_o).

$$d_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_s + V_v)\gamma_o} \quad (2)$$

Donde:

d_d = Densidad relativa del material seco (adimensional)

γ_d = Masa volumétrica del material seco $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

γ_o = Masa volumétrica del agua $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

W_s = Masa de sólidos (kg)

V_s = Volumen de sólidos (m^3)

V_v = Volumen de vacíos (m^3)

- **Densidad relativa del material saturado (d_{sat}):** Relación entre la masa volumétrica del material saturado (γ_{sat}), y la masa volumétrica del agua destilada a 4°C (γ_o).

$$d_{sat} = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_o} = \frac{W_s + W_w}{(V_s + V_v)\gamma_o} \quad (3)$$

Donde:

$d_a =$ Densidad relativa del material saturado (adimensional)

$\gamma_{sat} =$ Masa volumétrica del material saturado $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$\gamma_o =$ Masa volumétrica del agua $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$W_s =$ Masa de sólidos (kg)

$W_w =$ Masa del agua saturado, es decir, del agua que ocupa todos los vacíos (kg)

$V_s =$ Volumen de sólidos (m^3)

$V_v =$ Volumen de vacíos (m^3)

- **Densidad relativa de sólidos, es decir, de la fase sólida del material (d_s):** Relación entre la masa volumétrica de la fase sólida del material (γ_{sol}), y la masa volumétrica del agua destilada a 4°C (γ_o).

$$d_s = \frac{\gamma_{sol}}{\gamma_o} = \frac{W_s}{(V_s)\gamma_o} \quad (4)$$

Donde:

$d_s =$ Densidad relativa de sólidos, es decir, de la fase sólida del material (adimensional)

$\gamma_{sol} =$ Masa volumétrica de la fase sólida $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$\gamma_o =$ Masa volumétrica del agua $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$W_s =$ Masa de sólidos (kg)

$V_s =$ Volumen de sólidos (m^3)

Expansión

El manual *M-MMP-1-11/16* establece que es la relación (en porcentaje) del incremento de la altura debido a la saturación, entre su altura original; y la menor relación (en porcentaje) de las cargas aplicadas para producir penetraciones de 2.54 mm y 5.08 mm, con cargas de referencia de 13.34 kN (1,360 kg) y 20.01 kN (2,040 kg) respectivamente.

Granulometría

Esta prueba permite conocer los tamaños de las partículas que integran los materiales para terracerías y pavimentos. Para llevar a cabo este análisis granulométrico, primero debe secarse en horno el material. A continuación, se agita a través de una pila de tamices con aberturas de tamaño decreciente de arriba hacia abajo (Tabla 2.7). El tamiz de tamaño más pequeño que se debe utilizar para este

tipo de prueba es el tamiz No. 200. Después de agitar el suelo, se determina la masa de suelo retenido en cada tamiz (Das, 2013/2015).

Tabla 2.7. Tamaño estándar de tamices (Dar, 2013/2015).

No. tamiz	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

Límites de consistencia líquido y plástico

El límite líquido y el límite plástico de los suelos, junto con el límite de contracción, a menudo se denominan, colectivamente, límites de Atterberg.

- **Límite líquido:** Para esta prueba se coloca una muestra de suelo en un objeto llamado Copa de Casagrande, donde se realiza un corte en el centro de la pasta de suelo, usando un ranurador estándar (Figura 2.28). Con ayuda de una manivela se eleva la copa y se deja caer desde una altura de 10 mm. El contenido de humedad, en porcentaje, necesario para cerrar una distancia de 12.7 mm a lo largo de la parte inferior de la ranura, después de 25 golpes, se define como el límite líquido (Das, 2013/2015).



Figura 2.28. Copa de Casagrande con una muestra de suelo cortada por el ranurador (Vannia, 2012).

- **Límite plástico:** Para esta prueba se realizan rodados o rollitos repetidos de tamaño elipsoidal, como se muestra en la Figura 2.29, sobre una placa de vidrio esmerilado (Das, 2013/2015). El manual *M·MMP·1·07/07*, de la SCT, señala que el diámetro del rollito debe ser aproximadamente de 3 mm en toda su longitud; pasados 60 a 80 ciclos por minuto (un ciclo es el movimiento de la mano hacia adelante y atrás), el cilindro o rollito debió haberse partido en tres segmentos a los cuales se les calculará su contenido de agua para obtener el límite plástico total.



Figura 2.29. Realización del rodado o rollito (Garibay, 2005).

Es importante hacer hincapié que en el límite líquido y el límite plástico la porción del suelo debe cerrarse debido al flujo provocado por los golpes y no al

deslizamiento sobre la copa o por burbujas de aire, y el cilindro o rollito no debe sufrir cambios de presión o velocidad en su rolado para evitar su ruptura o disgregado, respectivamente.

Peso volumétrico húmedo

Según el manual *M·MMP·1·08/03*, de la SCT, el peso volumétrico del material húmedo (γ_m), en kg/m^3 , es la relación entre la masa total del material y el volumen total del mismo.

Peso volumétrico seco máximo y contenido de agua óptimo

De acuerdo con el manual *M·MMP·1·09/06*, de la SCT, el peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) se obtiene de la siguiente forma:

Se elabora un gráfico donde, en el eje de las abscisas, se ubican los contenidos de agua (w) y en el de las ordenadas los pesos volumétricos secos (γ_d), como se observa en la Figura 2.30. La ordenada en el punto más alto de dicha curva representa el peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$).

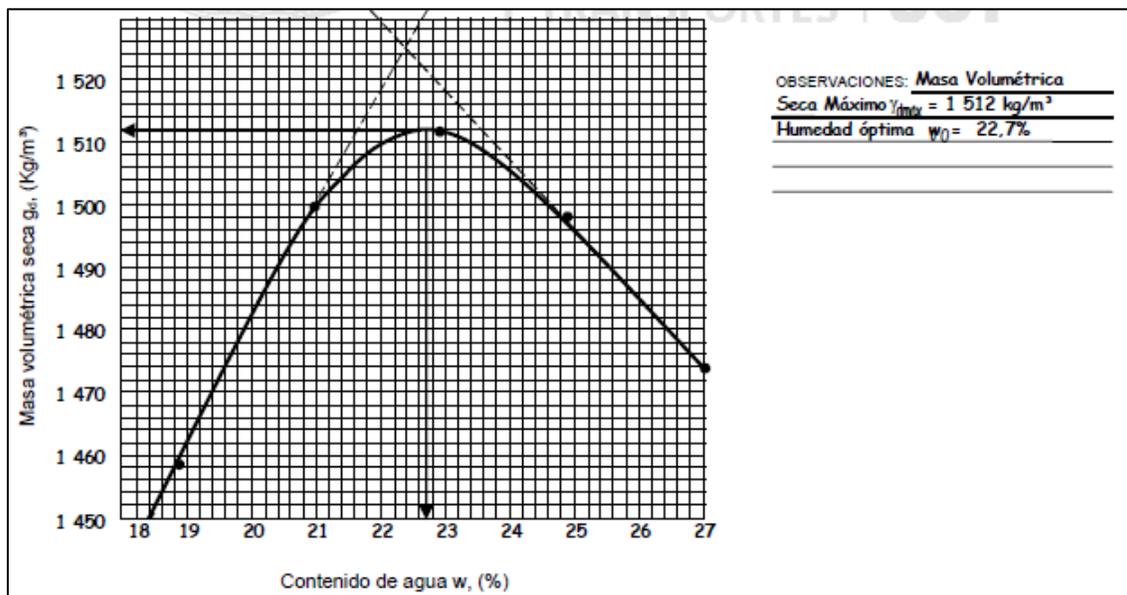


Figura 2.30. Hoja de registro y curva de compactación para prueba dinámica AASHTO (SCT, 2006).

Con ayuda del gráfico de la Figura 2.30, al ubicar el peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$), en el eje de las abscisas, en ese punto, se encuentra el contenido de agua óptimo (w_0).

Peso volumétrico seco suelto

De acuerdo con el manual *M·MMP·1·08/03*, de la SCT, el peso volumétrico seco (γ_d) es la relación entre la masa de los sólidos del material y el volumen total del mismo una vez que la masa de la muestra ha sido corregida considerando el contenido de agua, en unidades de kg/m^3 .

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m} = \frac{\gamma_m}{100 + \omega} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

$$\gamma_d = \text{Peso volumétrico seca del material} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$W_s = \text{Masa de solidos (kg)}$$

$$V_m = \text{Volumen total del material (m}^3\text{)}$$

$$\gamma_m = \text{Peso volmétrico del material húmedo} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\omega = \text{Contenido de agua del material (\%)}$$

California Bearing Ratio

La prueba california bearing ratio (CBR), conocida en México como valor relativo de soporte (VRS), es una prueba de resistencia simple, desarrollada en Estados Unidos por el Departamento de Transporte de California alrededor del año de 1925, que compara la capacidad de carga de un material con la de una piedra triturada bien clasificada, es decir, tiene un valor de CBR igual al 100% (Sánchez-Leal, 2020a). Es un indicador de la calidad del suelo basado en su resistencia y aunque no se le considera un ensayo mecanicista o una propiedad del suelo, sirve como referencia para el diseño de pavimentos (Sánchez-Leal, 2020b).

El manual *M·MMP·1·11/16*, de la SCT, señala que la prueba se lleva a cabo aplicando una carga a un pistón de 49.63 ± 0.13 mm de diámetro a los especímenes de suelo, utilizando moldes de 152.4 ± 0.66 mm x 177.8 ± 0.46 mm, a una velocidad de penetración de 1.27 mm/min.

Estos valores obtenidos se sustituyen en la siguiente ecuación:

$$CBR(\%) = 100 \times \frac{\text{Esfuerzo (suelo)}}{\text{Esfuerzo (piedra picada)}} \quad (6)$$

***Las unidades de los esfuerzos son los Pascales (Pa)*

Los valores de CBR cercanos al 0% representan a suelos de pobre calidad para el soporte de un pavimento, mientras que los más cercanos al 100% indican una mejor calidad.

De igual manera, el manual *M·MMP·1·11/16* menciona que esta prueba permite precisar la expansión originada por saturación de los materiales para terraplén, subyacente y subrasante, así como el CBR en especímenes compactados dinámicamente, para verificar que cumplan con lo indicado en la normativa. El equipo para la ejecución de la prueba debe cumplir con las condiciones de

operación, calibrado, limpieza y completo en todas sus partes, como se muestra en la Figura 2.31.

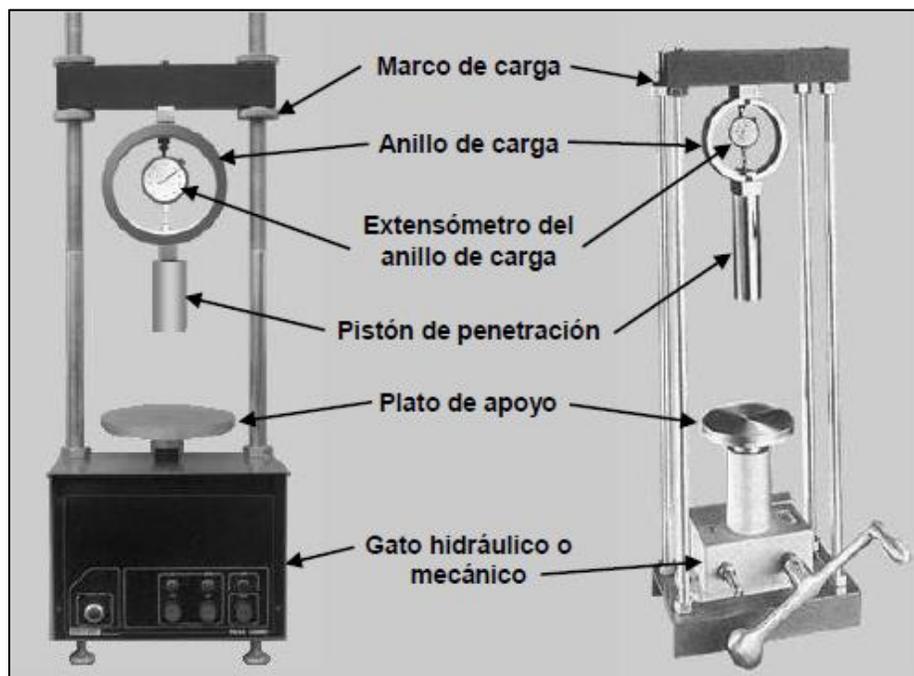


Figura 2.31. Equipo de carga (SCT, 2016).

2.6. ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA PAVIMENTOS

Las pruebas de laboratorio que se llevan a cabo para el estudio del pavimento se aplican para cada capa que lo conforma, como se observa en la Figura 2.24. Es importante que dichos estudios se desarrollen de forma correcta porque de éstos dependen la selección de los materiales, basados en su calidad, que se utilizarán para la construcción de la carpeta, base y subbase.

Algunas de estas pruebas ya fueron mencionadas en el punto anterior (2.5 *ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA TERRACERÍAS*) debido a que más de una se ejecuta para terracerías como para pavimentos, compartiendo así la misma teoría, mas no los requerimientos de calidad.

Cabe aclarar lo siguiente: La losa de concreto, perteneciente al pavimento rígido, no se hace mención en este apartado, esto con la finalidad de cumplir con los objetivos de este proyecto.

Pruebas de laboratorio para carpeta asfáltica

A continuación, se mencionan las pruebas de laboratorio que se llevan a cabo para los materiales de la carpeta asfáltica del pavimento.

- **Granulometría:** Explicado en *Granulometría*, en el punto 2.5 *ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA TERRACERÍAS*.

- **Intemperismo acelerado:** En esta prueba se busca producir el daño que sufriría el material al estar en contacto con los procesos que generarían su desgaste de forma natural. Se expresa en porcentaje de pérdida de material.
- **Partículas alargadas y lajeadas:** Según el manual *M·MMP·4·01·016/20*, de la SCT, esta prueba permite determinar el contenido de partículas de formas alargadas y lajeadas presentes en los materiales pétreos empleados en bases de pavimentos. La prueba consiste en separar el retenido en la malla $\frac{1}{4}$ in (6.3 mm) de una muestra de materiales pétreos, para determinar la forma de cada partícula, empleando un calibrador de espesor y un calibrador de longitud.
- **Prueba de desgaste de los Ángeles:** Este método proporciona una medida de degradación del árido por acción de la abrasión e impacto, llevado a cabo en el tambor o el cilindro rotatorio, debido a la interacción con las esferas de acero (Figura 2.32). Al finalizar las revoluciones, se saca el contenido y se tamiza para determinar la degradación como porcentaje de pérdida.



Figura 2.32. Máquina de los Ángeles con esferas de acero (Geotecnia Online, 2020).

Pruebas de laboratorio para base

A continuación, se mencionan las pruebas de laboratorio que se llevan a cabo para los materiales de la capa base.

- **Grado de compactación:** Se determina el grado de compactación del material en su estado natural o compactado en la obra en relación a su masa volumétrica seca máxima determinada en el laboratorio.

-
-
- **Granulometría:** Explicado en *Granulometría*, en el punto 2.5 ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA TERRACERÍAS.
 - **Partículas alargadas y lajeadas:** Explicado anteriormente.
 - **Prueba de desgaste de los Ángeles:** Explicado anteriormente.
 - **California Bearing Ratio:** Explicado en *California Bearing Ratio*, en el punto 2.5 ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA TERRACERÍAS.

Pruebas de laboratorio para subbase

A continuación, se mencionan las pruebas de laboratorio que se llevan a cabo para los materiales de la capa subbase.

- **Grado de compactación:** Explicado anteriormente.
- **Granulometría:** Explicado en *Granulometría*, en el punto 2.5 ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA TERRACERÍAS.
- **Prueba de desgaste de los Ángeles:** Explicado anteriormente.
- **California Bearing Ratio:** Explicado en *California Bearing Ratio*, en el punto 2.5 ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA TERRACERÍAS.

2.7. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO DE LA AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO)

Diversos métodos de diseño de pavimentos han sido estudiados y desarrollados por especialistas en la materia, pero uno de los que más sobresale es el que desarrolló Estados Unidos de forma empírica ya que, a través de los años, se ha ido modificando y perfeccionando, siendo uno de los más reconocidos y utilizados a nivel mundial.

Entre los años 1956 y 1961, en Ottawa, Illinois, Estados Unidos, se llevó a cabo el proyecto AASHO Road Test. Este proyecto consistió en la construcción y el análisis del comportamiento del pavimento de seis pistas o circuitos dobles sometidos a la intemperie y a la aplicación de cargas de diferentes magnitudes, con la finalidad de evaluar su desempeño (Todo Vial, 2020 b).

Al ser un método empírico estuvo sujeto a continuos estudios lo que generó constantes modificaciones y actualizaciones a través de los años. Actualmente el método más reciente es el que presentó la AASHTO en 1993 en la *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, en la cual se explica a detalle los factores y

parámetros que lo componen para que sean aplicados a la ecuación de diseño de pavimentos flexibles.

Es importante mencionar que el diseño del pavimento flexible está basado principalmente en encontrar su número estructural (SN), el cual, se encuentra implícito en la ecuación de diseño (Ecuación 7) y es posible encontrar su valor mediante una regresión lineal.

Si bien el estudio AASHO Road Test se desarrolló también para pavimentos rígidos dando como resultado su propio método y ecuación de diseño en la *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, no se hará mención de ello pues el objetivo de este trabajo es resumir únicamente el procedimiento para pavimentos flexibles. La ecuación de diseño, para pavimentos flexibles, presentada por la AASHTO, en 1993, es la siguiente:

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}(M_R) - 8.07 \quad (7)$$

***Todos los logaritmos presentes en la ecuación son de base 10.*

Donde:

W_{18} = Número previsto de aplicaciones de carga por eje simple
equivalente a 18 kip (80 kN), ESAL

Z_R = Desviación estándar normal asociada al nivel de confiabilidad

S_0 = Desviación estándar

SN = Número estructural del pavimento

ΔPSI = Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial de diseño p_0 y
el índice de serviciabilidad final de diseño p_t

M_R = Módulo resiliente, en psi (kPa)

Se organiza en tres grupos:

a) Variables:

- W_{18} = Número previsto de aplicaciones de carga por eje simple equivalente a 80 kN o ESAL.
- Z_R = Desviación estándar normal asociada al nivel de confiabilidad.
- M_R = Módulo resiliente, (kPa).

b) Constantes:

- S_0 = Desviación estándar.
- ΔPSI = Diferencia entre el índice de servicio inicial de diseño p_0 y el índice de servicio final de diseño p_t .

c) Desconocido:

- SN = Número estructural del pavimento

ESAL o tránsito

Durante el proyecto AASHO Road Test se utilizaron diversos vehículos de distintas cargas y diferentes ejes para simular el tránsito de una carretera, sin embargo, el vehículo que sirvió de referencia para definir el concepto de ESAL (Equivalent Single Axle Load) fue el de 18,000 lbs o 18 kip debido a que, en aquella época, era el límite legal permisible en los Estados Unidos. No obstante, se utilizaron vehículos de mayor carga para efectuar el estudio (N. Hernández, comunicación personal, 17 de septiembre de 2021).

El ESAL se define como aquel arreglo de dos llantas en cada extremo que transmite a la superficie del pavimento una carga total de 80 kN, cuando la presión de inflado de los neumáticos es de 5.8 kg/cm², ver Figura 2.33 (N. Hernández, comunicación personal, 17 de septiembre de 2021).

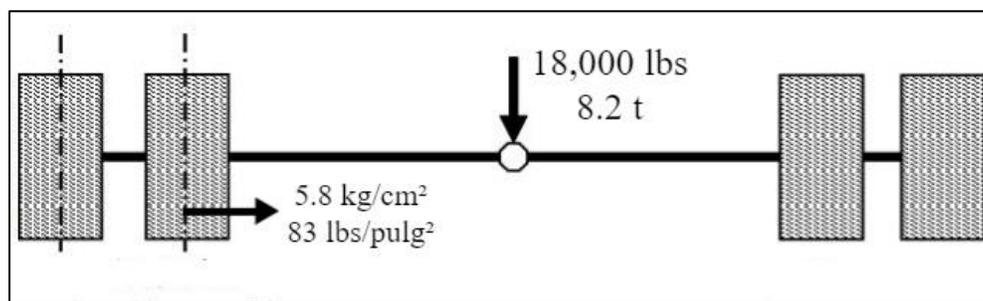


Figura 2.33. Ejemplo de eje equivalente (Modificado de Baaj H. y Carter, A., 2010).

Se demostró que el daño de un eje de cualquier masa (conocido como carga) puede ser representado por un número de carga por eje simple o ESAL. Por ejemplo, se encontró que la aplicación de un eje simple de 53 kN causa un daño aproximadamente igual a 0.23 aplicaciones de un eje simple de 80 kN y se necesitaron cuatro aplicaciones de un eje simple de 53 kN para provocar el mismo daño o reducción del servicio, que el de 80 kN (AASHTO, 1993).

El ESAL requerido se calcula con la ecuación 8:

$$ESAL = 365(TDPA)(F_d)(F_c)(F_s)(F_{crecimiento}) \quad (8)$$

Donde:

ESAL = Tránsito de ejes equivalentes

TDPA = Tránsito Diario Promedio Anual

F_d = Factor de daño o equivalente de carga (FEC)

F_c = Factor de carril de diseño

$F_s =$ Factor de distribución por sentido

$F_{crecimiento} =$ Factor de crecimiento

Factor de daño o de equivalencia de carga

Como ya se definió anteriormente, el eje equivalente es un arreglo de dos llantas en cada extremo; sin embargo, la Norma Oficial Mexicana (NOM) *NOM-012-SCT-2-2017*, del DOF, también considera como “eje equivalente” o eje sencillo al arreglo de una llanta en cada extremo, sin dejar pasar por alto a los otros ejemplos de ejes:

1. **Eje sencillo:** Elemento constituido por un solo eje, puede contener 2 o 4 neumáticos (Figura 2.34).



Figura 2.34. Ejes sencillos; la figura (a) corresponde a un eje de 2 neumáticos y la figura (b) a 4 neumáticos (Modificado de eddyhrbs, 2012).

2. **Eje tándem:** Elemento constituido por dos ejes, puede contener 4, 6 u 8 neumáticos (Figura 2.35).

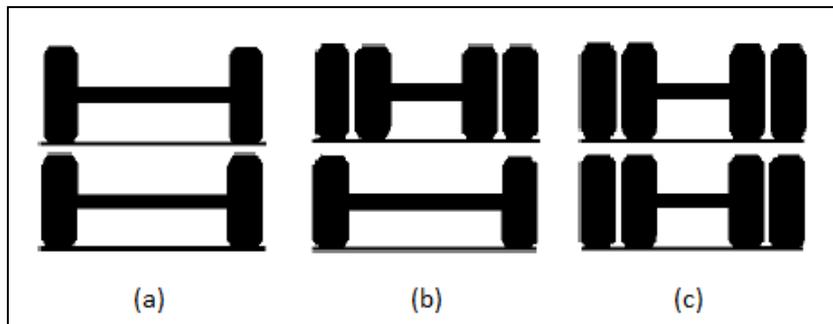


Figura 2.35. Ejes tándem; la figura (a) corresponde a un eje de 4 neumáticos, la figura (b) corresponde a 6 neumáticos y la figura (c) a 8 neumáticos (Modificado de eddyhrbs, 2012).

3. **Eje tridem:** Elemento constituido por tres ejes, puede contener 6, 10 o 12 neumáticos (Figura 2.36).

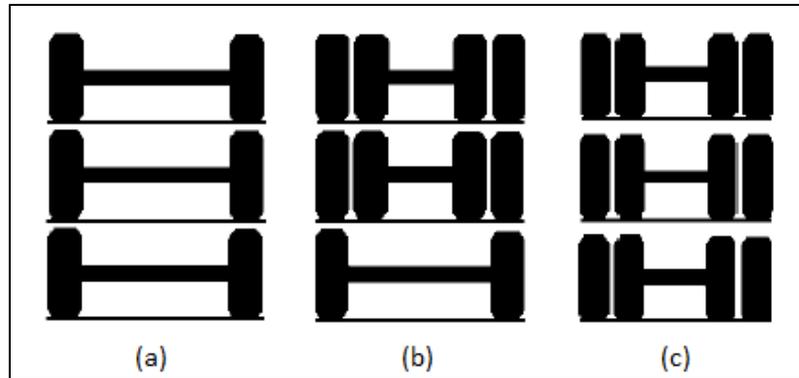


Figura 2.36. Ejes tridem; la figura (a) corresponde a un eje de 6 neumáticos, la figura (b) corresponde a 10 neumáticos y la figura (c) a 12 neumáticos (Modificado de eddyhrbs, 2012).

Cada uno de estos ejes deben relacionarse a un solo tipo de eje equivalente por lo que se debe obtener un factor de equivalencia de carga para representar las distintas cargas en términos de ESAL porque una incorrecta estimación de los daños de las cargas de los vehículos al pavimento puede generar una costosa falla (N. Hernández, comunicación personal, 17 de septiembre de 2021).

Para calcular el valor del factor de equivalencia de carga, o también conocido como factor de daño (F_d), se aplica la ecuación 9:

$$\text{Log}_{10} \left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}} \right) = 4.79 \text{Log}_{10}(18 + 1) - 4.79 \text{Log}_{10}(L_x + L_2) + 4.33 \text{Log}_{10}(L_2) + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}} \quad (9)$$

Donde:

$$G_t = \text{Log}_{10} \left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right) \quad (10)$$

$$\beta_x = 0.40 + \frac{0.081(L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}} \quad (11)$$

$$\beta_{18} = 0.40 + \frac{0.081(18 + 1)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}} \quad (12)$$

W_{tx} = Número de aplicaciones de carga del x al final del tiempo t

W_{t18} = Número de aplicaciones de carga del eje equivalente 18 kip al final del tiempo t

L_x = Carga de eje a evaluar (kips)

L_2 = Código por configuración de eje

1 = Eje sencillo 2 = Eje tándem 3 = Eje triple

SN = Número estructural

p_t = Punto de nivel de servicio final

Factor de carril de diseño

La AASHTO sugiere la Tabla 2.8 para obtener el factor de carril (F_c) de diseño con base en el número de carriles de diseño:

Tabla 2.8. Valores para el factor de carril de diseño (AASHTO, 1993).

Número de carriles en cada dirección	% de ESAL de 18 kips en el carril de diseño
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Factor de distribución por sentido

La AASHTO menciona que el factor de distribución de sentido (F_s) generalmente vale de 0.5 (50%) para la mayor parte de vías vehiculares, sin embargo, hay casos en los que puede moverse más peso en una dirección que en otra. La experiencia ha demostrado que F_s puede variar de 0.3 a 0.7, dependiendo de cuál dirección está cargada y cual está descargada.

Factor de crecimiento

Del estudio de TDPA se puede conocer el valor de la tasa de crecimiento y del periodo de diseño en años. Estos dos últimos determinan o calculan al factor de crecimiento, el cual indica la medida de aumento del tránsito en función de la tasa.

Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$F_{\text{crecimiento}} = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \quad (13)$$

Donde:

$$F_{\text{crecimiento}} = \text{Factor de crecimiento}$$
$$r = \text{Tasa de crecimiento vehicular \%}$$
$$n = \text{Periodo de diseño (años)}$$

Recordando que el periodo de diseño es el tiempo para el cual se estima que la obra va a funcionar satisfactoriamente, sobrepasando las condiciones establecidas en el proyecto. Por otro lado, la tasa de crecimiento de cada tipo de vehículo puede tener un valor distinto ya que no todos crecen de igual forma.

Parámetros de confiabilidad

El nivel de confiabilidad (R%) es la probabilidad con que una sección de pavimento se desempeñará satisfactoriamente sobre las condiciones de tráfico y ambiente para el periodo de diseño seleccionado. Para evitar un mal comportamiento de los

pavimentos es necesario seleccionar un nivel adecuado de confiabilidad presente en la Tabla 2.9, los mayores valores corresponden a las vías de mayor uso, mientras que el nivel más bajo, corresponde a las carreteras locales (AASHTO, 1993).

Tabla 2.9. Niveles de confiabilidad sugeridos para varias clasificaciones funcionales (Modificado de AASHTO, 1993).

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías libres	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Escogido el valor de nivel de confiabilidad, con base en la Tabla 2.10, se puede seleccionar el valor que corresponde a la desviación estándar normal (Z_R) la cual está asociada con un nivel de confiabilidad fundado en la curva estándar normal. Esto quiere decir que una sección del pavimento sobrevivirá al tráfico durante el periodo de diseño, a esta probabilidad se le define como nivel de confiabilidad (AASHTO, 1993).

Tabla 2.10. Valores de la desviación estándar normal (Z_R) correspondientes a niveles seleccionados de confiabilidad (Modificado de AASHTO, 1993).

Confiabilidad R (%)	Desviación estándar normal Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Notar que la confiabilidad no entra directamente en la ecuación de diseño AASHTO para pavimentos flexibles, la que sí se utiliza es la desviación estándar normal, que se obtuvo directamente de la confiabilidad (Deroussen, 2005).

Por otro lado, la AASHTO menciona que la desviación estándar (S_0) estimada para el caso donde la varianza del tráfico futuro proyectado es considerado, conjuntamente con las otras variantes asociadas con los modelos de pavimentos revisados, es de 0.39 para pavimentos rígidos y 0.49 para pavimentos flexibles.

De la misma forma, las desviaciones estándar estimadas para el caso donde la varianza del tráfico futuro proyectado no es considerado, son 0.34 para pavimentos rígidos y 0.44 para pavimentos flexibles.

Por lo tanto, el rango de valores está basado en los valores anteriores:

0.30 - 0.40 para pavimentos rígidos.

0.40 - 0.50 para pavimentos flexibles.

Parámetros de servicio

El índice de servicio presente (PSI) define y evalúa la habilidad y capacidad que tiene un pavimento para servir al tipo de tráfico (automóviles o camiones) que usa la vía. Los factores que influyen mayormente en la pérdida de servicio de un pavimento son el tráfico, la edad y el medio ambiente. Las propiedades de los materiales usados para la construcción de pavimentos cambian con el tiempo. Estos cambios pueden ser ventajosos para el comportamiento, sin embargo, en la mayoría de los casos, la edad (tiempo) es un factor negativo y contribuye a reducir el servicio del pavimento (AASHTO, 1993; Deroussen, 2005).

La AASHTO sugiere los siguientes valores típicos para pavimentos flexibles, obtenidos a partir del proyecto AASHO Road Test, para calcular la diferencia de servicio por medio de la ecuación 14:

- **Índice de servicio inicial (p_i):** 4.2
- **Índice de servicio final (p_t):** 2.5 o mayor para el diseño de las carreteras principales y de 2.0 para las carreteras con menores volúmenes de tráfico.

$$\Delta PSI = p_i - p_t \quad (14)$$

En la Figura 2.37 se ilustra el comportamiento que tiene el PSI a través del tiempo de uso.

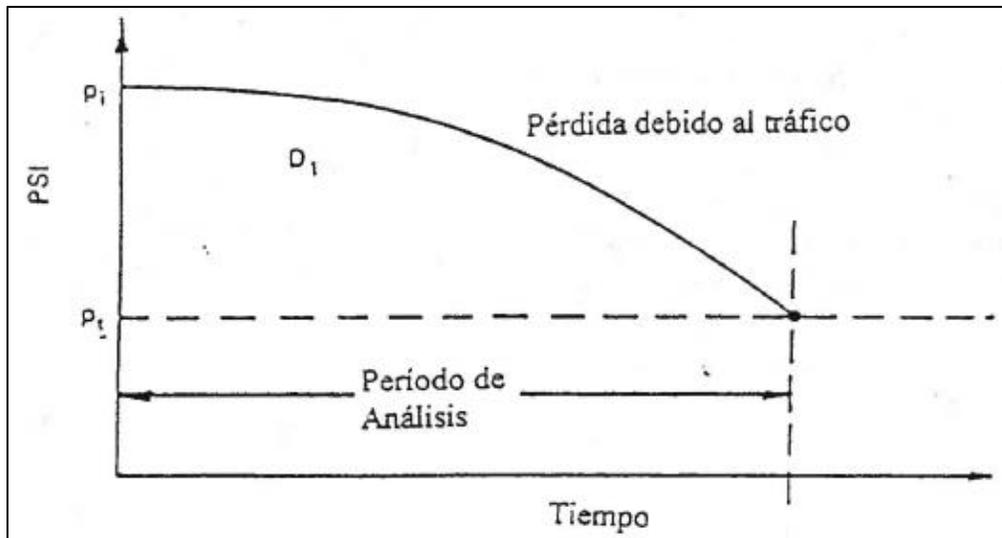


Figura 2.37. Tendencia en el comportamiento del pavimento (AASHTO, 1993/1997).

Materiales

A continuación, se explica cómo se deben hallar los valores de los coeficientes estructurales (a_i) de cada capa del pavimento (excepto la subrasante) con base en los parámetros de CBR y módulo resiliente (M_R).

Los coeficientes estructurales de capa a_i expresan la relación que existe entre el número estructural y el espesor de capa, midiendo la habilidad que tienen los materiales para trabajar en conjunto con el pavimento (AASHTO, 1993).

Múnera y Aguilar (2020) describen al módulo resiliente como una medida de la capacidad de un material de almacenar o absorber energía sin que este experimente deformación permanente. Este se determina mediante ensayos triaxiales de carga repetida y es un parámetro importante en el análisis y diseño de pavimentos flexibles.

Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica

Para encontrar el valor del coeficiente de capa de la carpeta asfáltica (a_1) se requiere conocer el módulo resiliente del concreto asfáltico y usar el gráfico de la Figura 2.38. La AASHTO recomienda trabajar con valores de módulo por debajo de los 450,000 psi (3102.64 MPa) ya que los concretos asfálticos con valores mayores a esta cifra son más resistentes a la flexión, pero más susceptibles a agrietamientos térmicos y por fatiga. Si el módulo resiliente del concreto asfáltico es desconocido, se puede consultar valores típicos de fuentes oficiales como manuales o correlaciones desarrolladas por investigadores.

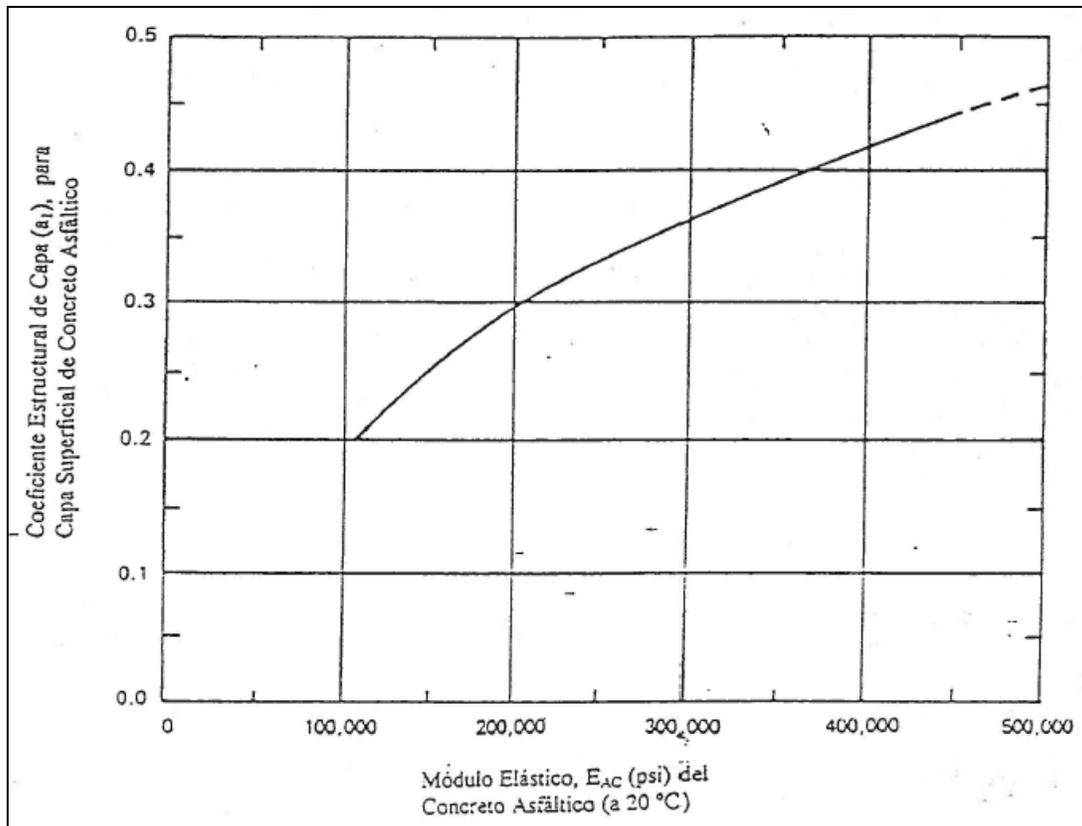


Figura 2.38. Carta para la estimación del coeficiente estructural de capa de concreto asfáltico de gradación densa basado en el módulo elástico (resiliente) (AASHTO, 1993/1997).

Coeficiente estructural de la base

Para encontrar el valor del coeficiente de capa de la base granular (a_2) se requiere conocer su CBR y usar el nomograma de la Figura 2.39. Se puede usar el valor típico de 0.14, para un valor de CBR igual a 100%. También se puede relacionar con su módulo resiliente de la base (E_{bg}), en psi, utilizando la siguiente ecuación:

$$a_2 = 0.249[\text{Log}_{10}(E_{bg})] - 0.977 \quad (15)$$

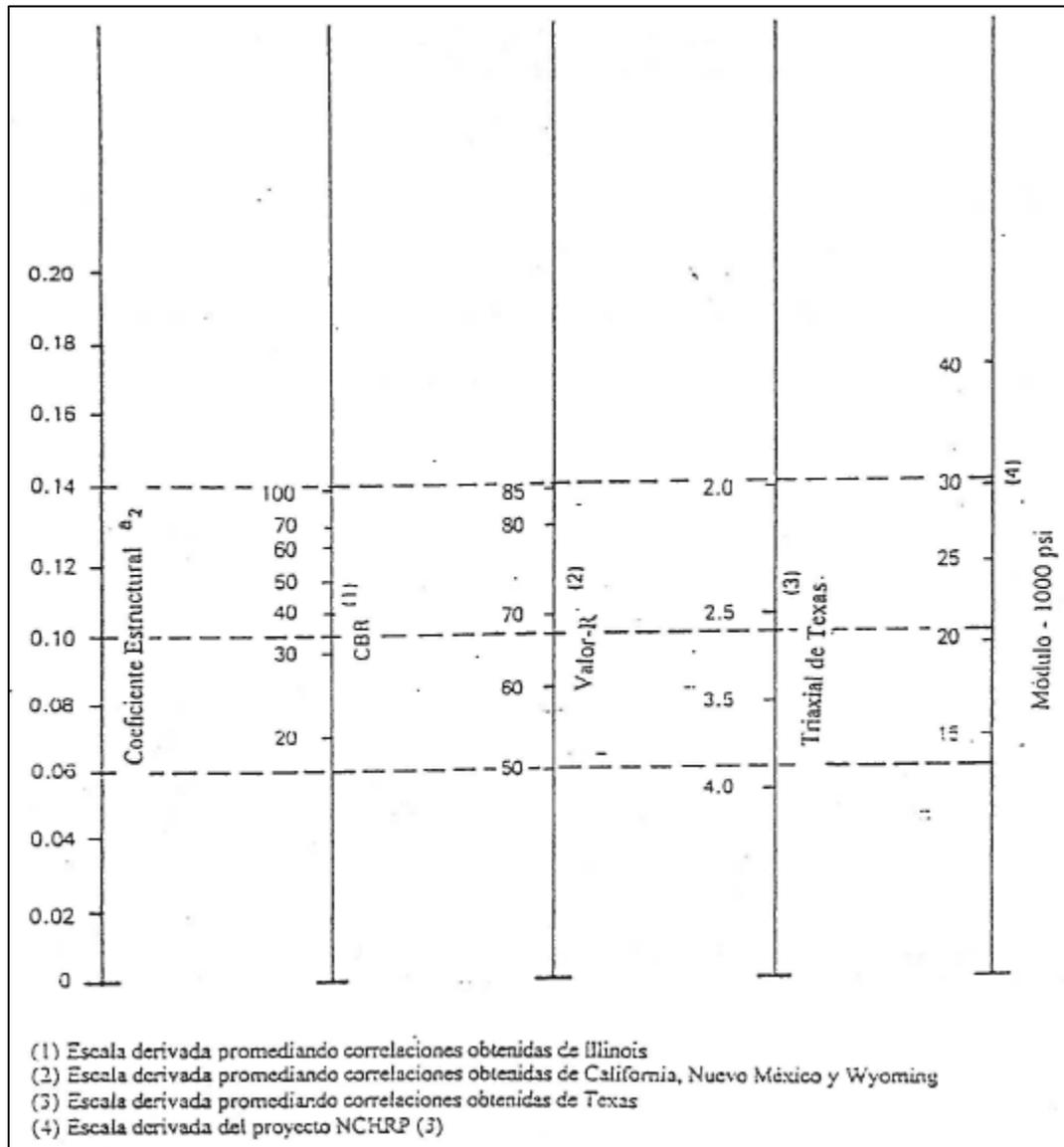


Figura 2.39. Variación en el coeficiente estructural de capa de base (a_2) con diferentes parámetros de resistencia (AASHTO, 1993/1997).

Coefficiente estructural de la subbase

Para encontrar el valor del coeficiente de capa de la subbase granular (a_3) se requiere conocer su CBR y usar el gráfico de la Figura 2.40. Se puede usar el valor típico de 0.11, para un valor de CBR igual a 30%. También se puede relacionar con el módulo resiliente de la subbase (E_{sbg}), en psi, utilizando la siguiente ecuación:

$$a_3 = 0.227[\text{Log}_{10}(E_{sbg})] - 0.839 \quad (16)$$

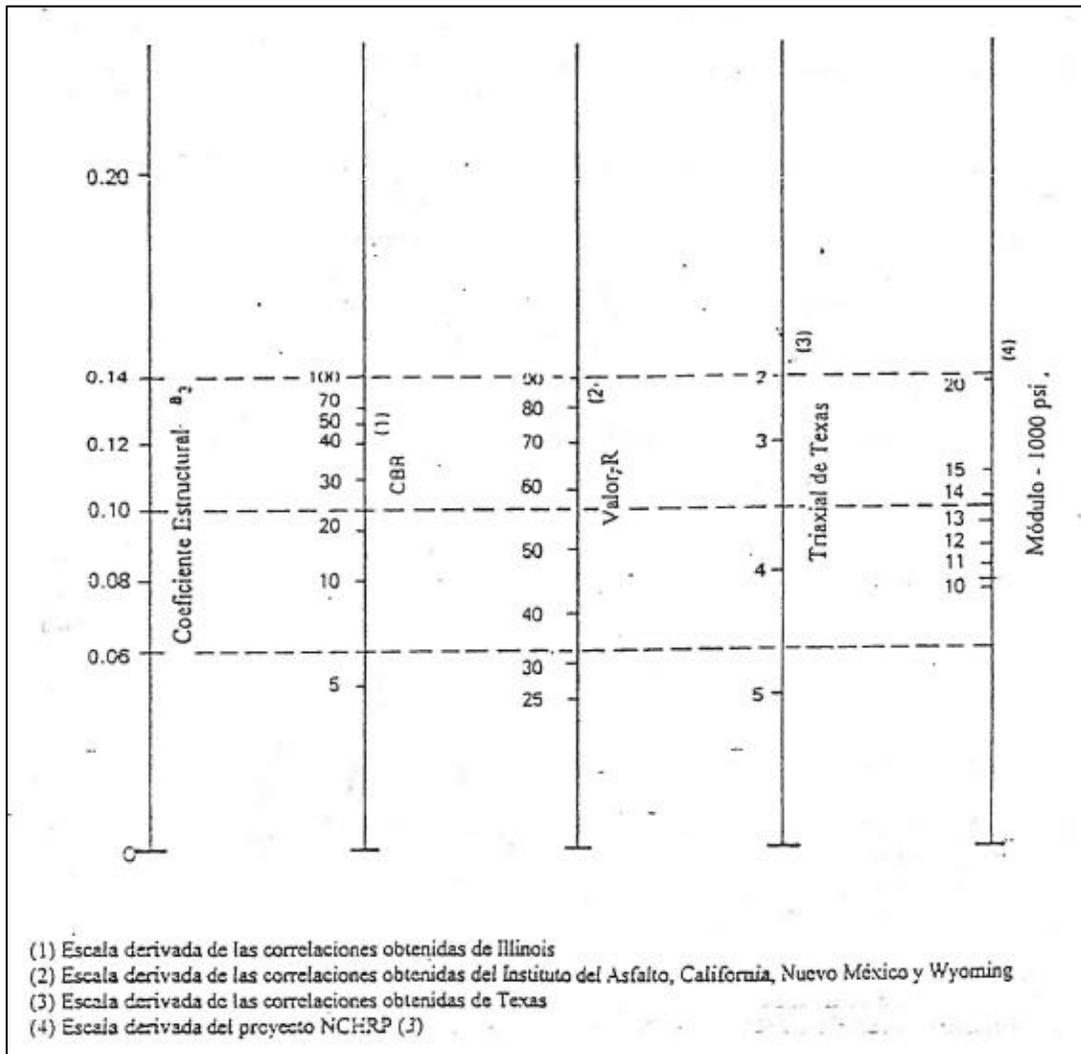


Figura 2.40. Variación en el coeficiente de capa de subbase granular (a_3) con diferentes parámetros de subbase (resiliente) (AASHTO, 1993/1997).

Subrasante

En el caso de la subrasante, al ser parte de las terracerías, no posee coeficiente estructural, sólo basta con conocer su valor de CBR para que se sustituya en la siguiente correlación (que la AASHTO sugiere) y así se obtenga su M_R .

$$M_R(\text{psi}) = 1500\text{CBR} \quad (17)$$

Para $\text{CBR} < 10\%$

La AASHTO también sugiere que se ejecute el ensayo de laboratorio AASHTO T 274 para determinar el módulo resiliente de los materiales de subrasante; dicha prueba consiste en simular el comportamiento del suelo, en servicio, semejante a la estructura del pavimento y en condiciones de humedad. Sin embargo, no todos los

proyectos tienen la oportunidad de llevarlo a cabo o de costearlo por lo que es necesario buscar otras alternativas. Por esa razón, Garnica y Hernández (2013) presentan valores de módulos resilientes basados en la clasificación SUCS del suelo como se muestra en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Valores típicos del módulo de resiliencia, M_R , para suelos clasificados con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, S.U.C.S (Garnica y Hernández, 2013).

Clasificación del suelo	Rango de M_R (MPa)	Valores típicos de M_R (MPa)
CH	34 – 90	55
CH + cal	100 – 200	150
CH + cemento	200 – 300	250
MH	55 – 120	80
CL	90 – 165	117
ML	50 – 100	75
SW	193 – 259	220
SP	166 – 228	193
SW-SC	148 – 214	176
SW-SM	166 – 228	193
SP-SC	148 – 214	176
SP-SM	166 – 228	193
SC	148 – 193	166
SM	193 – 259	221
GW	273 – 350	310
GW + cemento	750 – 2000	1500
GW + asfalto	500 – 1500	1000
GP	245 – 300	270
GW-GC	193 – 276	238
GW-GM	245 – 279	266
GP-GC	193 – 269	235
GP-GM	214 – 276	252
GC	166 – 259	214
GM	228 – 290	266

Otra forma de calcular el M_R es con base en la prueba de CBR, por ello, Pérez et al. (2016) mencionan que se han desarrollado diversas investigaciones en las que se exponen diferentes correlaciones que involucran el CBR, como se muestra en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Correlaciones que involucran el CBR (Gopalakrishnan y Thompson, 2007, como se citó en Pérez et al., 2016).

Relación	Referencia
$M_r(ksi) = 1.42CBR$ Para suelos con CBR menores a 10	Heukelon y Klomp (1962)

$M_r(psi) = 5409CBR^{0.71}$	Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (Green y Hall, 1975)
$M_r(psi) = 3000CBR^{0.65}$	South African Council on Scientific and Industrial Research (CSIR)
$CBR = 0.62S_u(psi)$	Black (1961) y Duncan y Buchignani (1976)
$M_r(psi) = 2555CBR^{0.64}$	Powell et al. (1984) y NCHRP (2004)
$M_r(psi) = 3116CBR^{0.67797}$	Webb y Campbell (1986)
$M_r(psi) = 10^{0.85Log(CBR)+2.971}$	Newcomb y Birgisson (1999)

Hidrología del proyecto

Los coeficientes de drenaje (m_i) representan la pérdida relativa de resistencia debido a las características del drenaje y la exposición a la saturación de humedad, por lo que las capas que drenan lentamente tendrán un coeficiente de drenaje más bajo, mientras que las capas que drenan rápidamente tendrán un coeficiente de drenaje más alto (Pavement Interactive, s.f.).

Es importante aclarar que el cambiar o modificar un coeficiente de drenaje sólo tendrá impacto en el espesor de la capa, mas no hará que la evacuación del agua mejore o empeore. Si existe algún problema con el drenaje de las capas es mejor atacar el problema directamente (Pavement Interactive, s.f.).

De acuerdo al estudio hidrológico, climatológico y geológico que se realiza en el sitio donde se va a proyectar el tramo carretero y a los materiales no estabilizados que van a conformar al pavimento, se obtienen los siguientes datos:

- Días de lluvia al año
- Porcentaje de días de lluvia al año
- Tiempo de evacuación
- Calidad del drenaje de los materiales

Con base en los últimos dos datos y la Tabla 2.13, el ingeniero de diseño tendrá que identificar el nivel de drenaje correspondiente a la estructura del pavimento.

Tabla 2.13. Nivel de drenaje (AASHTO, 1993).

Calidad de drenaje	Tiempo de remoción del agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	No drena

Una vez seleccionada la calidad del de drenaje, por medio de la Tabla 2.14, valorará qué porcentaje de tiempo, durante el año, la estructura del pavimento estará

expuesta a niveles de humedad o saturación. Esto dependerá de los primeros dos datos mencionados anteriormente.

Tabla 2.14. Valores de m_1 recomendados para los coeficientes de capa modificados de materiales de base y subbase no tratada en pavimentos flexibles (AASHTO, 1993).

Calidad del drenaje	% del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1	1 – 5	5 – 25	>25
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Es importante aclarar lo siguiente: $m_1 = m_2$ y pertenecen a la base y subbase, respectivamente; y para la carpeta asfáltica, la AASHTO considera un coeficiente de drenaje igual a 1.

Número estructural

El número estructural (SN) depende de una combinación de soporte de suelo, cargas totales del tráfico, capacidad de servicio del pavimento y condiciones ambientales. Definido el valor del número estructural, éste se puede usar para determinar los espesores apropiados para cada una de las capas de pavimento (Pavement Interactive, s.f.).

Para poder determinar la capacidad de soporte que tiene el pavimento para tolerar las cargas que transfiere el tránsito se calcula, en primera instancia, el número estructural implícito en la ecuación de diseño (Ecuación 9) al cual se denomina “número estructural de diseño (SNd)”.

Como el número estructural es un valor que se aplica a la estructura del pavimento derivado de un análisis de tráfico, condiciones del suelo y ambientales, será preciso convertirlo a un valor de espesor de capa a través del uso de adecuados coeficientes relacionados al tipo de material que se usará en cada capa de la estructura. El número estructural que resulta de este análisis se le denomina número estructural de pavimento (SNp).

A modo de resumen se puede decir que el método se divide en dos partes:

1. Encontrar el número estructural de diseño con base en los valores de las variables de la ecuación de diseño (Ecuación 9).
2. Encontrar el número estructural de pavimento a partir del uso de coeficientes que relacionan el comportamiento de los materiales y la capacidad de drenaje de cada capa del pavimento, para seleccionar los espesores de capa.

Número estructural de diseño

El valor del número estructural se puede encontrar de dos posibles maneras:

- **Método iterativo:** A través de una hoja de cálculo Excel se puede encontrar el valor del SN ingresando la ecuación de diseño AASHTO (Ecuación 9) y utilizando las funciones “Solver” o “Buscar Objetivo”.
- **Gráfico AASHTO:** En la guía AASHTO se muestra un gráfico o nomograma, como el de la Figura 2.41, que sirve para encontrar el número estructural tomando en cuenta los siguientes datos conocidos: El nivel de confiabilidad R%, la desviación estándar S_0 , el número de ejes equivalentes o ESAL, el módulo resiliente M_R y la diferencia de servicio ΔPSI ; yendo de izquierda a derecha. Deroussen (2005) menciona que, si bien el gráfico permite determinar rápidamente al número estructural, es poco preciso y no puede servir como base de un cálculo.

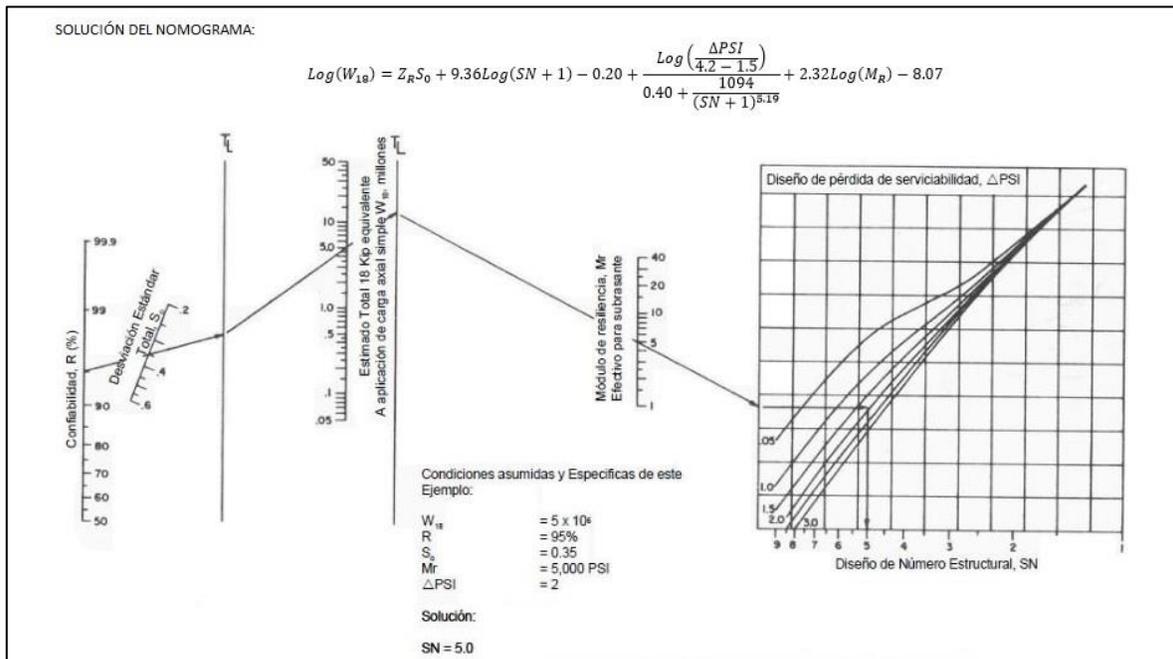


Figura 2.41. Carta de diseño para pavimentos flexibles (AASHTO, 1993/1997).

Número estructural de pavimento

El número estructural de pavimento se obtiene a partir de la siguiente ecuación de la guía AASHTO:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (18)$$

Donde:

SN = Número estructural de pavimento

$a_1, a_2, a_3 =$ Coeficientes de capa representativos de la carpeta asfáltica, base y subbase, respectivamente

$D_1, D_2, D_3 =$ Espesores de cada capa de la carpeta asfáltica, base y subbase, respectivamente

$m_2, m_3 =$ Coeficientes de drenaje de la carpeta asfáltica, base y subbase, respectivamente

Una vez determinado el número estructural de diseño para una estructura de pavimento inicial, es necesario identificar los espesores de las capas del pavimento, que cuando son combinados, proporcionan la capacidad de carga correspondiente al número estructural de diseño (Ecuaciones 19-23).

$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (19)$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1 \quad (20)$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2} \quad (21)$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2 \quad (22)$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3} \quad (23)$$

Nota:

a, D, m y SN representan los valores mínimos requeridos.

D^* y SN^* , indican el valor actualmente usado el cual debe ser igual o mayor al valor requerido.

En la Figura 2.42 se ilustran cómo se representan las variables de las anteriores ecuaciones en el pavimento, señalando que la subrasante queda fuera de la metodología de diseño AASHTO.

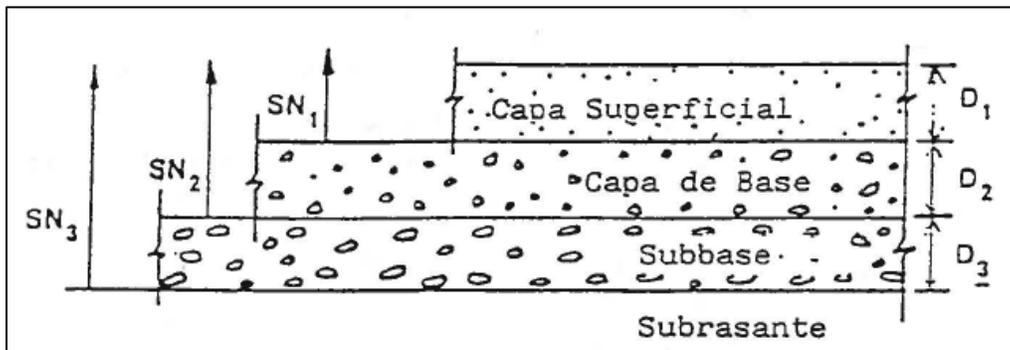


Figura 2.42. Procedimiento para determinar los espesores de capas (AASHTO, 1993/1997).

2.8. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES POR EL MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM (DISPAV-5)

El método de diseño de pavimentos de la UNAM fue desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM a petición de la entonces Secretaría de Obras Públicas (SOP) a partir de los trabajos experimentales llevados a cabo en la pista circular de pruebas y en los tramos carreteros de Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, y de Izúcar de Matamoros, Puebla (Rico et al., 1998; Zárate, 2012).

Es un método que utiliza conceptos empírico-mecanicistas como las reacciones del pavimento, basadas en observaciones hechas en campo, y/o reacciones del pavimento, sometido a la carga, en términos de esfuerzos, deformaciones y deflexiones; necesarias para diseñar secciones estructurales de pavimentos flexibles de caminos normales y de grandes especificaciones. Para poder emplearlo se debe tener suficiente información sobre los datos requeridos ya que los resultados del cálculo dependen de las propiedades de los materiales del lugar de la obra vial. Algunos de estos datos son el tipo de carretera, el número de carriles, la tasa de crecimiento (basado en el estudio del TDPA), la vida de proyecto y variables adicionales sobre características del terreno y materiales, así como de climas, nivel freático y precipitación pluvial. Sin embargo, hay que prestar mayor atención al California Bearing Ratio (CBR) y al tránsito equivalente acumulado (ΣL) para determinar los espesores de las capas del pavimento.

California Bearing Ratio

Corro y Prado (1999) mencionan que el CBR es una de las variables de proyecto más importantes y es necesario que el proyectista deba poner mucho cuidado en su estimación de manera que sea representativo de las condiciones esperadas en el camino durante la vida de servicio de la obra vial.

Rico et al. (1998) mencionan que, por experiencia, independientemente del CBR obtenido para la subrasante, se le asignará un valor menor de la orden del 60%. Para el caso de la base y subbase, se emplea la ecuación 24 donde interviene un coeficiente de variación estimado que tenderá a disminuir el CBR de campo actuando como un factor de seguridad.

$$\widehat{CBR}_z = \overline{CBR}(1 - CV) \quad (24)$$

Donde:

\widehat{CBR}_z = Valor relativo de soporte crítico esperado en el campo, durante la vida útil de la carretera, de la capa colocada a la profundidad z

\overline{CBR} = Valor relativo de soporte medio esperado en el campo en condiciones medias

C = Factor que depende del nivel de confianza establecido

Para un 90% de nivel de confianza, $C = 1.282$

Para un 80% de nivel de confianza, $C = 0.84$

$V =$ Coeficiente de variación. Se considera conveniente que si valor esté de acuerdo al nivel de calidad de los procedimientos de construcción, así como al propio control de calidad

Si la calidad es buena, $V = 0.2$

Si la calidad es deficiente, $V = 0.3$

Tránsito equivalente acumulado

Rico et al. (1998) señalan que para el análisis del tránsito equivalente acumulado (ΣL), el método debe iniciar con el cálculo de los coeficientes de daño a diferentes profundidades de la estructura del pavimento, auxiliado de la ecuación general (Ecuación 25). Después se calcula el coeficiente de daño de cada vehículo tanto en condiciones de carga reglamentada como vacíos, para profundidades de $Z = 0$ cm para obtener los ejes equivalentes en carpeta y base, y $Z = 30$ cm para el resto de la sección.

$$\text{Log}(d_i) = \frac{\text{Log}(\sigma_{z(i)}) - \text{Log}(\sigma_{z(eq)})}{\text{Log}(A)} = \frac{\text{Log}(pF_{z(i)}) - \text{Log}(5.8F_z)}{\text{Log}(A)} \quad (25)$$

Donde:

$d_i =$ Coeficiente de daño equivalente en la capa i

$\sigma_z =$ Esfuerzo a la profundidad z $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$

$p =$ Peso del eje (kg)

$F_z =$ Coeficiente de influencia de Boussinesq a la profundidad z

$A =$ Constante experimental

$z =$ Profundidad (cm)

$5.8 =$ Presión de contacto de la llanta $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$

Una vez obtenidos los coeficientes de daño para todos los vehículos vacíos y cargados a las profundidades antes mencionadas, se deberá multiplicar éstos por la composición del tránsito en porcentaje. Con ello se obtendrá el número de ejes equivalentes para cada vehículo y para cada profundidad. Al efectuar la sumatoria de tales valores en el carril de proyecto por el coeficiente de acumulación del tránsito C_T (Ecuación 26) y por el valor de TDPA inicial, se obtendrá el tránsito equivalente acumulado para las capas de carpeta y base, y subbase y terracerías respectivamente.

$$C_T = 365 \sum_{j=1}^n (1+r)^{j-1} = 365 \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] \quad (26)$$

Donde:

C_T = Coeficiente de acumulación del tránsito

n = Años de servicio

r = Tasa de crecimiento

Determinación de los espesores del pavimento

Rico et al. (1998) señalan que el método presenta un procedimiento sencillo para obtener los espesores de la sección estructural del pavimento. Éste se auxilia de dos nomogramas (Figura 2.43 y 2.44) que están en función del nivel de confianza Q_u elegido, el CBR de cada capa y el tránsito equivalente acumulado en ejes sencillos de 8.2 T en el carril de proyecto.

Para determinar el espesor equivalente Z_i de la capa analizada, se ingresa a la gráfica con el CBR de dicha capa en el eje de las abscisas por donde se baja una vertical hasta interceptar la curva del tránsito equivalente SL correspondiente a la profundidad analizada y en el eje de las ordenadas se observa el espesor equivalente Z_i .

Para calcular el espesor real de las capas del pavimento, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Z_i = \sum a_i D_i \quad (27)$$

Donde:

- $Z_i =$ Espesor equivalente
- $a_i =$ Coeficiente de equivalencia
- $a_1 = 0$, para carpetas de riego
- $a_2 = 2$, para carpetas asfálticas
- $a_3 = a_4 = a_5 = 1$, para materiales estabilizados
- $D_i =$ Espesor real

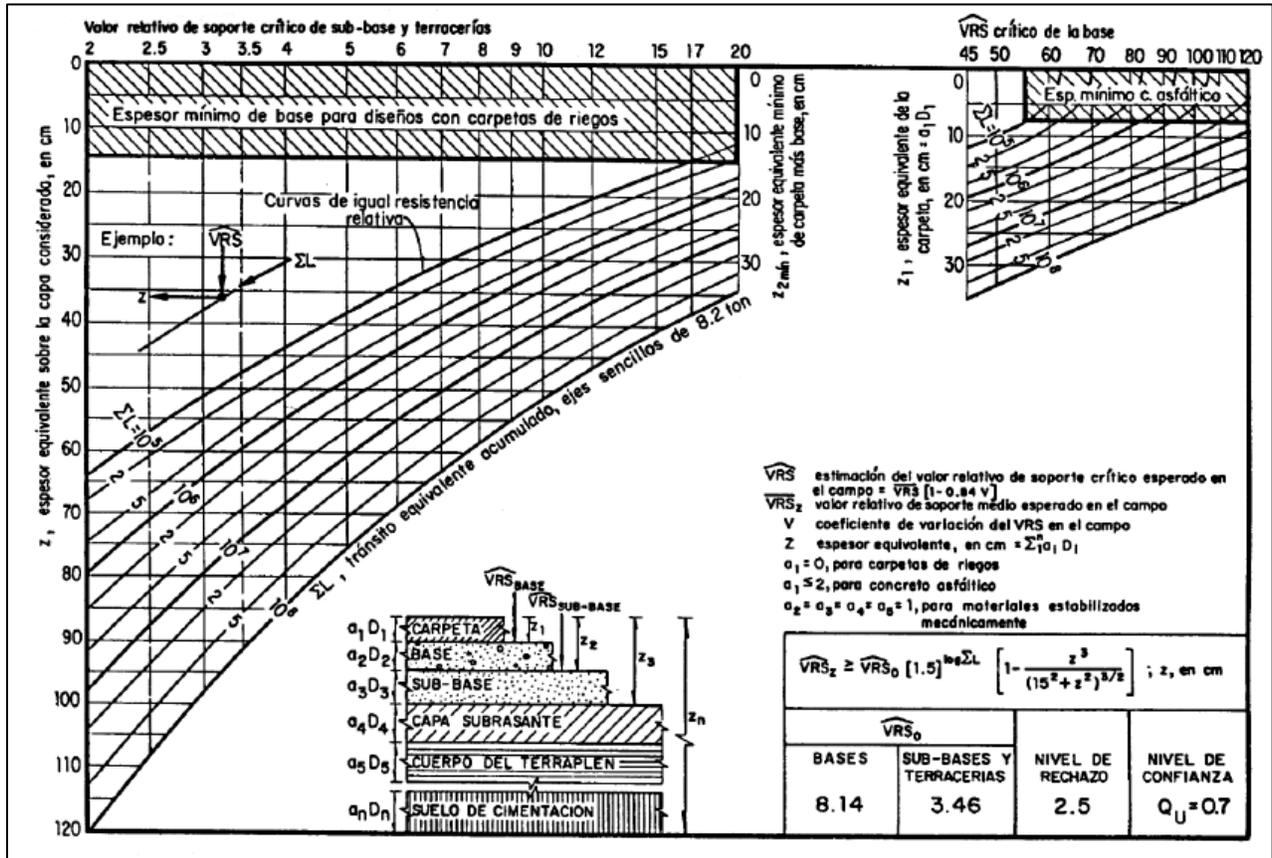


Figura 2.43. Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible (Rico et al., 1998).

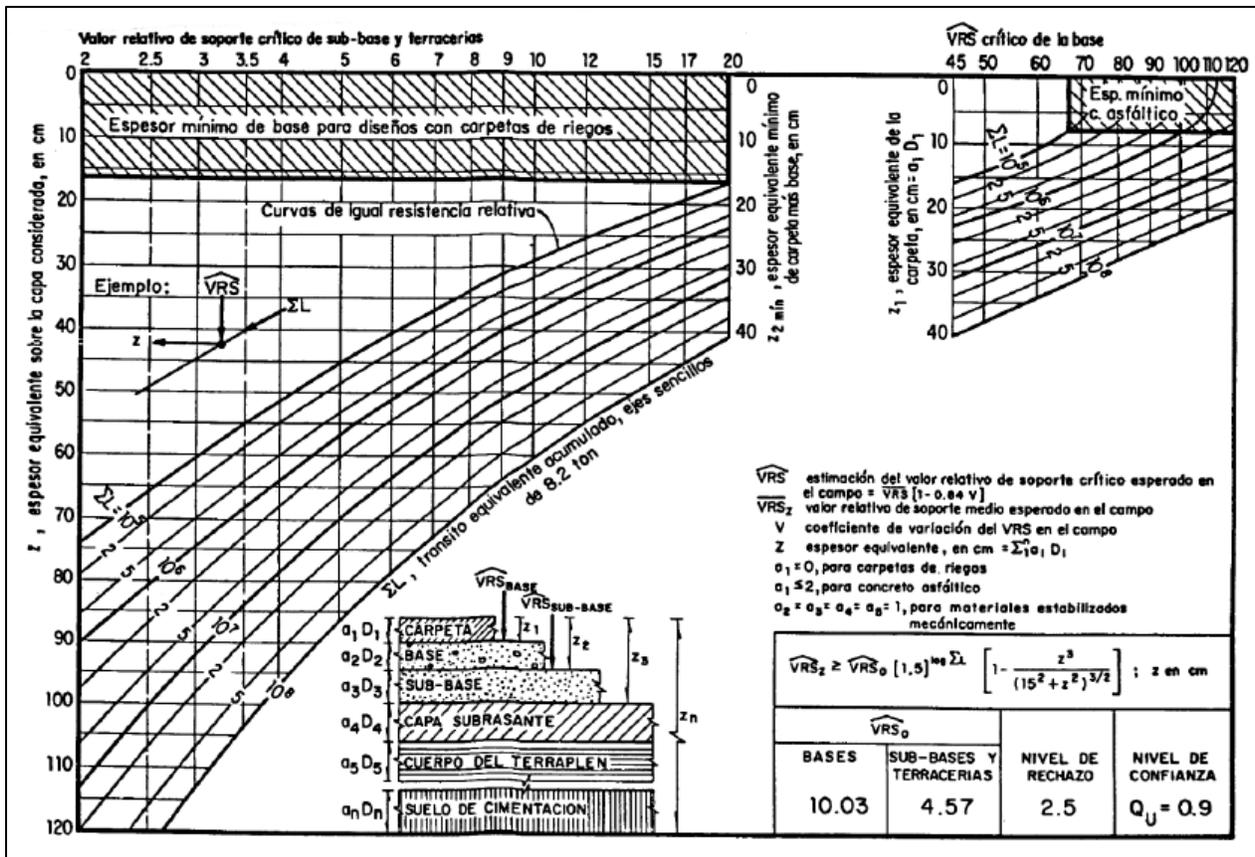


Figura 2.44. Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible (Rico et al., 1998).

DISPAV-5

Una forma de agilizar el diseño de la estructura del pavimento es mediante el uso del software DISPAV-5 el cual utiliza el planteamiento teórico-experimental propuesto por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El DISPAV-5 diseña pavimentos empleando secciones estructurales de hasta cinco capas, lo cual simplifica el método de diseño ya que incorpora tanto el cálculo por deformación permanente (modelo elasto-plástico), como el cálculo por fatiga (modelo elástico) (Corro y Prado, 1999).

Asimismo, Corro y Prado (1999) señalan que el programa permite calcular tanto carreteras de altas especificaciones como carreteras normales y que se requiere zonificar la carretera, analizar su clima llevar a cabo estudios analíticos para determinar el módulo de rigidez equivalente de las capas asfálticas. Sin embargo, la determinación de este módulo, que representa las condiciones normales de la carretera durante las diferentes épocas del año, presenta una dificultad significativa para su determinación en todos los métodos de diseño, por eso en la práctica este es uno de los factores de diseño que requiere experimentación amplia y buen juicio del proyectista para llegar a un proyecto adecuado.

A continuación, Corro y Prado (1999) muestran los pasos a seguir para el procedimiento de diseño estructural en DISPAV-5 (cada uno de ellos está acompañado de una ilustración del programa, apoyado de los datos de un ejemplo de diseño, para una mayor comprensión).

1. Entrada de datos

Antes de comenzar a introducir datos, en la Figura 2.45 se observa el menú principal del programa. Para comenzar con el diseño es necesario ingresar a “Dispav-5”.



Figura 2.45. Menú principal del programa.

- **Tipo de carretera:** Como se observa en la Figura 2.46, se especifica si el camino carretero que se va a diseñar es de altas especificaciones o no.

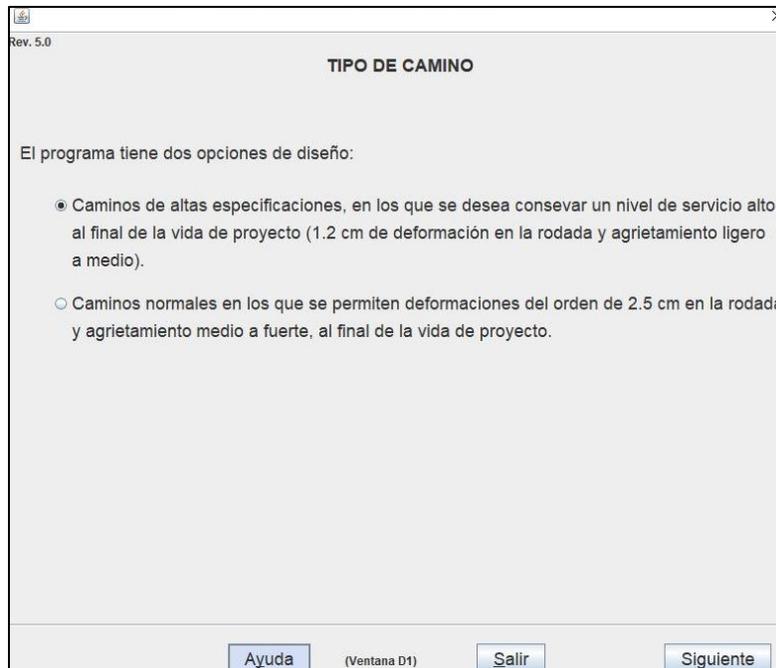


Figura 2.46. Selección del tipo de camino.

- **Tránsito de proyecto:** Si se conoce el dato del tránsito, se puede introducir directamente (Figura 2.47); pero si se desconoce, el programa lo puede calcular siendo necesario introducir la tasa de crecimiento y los tipos de vehículos que transitan, así como sus porcentajes de carga y sus pesos.

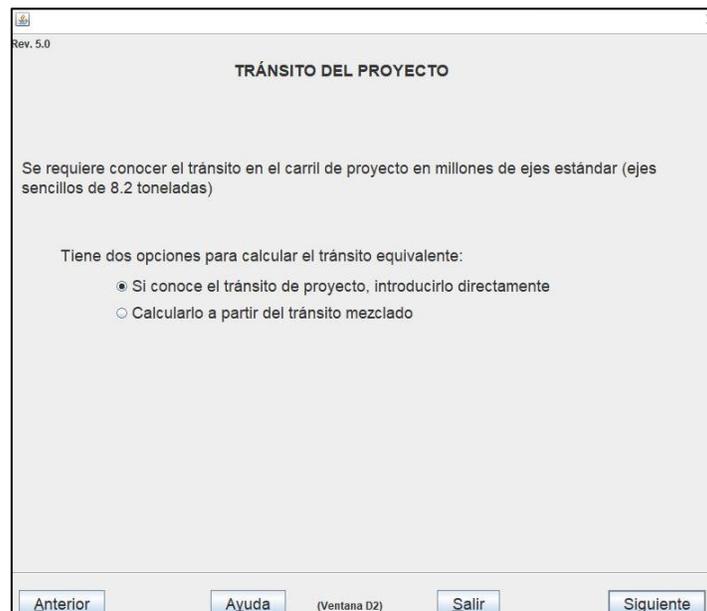


Figura 2.47. Tránsito de proyecto.

- **Capas:** El programa sólo permite la selección máxima de 5 capas para el diseño del pavimento (Figura 2.48). Sin embargo, se puede seleccionar un mínimo de 2 capas siempre y cuando una de ellas sea la de terracerías.

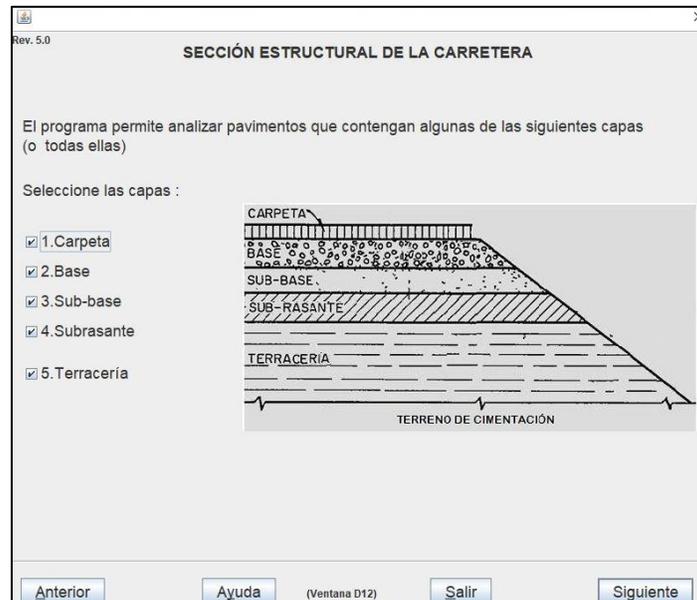


Figura 2.48. Capas de la estructura.

- **CBR crítico (CBR_z):** Se introduce el CBR crítico de cada capa no estabilizada (Figura 2.49) el cual se compara con el CBR máximo permisible (CBR_{max}) que ya viene asignado por el programa. Si el CBR_z > CBR_{max}, entonces se toma el máximo como valor de proyecto (CBR_p) para efectos de deformación permanente; conservando el CBR_z estimado por el proyectista.

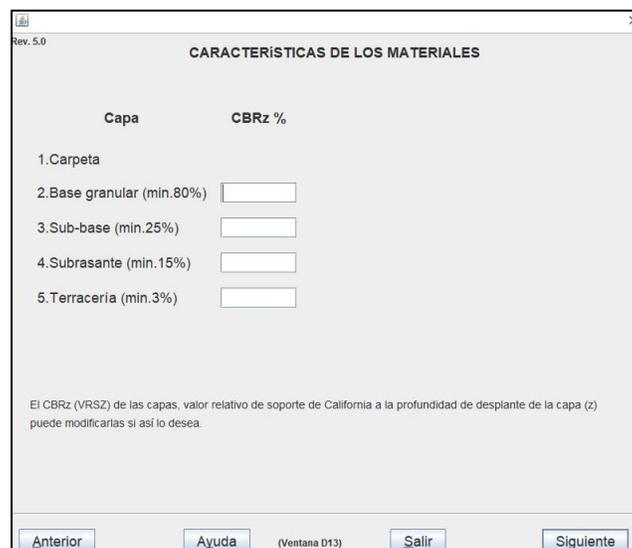


Figura 2.49. CBR crítico para cada capa no estabilizada.

- **Módulos elásticos de las capas no estabilizadas:** Se solicita para encontrar la deformación crítica de tensión en la parte inferior de la carpeta (Figura 2.50). Si no se cuenta con él, el programa hace una estimación de acuerdo al modelo desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM: $E = 130\text{CBR}_z^{0.7}$.

Capa	CBRz %	CBRp %	Módulo de Rigidez (Kg/cm2)
1. Carpeta			
2. Base granular (min. 80%)	100	100.0	
3. Sub-base (min. 25%)	60	30.0	
4. Subrasante (min. 15%)	20	20.0	
5. Terracería (min. 3%)	5	5.0	

Se requiere el módulo de rigidez de las capas asfálticas
Si desconoce alguno de los valores de Poisson el programa puede sugerirlos

Permitir que el sistema pueda sugerir

Anterior Ayuda (Ventana D13) Salir Siguiente

Figura 2.50. Modulo elástico o de rigidez de las capas no estabilizadas (encerradas en rojo).

- **Módulo de rigidez de la carpeta:** Este módulo debe representar el comportamiento de dicha capa en condiciones de servicio, durante la vida útil de la carretera. En la Figura 2.50 también se muestra dónde se introduce el valor del módulo de rigidez de la carpeta.
- **Relación de Poisson:** En caso de no contar con los valores, el programa los puede suministrar, permitiendo su modificación (Figura 2.51).

Rev. 5.0

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Capa	CBRz %	CBRp %	Módulo de Rigidez (Kg/cm2)	Poisson
1. Carpeta			35000	0.35
2. Base granular (min.80%)	100	100.0	3265	0.35
3. Sub-base (min.25%)	60	30.0	2284	0.45
4. Subrasante (min.15%)	20	20.0	1058	0.45
5. Terracería (min.3%)	5	5.0	401	0.45

Se proponen valores para las relaciones de Poisson de cada capa, puede modificarlas si así lo desea.

Anterior Ayuda (Ventana D13) Salir Siguiente

Figura 2.51. Relación de Poisson para cada capa. En este ejemplo, los valores fueron asignados por el programa.

- **Nivel de confianza del proyecto:** Probabilidad que el pavimento sea igual o mayor a la del proyecto. El programa permite el empleo de cualquier nivel entre 50 y 99%, como se observa en la Figura 2.52.

Rev. 5.0

NIVELES DE CONFIANZA

El método permite elegir el nivel de confianza del proyecto.

Se sugiere emplear un nivel de confianza del 85% pero puede emplear otro nivel (entre 50% y 99%)

Puede cambiarlo si lo desea: %

Anterior Ayuda (Ventana D18) Salir Siguiente

Figura 2.52. Nivel de confianza.

2. Diseño por deformación permanente de rodadura

- **Espesores mínimos:** El espesor de cada capa se compara con el espesor mínimo especificado para el nivel de tránsito de proyecto establecido del programa. Si el espesor calculado es menor al mínimo especificado, se toma dicho espesor mínimo como espesor de proyecto (Figura 2.53), y se disminuyen las capas inferiores, de acuerdo con los coeficientes estructurales de esas capas.

Rev. 5.0

**ESPESORES DE PROYECTO PARA EL TRÁNSITO DE DISEÑO
EN MILLONES DE EJES ESTÁNDAR**

Diseño por deformacion para un camino de altas especificaciones, con un nivel de confianza de:

85.0%

Para un tránsito de proyecto de 5.8 millones de ejes estándar.

Capa	Espesor Calculado cm	Espesor Proyecto cm
Carpeta	6.8	6.8
Base granular	23.1	23.1
Sub-base	10.1	15
Subrasante	52.4	47.4

Los espesores de capa calculados se ajustan a un espesor constructivo mínimo, el cual depende de la capa y el tránsito de proyecto. El diseño anterior previene contra la deformación excesiva.

El suelo de cimentación bajo la capa 5 es semi-infinito y puede coincidir con el valor de la capa de terracería.

Anterior Ayuda (Ventana D14) Salir Siguiente

Figura 2.53. Espesores mínimos. Se puede observar en el ejemplo que, los espesores de proyecto de la subbase y subrasante, fueron modificados.

3. Revisión del diseño por efectos de fatiga

La vida previsible por fatiga está basada en las deformaciones unitarias generadas en la parte inferior de la carpeta asfáltica de la estructura. El resultado de la revisión (Figura 2.54) indica que la vida previsible es inferior al tránsito de proyecto por fatiga. Se requiere modificar el diseño para que la vida previsible coincida, aproximadamente, con el tránsito de proyecto.

Rev. 5.0

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño: 85.0%

Para un tránsito de 5.8 millones de ejes estándar

Capa	H cm	CBRz %	E kg/cm2	Poisson	Vida Previsible	
					Def	Fatiga
Carpeta	6.8		35000	0.35		2
Base granular	23.1	100.0	3265	0.35	6	
Sub-base	15	60.0	2284	0.45	6	
Subrasante	47.4	20.0	1058	0.45	16.1	
Terracería	Semi-inf.	5.0	401	0.45	5.9	

	Vida Previsible	Transito Proyecto
Deformación	5.9	5.8
Fatiga	2	5.4

El diseño no es adecuado.

Tiene las siguientes opciones:

Guardar Resultados

Anterior (Ventana D16) Salir

Figura 2.54. Revisión del diseño por fatiga. Los valores de la vida previsible (en rojo) deben ser mayor a los del tránsito de proyecto.

4. Ajuste al diseño anterior

El programa ofrece tres opciones (Figura 2.55) para modificar el proyecto y llegar al resultado deseado. En este ejemplo, en particular, se escogieron las opciones de emplear una base asfáltica y cambiar los espesores de las demás capas llegando así al resultado deseado (Figura 2.56).

Rev. 5.0

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño: 85.0%

Para un tránsito de 5.8 millones de ejes estándar **Vida Previsible**

Capa	H cm	CBRz %	E kg/cm2	Poisson	Def	Fatiga
Carpeta	6.8		35000	0.35		2
Base granular	23.1	100.0	3265	0.35	6	
Sub-base	15	60.0	2284	0.45	6	
Subrasante	47.4	20.0	1058	0.45	16.1	
Terracería	Semi-inf.	5.0	401	0.45	5.9	

Vida Previsible Transito Proyecto

Deformación 5.9 5.8

Fatiga 2 5.4

El diseño no es adecuado.

Tiene las siguientes opciones:

- Elija una opción
- Cambiar módulo de asfáltica y de carpeta
- Cambiar espesores
- Emplear base asfáltica

Figura 2.55. Opciones para modificar al proyecto.

Rev. 5.0

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño: 85.0%

Para un tránsito de 5.8 millones de ejes estándar **Vida Previsible**

Capa	H cm	CBRz %	E kg/cm2	Poisson	Def	Fatiga
Carpeta	7.0		35000	0.35		> 150
Base Asfáltica	10		20000	0.35		9
Base granular	20	100.0	3265	0.35	> 150	
Subrasante	50	20.0	1058	0.45	18.2	
Terracería	Semi-inf.	5.0	401	0.45	8.3	

Vida Previsible Transito Proyecto

Deformación 8.3 5.8

Fatiga 9 5.4

La vida previsible es mayor que el tránsito de proyecto.
Tolerancia = Tránsito de proyecto +/- 10%.

Tiene las siguientes opciones:

(Ventana D16)

Figura 2.56. Resultado final.

CAPÍTULO III

CONDICIONES REGIONALES

El camino de interés se denomina Cortijo Nuevo - Nuevo Progreso y está ubicado al sur del municipio de Tenosique, en Tabasco (Figura 3.1). Se encuentra entre los paralelos $17^{\circ}14'51.36''$ y $17^{\circ}17'26.88''$ de latitud norte y entre los meridianos $17^{\circ}17'26.88''$ y $17^{\circ}14'51.36''$ de longitud este. Es un tramo que parte del km. 0+000 al km. 8+000 y, como se puede observar en la Figura 3.2, se encuentra en la frontera con Guatemala.

Tenosique limita al norte con el municipio de Balancán, al sur y este con Guatemala, y al oeste con el municipio de Emiliano Zapata, Chiapas; y tiene como cabecera municipal a la ciudad de Tenosique de Pino Suárez.

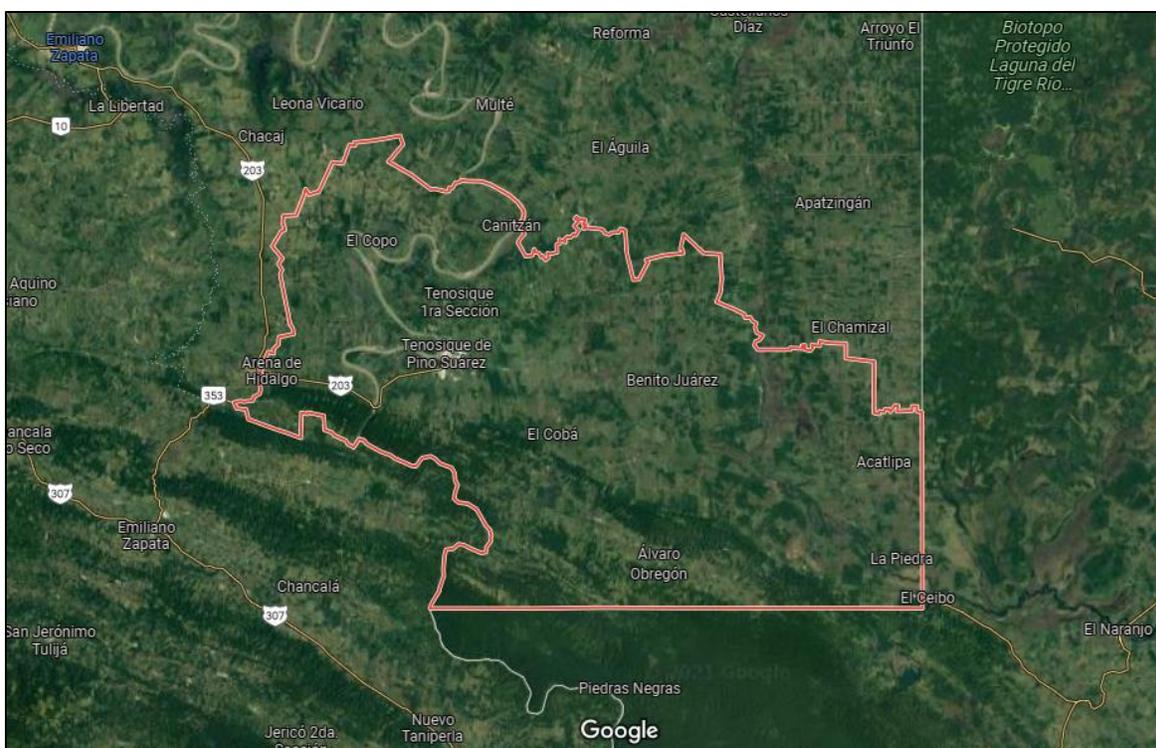


Figura 3.1. Tenosique, Tabasco (Google Maps, 2021).



Figura 3.2. Ubicación del camino Cortijo Nuevo – Nuevo Progreso (Google Earth, 2021).

3.1. FISIOGRAFÍA Y MORFOLOGÍA

El *INVENTARIO ESTATAL FORESTAL Y DE SUELOS - TABASCO 2013*, de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), establece lo siguiente:

La fisiografía de Tabasco está compuesta por dos provincias fisiográficas: La Provincia Llanura Costera del Golfo Sur y la Provincia Sierra de Chiapas y Guatemala (Figura 3.3).

La Provincia Llanura Costera del Golfo Sur se distribuye en la mayor parte del estado, excepto al sur y sureste, cubriendo 95.56 % del territorio estatal; sólo está representada por la subprovincia Llanuras y Pantanos Tabasqueños, en la cual predomina la topografía del tipo llanura aluvial (LAU); al norte la llanura de barreras (LBR) y la playa o barra (LBA) conforman una angosta franja limítrofe con el mar; el lomerío con llanuras (LLL) y el valle de laderas (VLA) ocupan la zona oriente; al suroeste el lomerío típico (LTI) y meseta con cañadas (MCD).

Por su parte, la Provincia Sierras de Chiapas y Guatemala sólo se distribuye en la región meridional del estado y cubre 4.44 % de la entidad; al sur está representada por la subprovincia Sierras Altas de Chiapas, la cual presenta una topografía del tipo sierra alta (SAL); y al sureste por la subprovincia Sierras Bajas del Petén, que presenta una topografía de sierra baja (SBA).

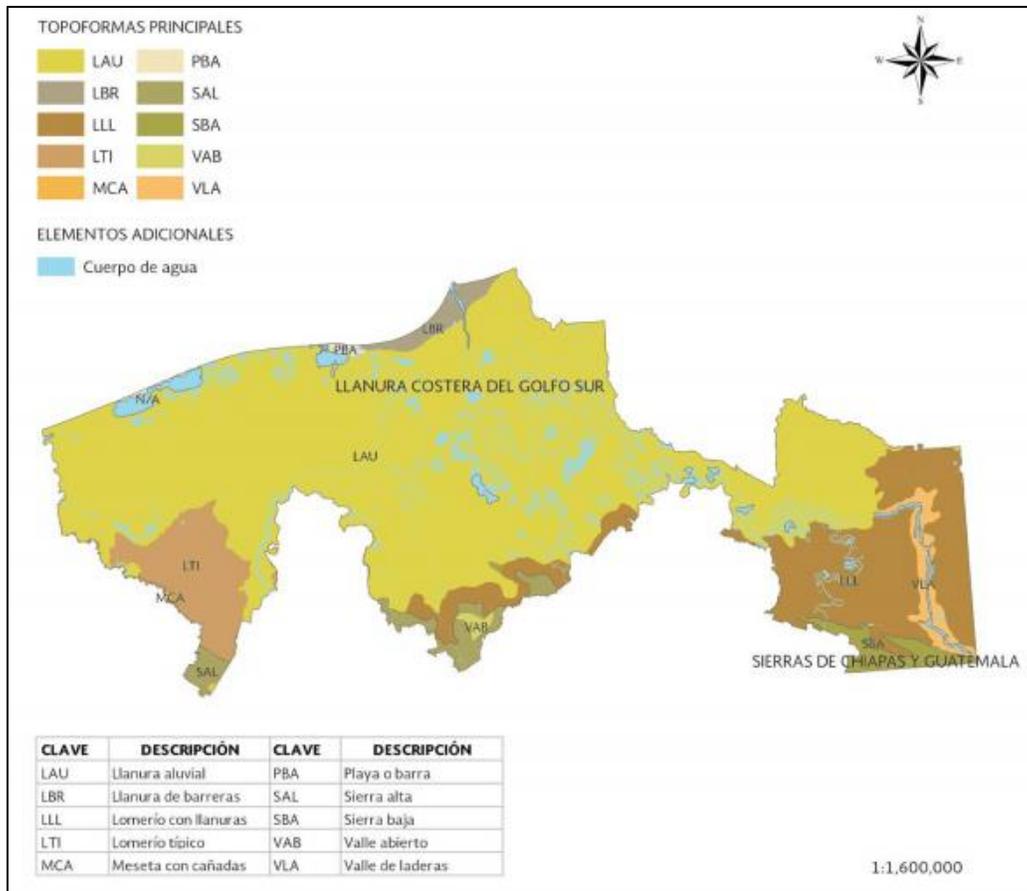


Figura 3.3. Fisiografía y geomorfología de Tabasco (SEMARNAT, 2013).

Fisiografía local

Tenosique está constituida por suelos de bajo relieve y aislados lomeríos de escasa pendiente. En su superficie no hay elevaciones que sean representativas por su altura, excepto en la parte límite con Guatemala, donde se localiza un pequeño macizo montañoso con altitud máxima de 250 metros (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [INAFED], 2010).

La Figura 3.4 muestra el relieve que constituye a Tenosique.

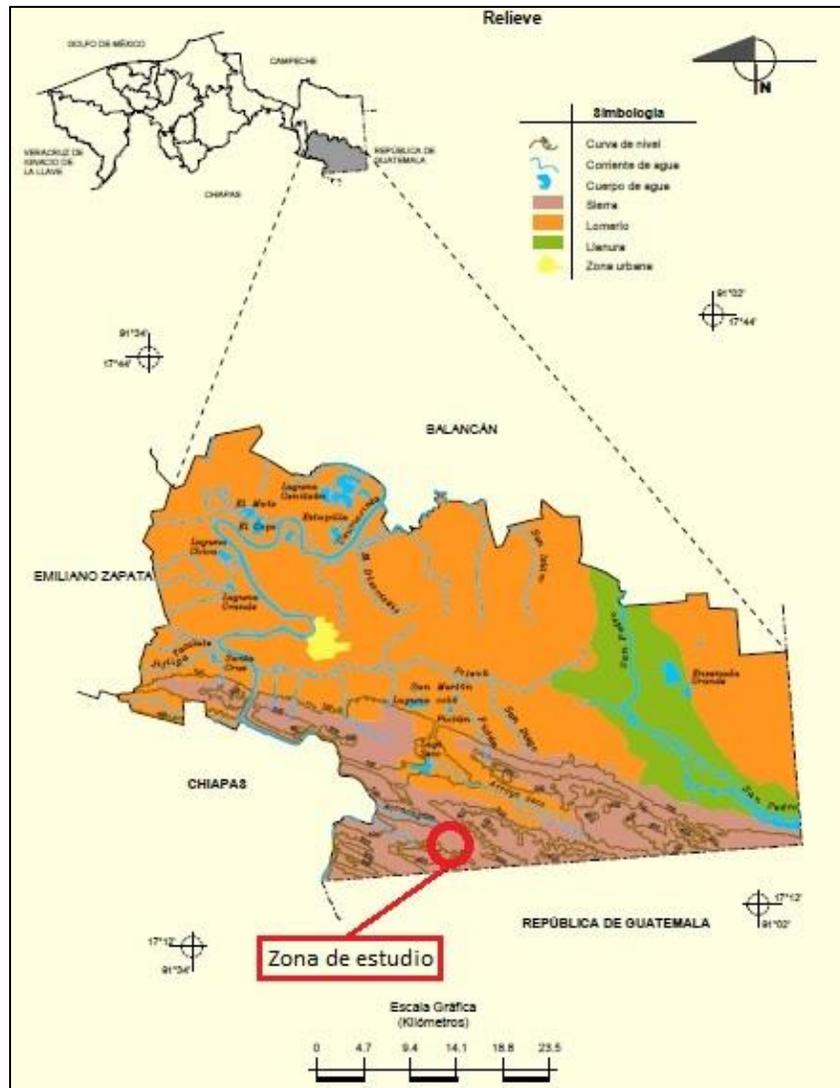


Figura 3.4. Relieve de Tenosique (INEGI, 2005).

3.2. GEOLOGÍA

El *INVENTARIO ESTATAL FORESTAL Y DE SUELOS - TABASCO 2013*, de la SEMARNAT, establece lo siguiente:

El sustrato geológico que se presenta en el estado es de reciente formación y corresponde principalmente a la entidad suelo del periodo Cuaternario, presentándose en 69.41% del territorio estatal; en menor proporción (30.36%) se presentan las rocas sedimentarias e ígneas provenientes del Cuaternario, Neógeno, Paleógeno y Cretácico.

Los suelos se distribuyen principalmente en las llanuras de la Provincia Llanura Costera del Golfo Sur, donde predominan los de tipo aluvial, aunque son comunes los de origen palustre, lacustre y litoral.

Las rocas sedimentarias se forman en las playas, los ríos y en donde se acumule la arena y barro; ocupan la región meridional de la provincia, y predominan las de tipo arenisca y calizas; con una menor cobertura se presentan conglomerados, lutita-areniscas, y calizas.

Por su parte, en la provincia Sierras de Chiapas y Guatemala, predominan las rocas sedimentarias; mientras que las rocas ígneas del tipo andesitas sólo se encuentran en la subprovincia Sierras Altas de Chiapas (Figura 3.5).

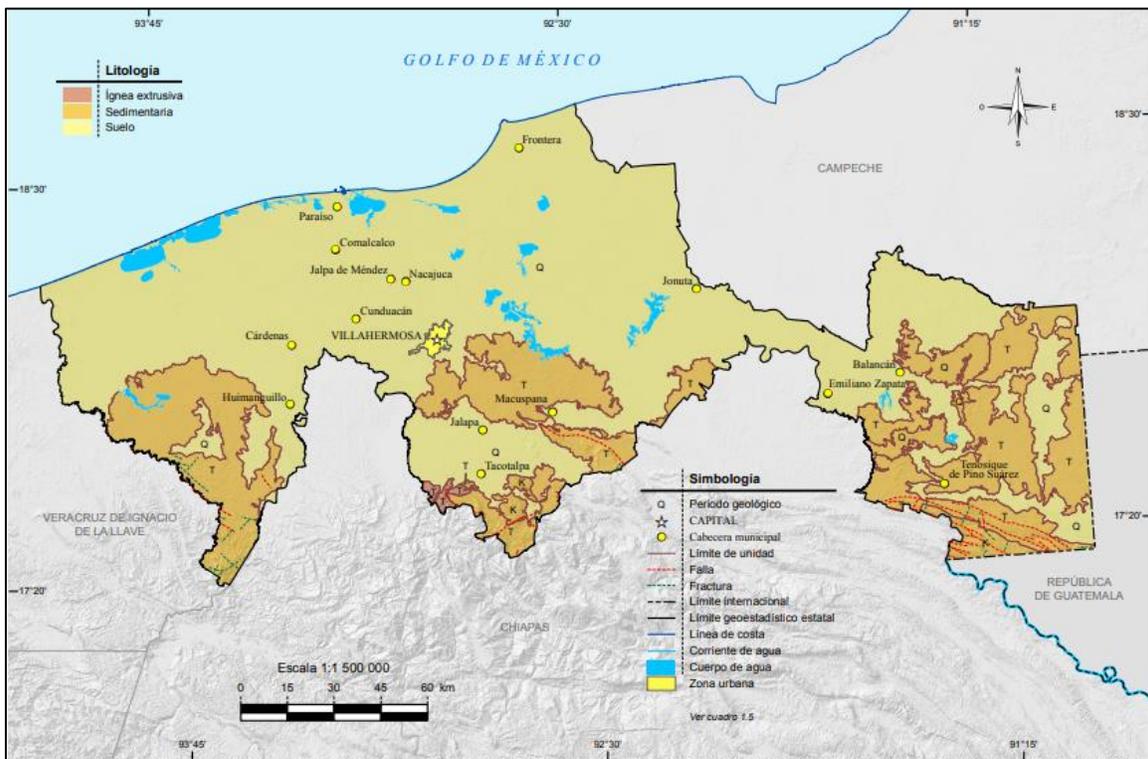


Figura 3.5. Geología de Tabasco (INEGI, 2017).

Geología local

Sobre la geología en el municipio de Tenosique, el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) explica lo siguiente:

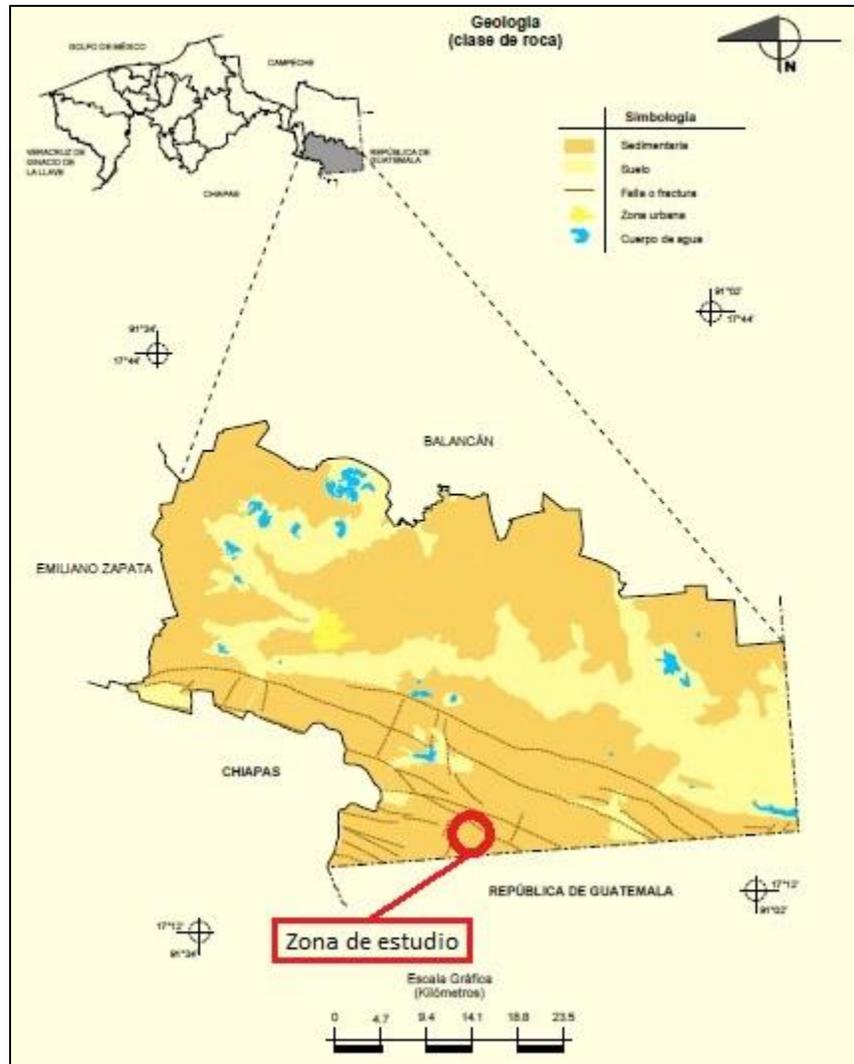
Actualmente, el municipio de Tenosique cuenta con diversidad de suelos. Al este, limitando con el municipio de Balancán y Guatemala, se tienen suelos muy arcillosos que presentan fuertes agrietamientos en la época de sequía y problemas de drenaje.

En la parte central del municipio se tienen suelos de texturas arcillosas o francas, que presentan problemas de exceso de humedad por drenaje deficiente. También, se encuentran suelos fluvisoles asociados a las márgenes de los ríos que bañan a los municipios.

En la parte noroeste del municipio y en pequeñas áreas del sur encontramos suelos arenosos, ácidos y deficientes en fósforos.

Al sur del municipio, en los límites de Chiapas y la república de Guatemala, se tienen suelos clasificados como litosoles, que presentan poca profundidad, limitados por estratos duros (rocas) dentro de los primeros diez centímetros.

En la Figura 3.6 se observa que la zona de estudio se compone de un área de roca sedimentaria.



3.3. HIDROLOGÍA

El *INVENTARIO ESTATAL FORESTAL Y DE SUELOS - TABASCO 2013*, de la SEMARNAT, establece lo siguiente:

La hidrología superficial de Tabasco se distribuye en dos regiones hidrológicas: La de Coatzacoalcos (RH29), y la de Grijalva-Usumacinta (RH30), como se observa en la Figura 3.7.

La región hidrológica Coatzacoalcos, ubicada al oeste de Tabasco y con una extensión de 5,928.61 km², representa 24.01% de la superficie estatal; está conformada sólo por la cuenca Coatzacoalcos; las corrientes principales son los ríos Tonalá, también llamado Tancochapa en su curso superior, el cual sirve de límite entre Tabasco y Veracruz; y el río González, brazo del Mezcalapa que desemboca al Golfo por la barra de Chiltepec, en el municipio de Paraíso; en la Chontalpa existen algunos ríos menores, formados por el exceso de agua acumulado en los pantanos de la zona. Destacan también las lagunas de El Carmen y La Machona.

Por su parte, la región hidrológica Grijalva-Usumacinta cubre 18,759.42 km², que representan 75.99% de la superficie estatal; esta región está conformada por tres cuencas: Laguna de Términos, Río Grijalva-Villahermosa y Río Usumacinta, las cuales tienen porcentajes de 6.21%, 56.02% y 37.77% respectivamente. Debido a la alta precipitación anual se tiene numerosos ríos, entre ellos destacan el Usumacinta, que es el más grande y caudaloso del país (Figura 3.8); y el río Grijalva, siendo el segundo con más caudal a nivel nacional; este sistema incluye innumerables afluentes de mayor o menor importancia, como los ríos Carrizal, Mezcalapa, el sistema San Pedro-San Pablo; así como una gran cantidad de lagunas y albuferas diseminadas por todo el territorio, que se conectan con las corrientes en época de crecida.

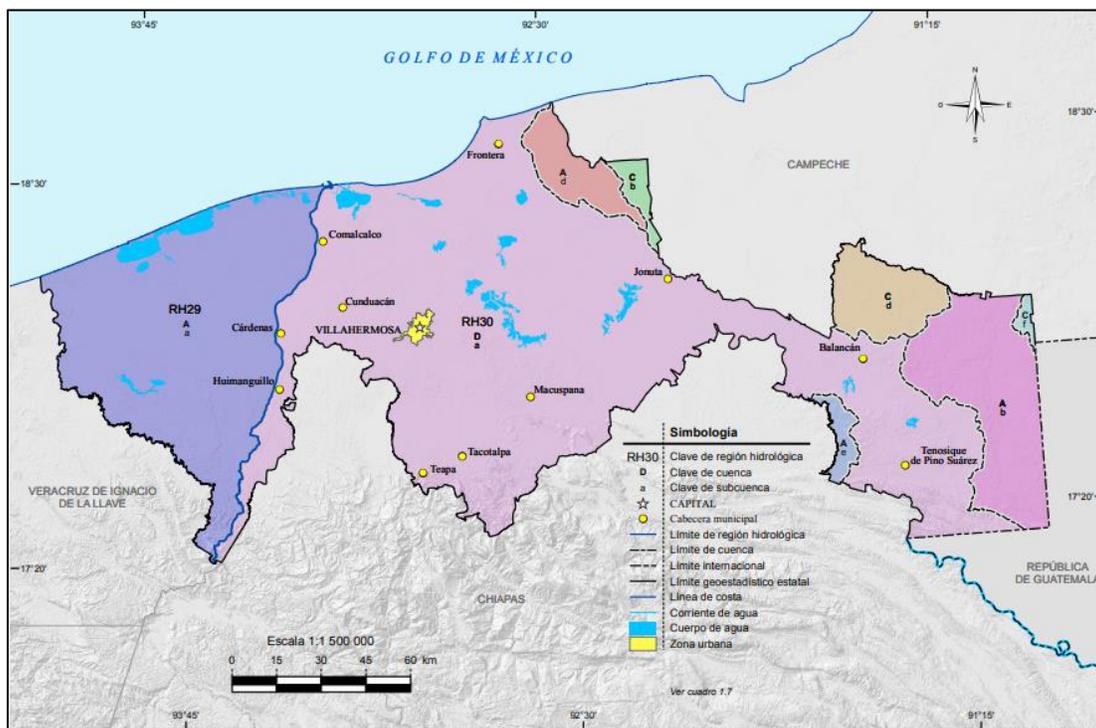


Figura 3.7. Hidrología de Tabasco (INEGI, 2017).

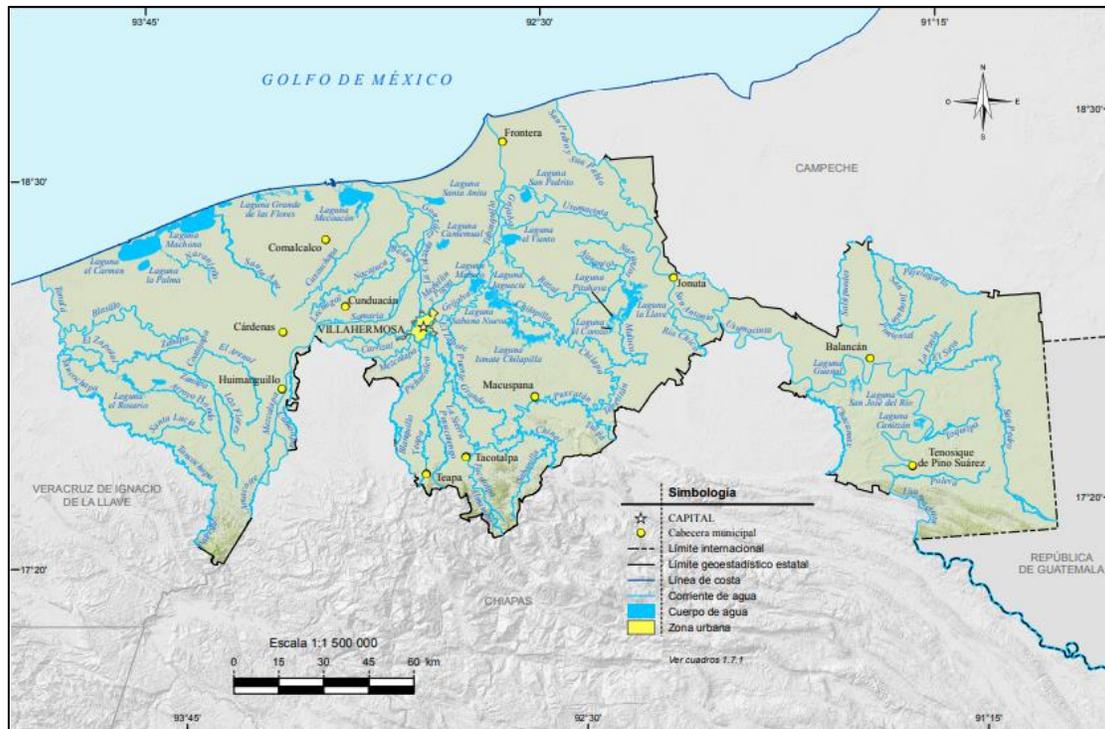


Figura 3.8. Ríos y lagunas de Tabasco (INEGI, 2017).

Nota: El río Usumacinta nace en Tonicapán, Guatemala y se adentra a México por el estado de Tabasco para que, al final de su recorrido, desemboque en el Golfo de México.

Hidrología local

El INAFED (2010) menciona que Tenosique se encuentra regado por los ríos Usumacinta y San Pedro Mártir. El primero tiene raudales en la parte alta como el de San José, el de Agua Azul, el Anaité y el de Colorado. El río San Pedro Mártir proveniente del Petén, Guatemala, se interna a territorio mexicano en este municipio, desplazándose hacia el norte en busca del vecino municipio de Balancán donde se une al río Usumacinta. Así mismo, hay gran cantidad de lagunas y arroyos entre los que destacan la laguna de Canitzán, El Puctén, Laguna Grande, Laguna Chica, El Mait y Ensenada, así como el arroyo Polevía.

La Figura 3.9 muestra la hidrología de Tenosique.

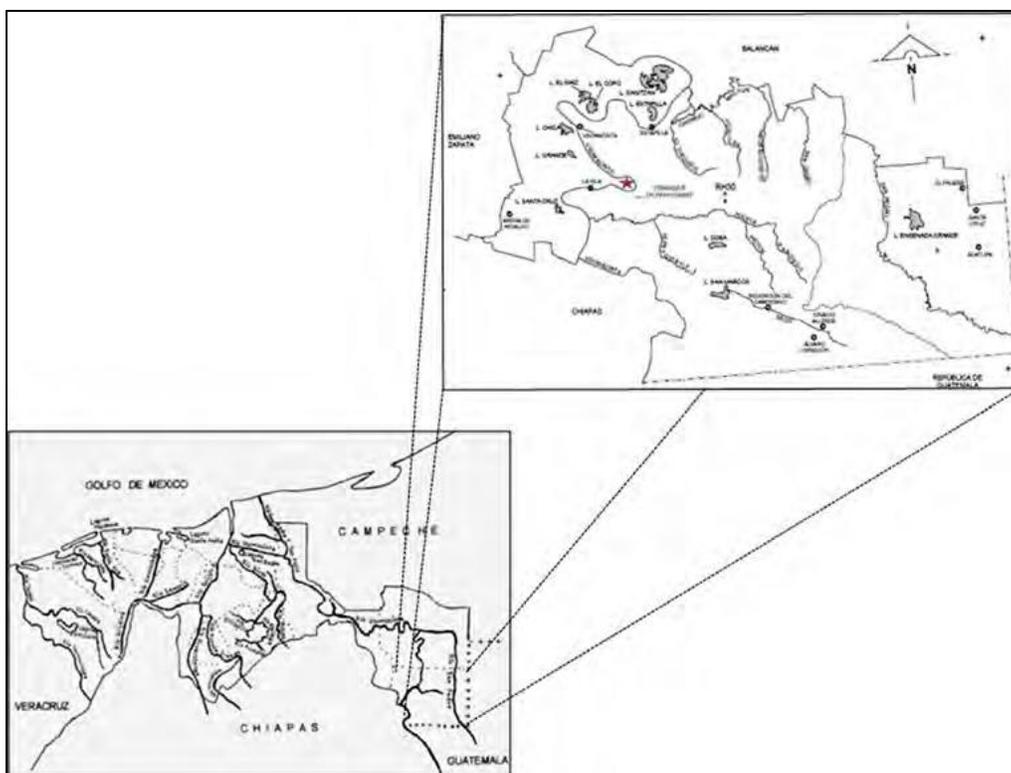


Figura 3.9. Ríos de Tenosique (Hernández et al., 2013).

3.4. CLIMA

El *INVENTARIO ESTATAL FORESTAL Y DE SUELOS - TABASCO 2013*, de la SEMARNAT, establece lo siguiente:

Se empleó el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1964, 1981), el cual divide a los climas en grupos, subgrupos, tipos y subtipos climáticos. De acuerdo con las características de temperatura y precipitación total mensual y anual, en el estado de Tabasco se presentan dos tipos de clima los cuales corresponden al grupo de climas cálidos (A).

En Tabasco, este grupo climático cuya característica de temperatura media del mes más frío es mayor de 18°C, se comprende y distribuye en la totalidad de su territorio dos tipos de clima (Figura 3.10):

- a) **Clima Am (cálido húmedo):** Se presenta en 95.61% de la entidad
- b) **Clima Aw (cálido subhúmedo):** El cual se manifiesta en 4.43% del territorio estatal.

Las lluvias ocurren todo el año, siendo más abundantes de junio a octubre, con una precipitación promedio de 2,550 milímetros anuales. La temperatura media es de 27°C, con valores máximos de 36°C en verano y mínimos de 18.5°C en el invierno.

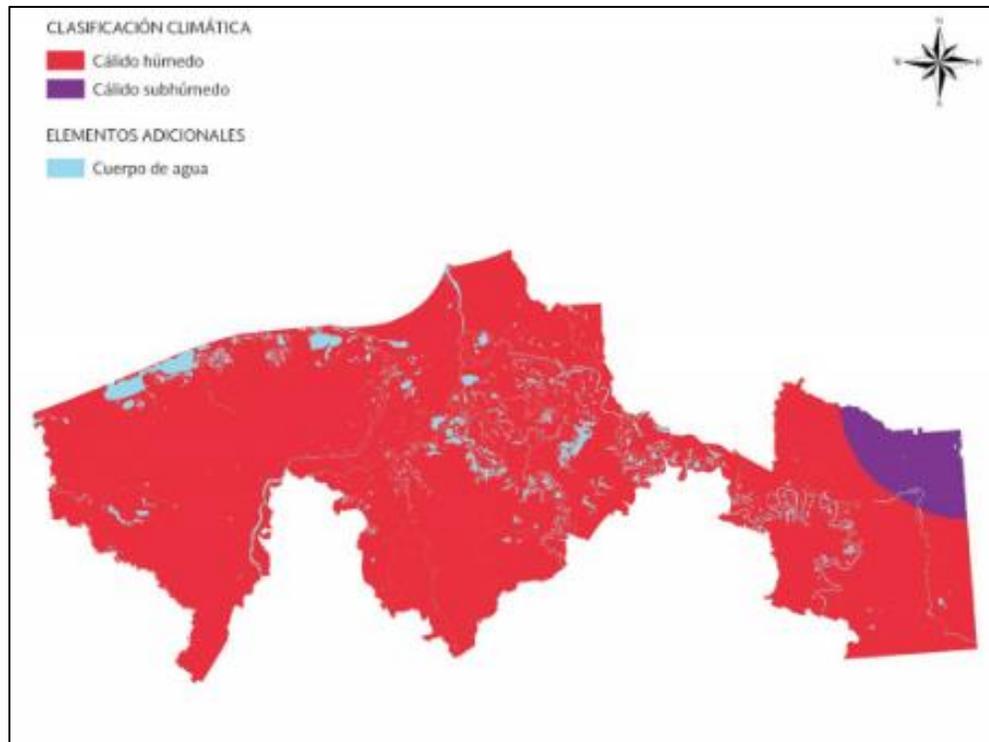


Figura 3.10. Climas de Tabasco (SEMARNAT, 2013).

Clima local

De acuerdo con el INAFED (2010) el clima en el municipio de Tenosique es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, como lo muestra la Figura 3.11; tiene una temperatura media anual de 26°C, siendo que la máxima y la mínima absoluta alcanzan los 28°C y 24°C, respectivamente.

De igual forma, al sur (lugar donde se ubica el sitio de estudio), limitando con la sierra de Chiapas y Guatemala, se tiene un clima cálido-húmedo con lluvias todo el año. Estas lluvias disminuyen ligeramente en invierno, periodo en el que se registra el 14.4% del total anual. La temperatura media anual en este lugar oscila entre 25.4°C y 26.9°C.

Asimismo, el régimen de precipitaciones se caracteriza por un total de caída de agua de 3,286 milímetros, con un promedio máximo mensual de 400 mililitros en el mes de septiembre y un mínimo mensual de 50 mililitros en el mes de abril.

Las mayores velocidades del viento se concentran en los meses de noviembre, con velocidades que alcanzan los 30 kilómetros por hora.

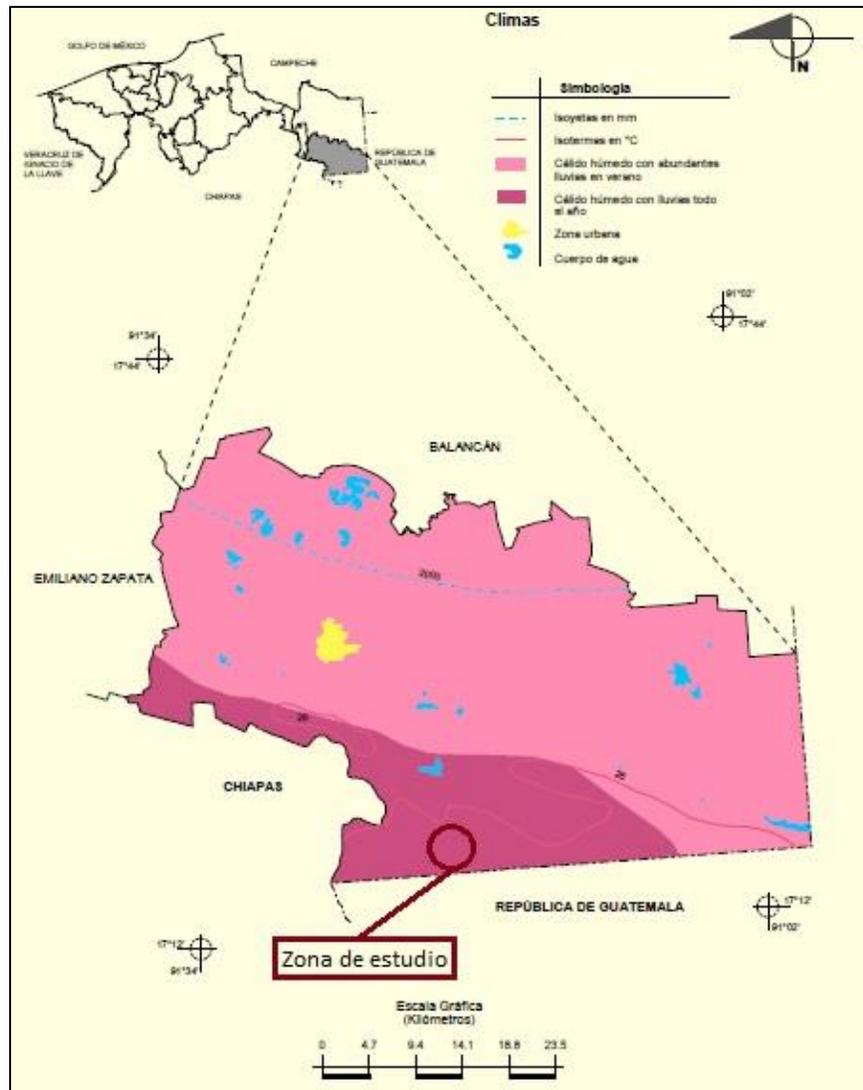


Figura 3.11. Clima de Tenosique (INEGI, 2005).

CAPÍTULO IV

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA TERRACERÍAS

El estudio geotécnico tiene por finalidad analizar las características de los terrenos y las zonas influenciadas por la obra para identificar la naturaleza de los materiales a excavar, la estabilidad del terreno natural, las condiciones hidrológicas y de drenaje, entre otras acciones.

Por esta razón, los trabajos geotécnicos iniciaron con una visita técnica de campo para localizar las unidades geológicas y geotécnicas a lo largo del camino. También se localizaron físicamente los bancos de préstamo de los cuales se obtuvieron los materiales para la construcción de las terracerías (subrasante).

4.1. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA TERRACERÍAS

El camino contaba con un alto contenido de arenas con poca cantidad de rocas (de tonalidades cafés claras y grisáceas) y se observó que la vegetación, en su mayoría árboles y arbustos, estaban al nivel de la superficie como se observa en la Figura 4.1. Al ser un lugar con una vegetación tan abundante (por lo que se supuso que el suelo tendría una importante cantidad de materia orgánica) y teniendo en cuenta que ésta se ubicaba a los extremos del camino, se consideraron las raíces de los árboles, enterradas bajo el terreno, como un posible problema para la futura exploración.

Es preciso señalar que el terreno del camino era muy duro de modo que no se pudo tomar muestras de forma manual. Por otro lado, el terreno de los extremos (la vegetación) era más manejable y se detectó presencia de limos y humus, entre otros materiales orgánicos.

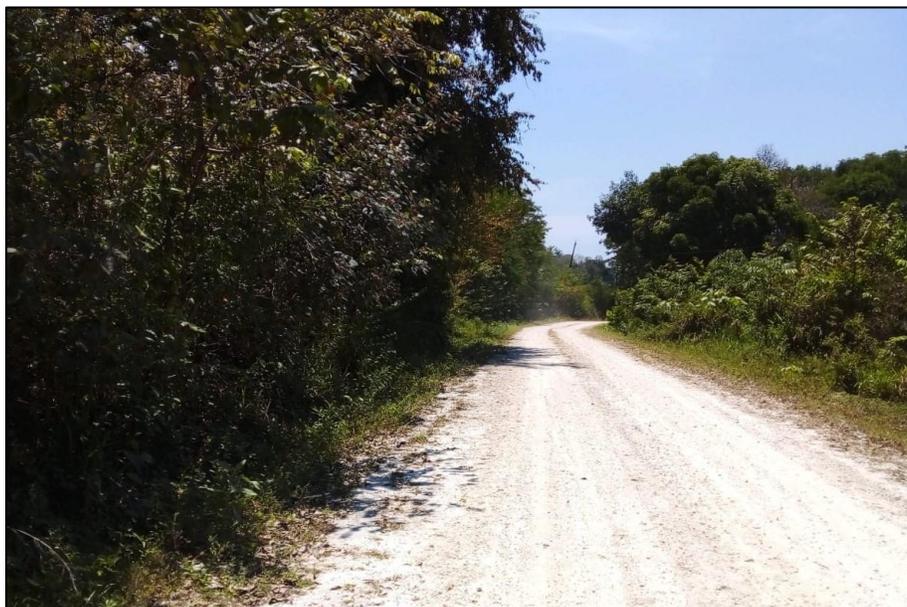


Figura 4.1. Subrasante y vegetación en la superficie del camino.

De igual importancia, la zona comprende de un relieve montañoso, provocando que en algunas partes haya ciertas elevaciones de terreno, con pendientes entre el 2 y el 8%, y presencia de macizos rocosos (Figura 4.2) que si bien, no obstaculizaban el tránsito o movilidad en el camino, fue conveniente considerar este detalle en los estudios geotécnicos correspondientes.



Figura 4.2. Macizo rocoso.

Con la finalidad de definir y conocer las características y las condiciones estratigráficas del sitio en estudio y con base en las observaciones anteriores, se programaron la ejecución de sondeos tipo PCA a cada 500 m sobre el trazo del proyecto, como lo muestra la Figura 4.3, a una profundidad mínima de 3.00 m. En el caso de encontrar nivel de aguas freáticas (NAF), suelos duros o afloramientos rocosos; se excavaría hasta la profundidad máxima posible.

Para la localización de los sondeos se tomó en cuenta, además, que estos no afectaran en las instalaciones de servicios públicos existentes, en la movilidad del tránsito actual y que estuvieran dentro de los límites del derecho de vía.



Figura 4.3. Sondeos PCA a cada 500 m (Google Earth, 2021).

Como ya se mencionó al inicio de este capítulo, parte de la visita técnica fue destinada a la búsqueda de bancos de materiales para aprovechar sus recursos y utilizarlos en la construcción de las terracerías. Debido a que algunas zonas estaban protegidas, y no podían ser consideradas para su uso, fue difícil encontrar suficientes bancos cerca del tramo por lo que únicamente se exploraron dos: "El Cortijo" y "Boca del Cerro".

El banco "El Cortijo" se ubica a 4.24 kilómetros hacia el sur del poblado de Santo Tomás, aproximadamente. Posee las coordenadas: 17°16'51.97" N y 91°19'39.02" O. Está sobre el km. 1+390 del camino Cortijo Nuevo - Nuevo Progreso, más 21 m a la derecha, como se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4. En verde, la distancia que hay entre la entrada del banco y la carretera; en rojo, el camino Cortijo Nuevo-Nuevo Progreso.

Del mismo modo, el banco “Boca del Cerro” se ubica sobre el km. 62+337 de la carretera Emiliano Zapata - Tenosique, a 775 m a la derecha. Posee las coordenadas $17^{\circ}25'55.90''$ N y $91^{\circ}30'30.21''$ O. La distancia del banco respecto al sitio de la obra es de, aproximadamente, 36.30 kilómetros como se muestra en la Figura 4.5.

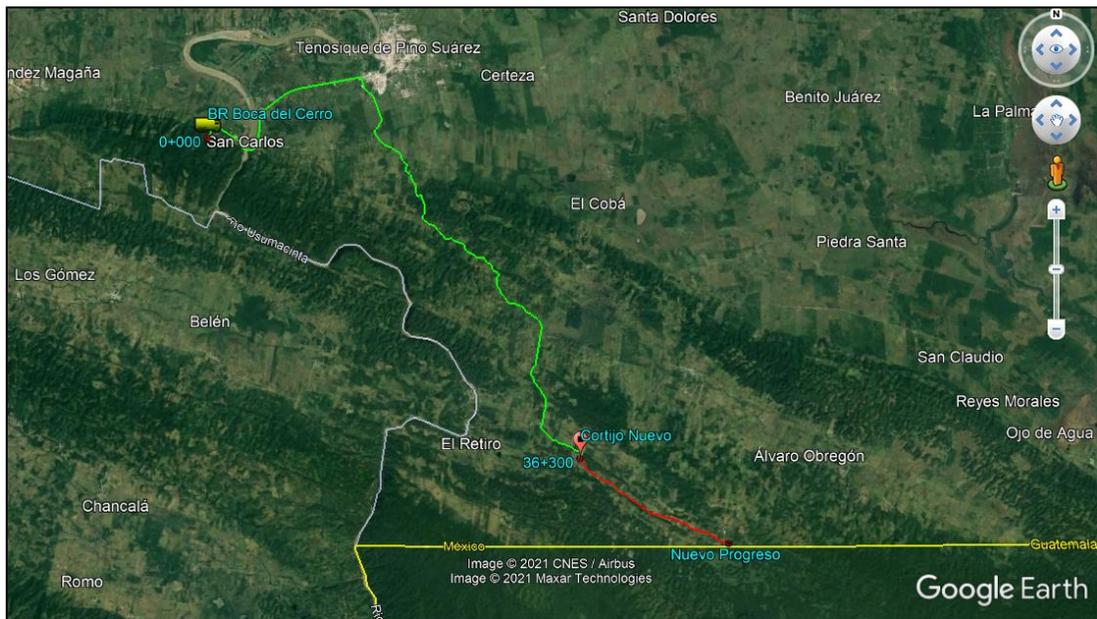


Figura 4.5. En verde, la distancia del banco de materiales al inicio del tramo de estudio; en rojo, el camino Cortijo Nuevo-Nuevo Progreso

4.2. MUESTREO Y EXPLORACIÓN PARA TERRACERÍAS

Los trabajos de exploración tienen como objetivo conocer la estratigrafía del suelo y extraer muestras alteradas e inalteradas para la realización de los trabajos de laboratorio, ya que con esto se determinan las propiedades físicas y mecánicas de la estructura del subsuelo en la zona de estudio y se puede definir si el suelo de fundación contiene los elementos adecuados para el correcto funcionamiento de la carretera.

4.2.1. Ejecución de sondeos para terracerías

Los sondeos se llevaron a cabo en el mes de mayo del año 2021, se realizó un muestreo de tipo alterado e inalterado (Figura 4.6 a) recuperando exclusivamente muestras representativas de las paredes de los diferentes materiales detectados en cada pozo (Figura 4.6 b). Todas las muestras se identificaron y empaclaron adecuadamente para evitar, en la medida de lo posible, pérdida en el contenido natural de agua y pudieran ser trasladadas al laboratorio de mecánica de suelos.

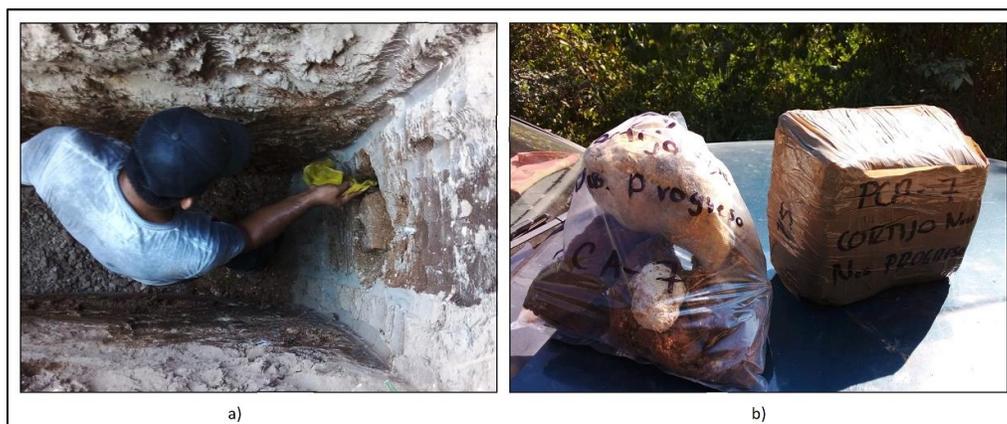


Figura 4.6. Muestreo en el PCA – 7.

Cada uno de los sondeos difirió en cuanto a su profundidad ya que, en promedio, la zona presentaba afloramientos rocosos al llegar a los 1.90 m de excavación, aproximadamente. En la Tabla 4.1 se muestran las coordenadas y profundidades correspondientes.

Para poder visualizar los PCA realizados a lo largo del camino, es necesario dirigirse al Anexo A.

Tabla 4.1. Datos de los sondeos PCA.

PCA	Coordenadas		km	Profundidad (m)
	N	W		
PCA-01	17°17'22.18"N	91°20'06.89"O	0+000	1.75
PCA-02	17°17'07.52"N	91°19'58.75"O	0+500	1.20
PCA-03	17°16'58.22"N	91°19'47.49"O	1+000	2.50

PCA-04	17°16'49.41"N	91°19'33.71"O	1+500	2.60
PCA-05	17°16'42.69"N	91°19'18.29"O	2+000	0.80
PCA-06	17°16'32.52"N	91°19'05.36"O	2+500	1.00
PCA-07	17°16'23.93"N	91°18'50.90"O	3+000	2.50
PCA-08	17°16'15.00"N	91°18'37.55"O	3+500	1.80
PCA-09	17°16'04.65"N	91°18'24.39"O	4+000	1.90
PCA-10	17°16'00.18"N	91°18'16.54"O	4+500	2.80
PCA-11	17°15'53.90"N	91°18'00.65"O	5+000	2.00
PCA-12	17°15'50.03"N	91°17'43.97"O	5+500	2.50
PCA-13	17°15'45.88"N	91°17'28.18"O	6+000	2.50
PCA-14	17°15'39.66"N	91°17'12.65"O	6+500	1.00
PCA-15	17°15'30.31"N	91°16'57.67"O	7+000	2.80
PCA-16	17°15'27.02"N	91°16'39.85"O	7+500	1.20

4.2.2. Estratigrafía

La estratigrafía sirve para describir y visualizar los diferentes materiales que están presentes en el sitio de interés, pues éstos están acomodados, de manera natural, en diferentes capas o estratos, tal como se observa en la Figura 4.7 (a).

Con los sondeos realizados se pudo analizar las condiciones estratigráficas previas del lugar, ver Figura 4.7 (b), y se elaboró el perfil estratigráfico previo del tramo en estudio. Cabe mencionar que esta clasificación sólo fue realizada por el personal mediante el tacto y de forma visual; para conocer la estratigrafía real, se requiere realizar pruebas índices de laboratorio de las muestras extraídas.



Figura 4.7. Sondeo PCA – 8.

Para poder visualizar los materiales del perfil estratigráfico del camino, es necesario dirigirse al Anexo B. La Tabla 4.2 resume los materiales clasificados de manera visual y al tacto en cada PCA y qué espesor tiene cada estrato.

Tabla 4.2. Resumen de los sondeos PCA.

PCA	Espesor (m)	Material observado en campo
1	0.15	Capa vegetal
	1.60	Grava
	1.25	Roca
2	0.20	Capa vegetal
	1.00	Arena
	1.80	Roca
3	0.20	Capa vegetal
	2.30	Arcilla
	0.50	Roca
4	0.60	Capa vegetal
	2.00	Grava
	0.40	Roca
5	0.20	Capa vegetal
	0.60	Arena
	2.20	Roca
6	0.40	Capa vegetal
	1.00	Arcilla
	2.00	Roca
7	0.70	Capa vegetal
	0.90	Arcilla (gris)
	0.90	Arcilla (amarillenta)
	0.50	Roca
8	0.70	Capa vegetal
	1.10	Arena
	1.20	Roca
9	0.10	Capa vegetal
	1.80	Arcilla
	1.10	Roca
10	0.30	Capa vegetal
	2.50	Arcilla
	0.20	Roca
11	0.40	Capa vegetal
	1.60	Limo
	1.00	Roca
12	0.40	Capa vegetal
	2.10	Arcilla
	0.50	Roca
13	0.40	Capa vegetal
	2.10	Arcilla
	0.50	Roca
14	0.20	Capa vegetal

	0.80	Limo
	2.00	Roca
15	0.20	Capa vegetal
	1.40	Arcilla (rojiza)
	1.20	Arcilla (amarillenta)
	0.20	Roca
16	0.20	Capa vegetal
	1.00	Arcilla
	1.80	Roca

4.2.3. Exploración de bancos de materiales para terracerías

Conforme a los requerimientos del proyecto, fue indispensable realizar el análisis geológico de cada banco, efectuando su exploración y muestreo respectivo, con el objeto de analizar sus propiedades mecánicas y de delimitar las zonas de explotación.

Como los bancos presentaban suelos duros y afloramientos rocosos fue necesario utilizar maquinaria especializada de tipo rotatorio para los sondeos (Figura 4.8). Este tipo de perforaciones se realizan mediante giros o revoluciones de herramientas de corte como coronas, barrenas tricónicas o martillos neumáticos, manipuladas por un equipo perforador que generalmente viene montado en remolques sobre orugas o sobre un camión.



Figura 4.8. Sondeo para roca en el banco “Boca del Cerro”.

Al igual que los PCA, los sondeos en los bancos también se realizaron en el mes de mayo de 2021 pero esta vez haciendo uso de coronas de diámetro NQ, ver Figura 4.8, recuperando muestras representativas (núcleos de roca) de los bancos de materiales. Todas las muestras fueron identificadas, se les señaló el sentido en que fueron obtenidas y se empaquetaron adecuadamente para ser trasladadas al laboratorio de mecánica de suelos, como se observa en la Figura 4.9.



Figura 4.9. Muestras del banco "El Cortijo".

Se ejecutaron cuatro sondeos por cada banco, mostrando una diferencia de profundidad entre cada uno de ellos, como se observa en la Tabla 4.3. En el Anexo C se pueden ver imágenes de los bancos de materiales y la ejecución de los sondeos.

Tabla 4.3. Datos de los sondeos de los bancos de materiales.

Banco	No. de sondeo	Coordenadas		Profundidad (m)
		N	W	
Boca del Cerro	1	17°25'53.85"N	91°30'32.09"O	23.00
	2	17°25'52.37"N	91°30'33.53"O	21.00
	3	17°25'56.36"N	91°30'32.68"O	15.00
	4	17°25'55.66"N	91°30'34.96"O	42.00
El Cortijo	1	17°16'51.57"N	91°19'59.28"O	18.30
	2	17°16'50.08"N	91°20'0.34"O	30.14
	3	17°16'51.92"N	91°20'1.47"O	16.00
	4	17°16'51.24"N	91°20'1.92"O	15.00

La Tabla 4.4 muestra un resumen general de ambos bancos donde se señala lo siguiente:

- **Localización:** Se menciona anteriormente.
- **Clasificación geológica:** Describe el tipo de roca, su dureza y la mejor manera de fragmentarla.
- **Clasificación para presupuesto:** Está basada en el nivel de intemperie de la roca (en ambos casos están poco intemperizadas).
- **Despalme:** Remoción del material superficial del terreno o roca para su limpieza.
- **Utilización:** Tipo de terracerías para las cuales, dichos materiales, tendrán uso.
- **Tratamiento:** La trituración tiene como finalidad reducir su volumen para facilitar su transporte y para el relleno de las terracerías.
- **Volumen:** Volumen del material aprovechable de cada banco.
- **Distancia de acarreo al km inicial:** La distancia que existe del banco al Km 0+000 del camino Cortijo Nuevo-Nuevo Progreso.
- **Distancia de acarreo al km final:** La distancia que existe del banco al Km 8+000 del camino Cortijo Nuevo-Nuevo Progreso.

Tabla 4.4. Resumen de los bancos de materiales.

No. Banco	Denominación	Localización	Clasificación geológica	Clasificación para presupuesto	Despalme (m)	Utilización	Tratamiento	Volumen (m ³)	Distancia de acarreo al km inicial (km)	Distancia de acarreo al km final (km)
1	Banco Boca del Cerro	Sobre el km. 62+337 de la carretera Emiliano Zapata-Tenosique, se da vuelta a la derecha y a 775 m se ubica el banco de rocas. Coordenadas: 17°25'55.90"N 91°30'30.21"O	Roca caliza (Rsq) Poco intemperizada y poco fracturada. Para atacarse se requiere de fuertes explosivos y se obtendrán fragmentos chicos y medianos con grava. (Fcm-GP)	0-40-60	0.2	Terraplén Subrasante	Trituración	370,040	36.30	43.80
2	Banco El Cortijo	Sobre el km. 1+390 de la carretera Cortijo Nuevo - Nuevo Progreso, más 21 m a la derecha. Coordenadas: 17°16'51.97"N 91°19'39.02"O	Roca caliza (Rsq) Poco intemperizada y poco fracturada. Para atacarse se requiere de fuertes explosivos y se obtendrán fragmentos chicos y medianos con grava. (Fcm-GP)	0-40-60	0.2	Terraplén Subrasante	Trituración	94,971	1.39	6.11

4.3. LABORATORIO DE TERRACERÍAS

Las muestras recolectadas en el camino del proyecto y en los bancos de materiales fueron analizadas mediante ensayos de laboratorio para asegurarse si cumplen con las especificaciones que la normativa SCT señala.

Es necesario aclarar que en este apartado sólo se mencionan los valores máximos y mínimos que deben cumplir los materiales (según la prueba), así como ciertas recomendaciones, basados en el libro *CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES (CMT)*, de la SCT. Para ver detalladamente los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio de los sondeos y los bancos de materiales, es necesario dirigirse al Anexo D y E, respectivamente.

4.3.1. Pruebas de laboratorio de muestras obtenidas en sondeos

Para determinar si el material muestreado cumple con las características necesarias para terracerías, se practicaron los siguientes ensayos de calidad y resistencia.

- **Clasificación de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS):** Como ya se mencionó anteriormente, sirve para clasificar a los granos del suelo como gruesos o finos.
- **Contenido de agua:** El manual *M-MMP-1-04/03*, de la SCT, menciona que, de la muestra de material obtenida, se toma una porción de tamaño aproximado al indicado en la Tabla 4.5. Además, recomienda que se determine inmediatamente la masa del material húmedo, en el sitio.

Tabla 4.5. Masas mínimas para la muestra (SCT, 2003).

Tamaño máximo del material		Masa mínima de la muestra g
Designación de la malla	Abertura de la malla mm	
2"	50	1000
1"	25	500
Nº 4	4.75	100

- **Contracción lineal:** La normativa no especifica un valor máximo o mínimo que deba cumplir el material para esta prueba.
- **Granulometría:** La norma *N-CMT-1-03/21*, de la SCT, establece que el tamaño máximo de las partículas para terracerías debe ser de 76 mm.
- **Límites de consistencia:** Con base en la norma *N-CMT-1-03/21*, de la SCT, la Tabla 4.6 establece los valores máximos de límite líquido y límite plástico que deben cumplir los materiales para terracerías.

Tabla 4.6. Requisitos de calidad de materiales para capa subrasante
(Modificado de SCT, 2021).

Característica	Valor
Límite líquido máximo (%)	40
Límite plástico máximo (%)	12

- **Peso volumétrico seco máximo:** La normativa no especifica un valor máximo o mínimo que deba cumplir el material para esta prueba.
- **Contenido de agua óptimo:** La normativa no especifica un valor máximo o mínimo que deba cumplir el material para esta prueba.
- **Peso volumétrico seco suelto:** La normativa no especifica un valor máximo o mínimo que deba cumplir el material para esta prueba.
- **California Bearing Ratio:** La norma *N-CMT-1-03/21*, de la SCT, establece que el valor mínimo aceptable en esta prueba es de 20%.

En la Tabla 4.7 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de las muestras recuperadas en los sondeos.

Tabla 4.7. Resumen de laboratorio de sondeos PCA.

TABLA RESUMEN DE PCA																
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO																
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO																
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000																
ORIGEN: TABASCO																
RESUMEN DE LABORATORIO: SONDEOS PCA										FECHA: JUNIO 2021						
PCA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Profundidad (m)	0.15-1.75	0.2-1.2	0.2-2.5	0.6-2.6	0.2-0.8	0.4-1.0	0.7-2.5	0.7-1.8	0.1-1.9	0.3-2.8	0.4-2.0	0.4-2.5	0.4-2.5	0.2-1.0	0.2-2.8	0.2-1.2
Espesor (m)	1.60	1.00	2.30	2.00	0.60	0.60	1.80	1.10	1.80	2.5	1.60	2.10	2.10	0.80	2.60	1.00
Clasificación S.U.C.S.	GP-GC	SM	CH	GC	SM	CH	CL	SC-SM	CL	CL-ML	ML	CH	CL-ML	ML	CH	CH
Humedad natural (%)	2.45	4.56	17.34	9.81	6.42	23.28	24.88	6.11	16.85	7.70	4.51	44.25	23.11	19.15	28.37	16.92
Contracción lineal (%)	2.63	0.51	15.32	17.13	1.89	17.13	14.87	0.60	1.21	0.10	1.41	15.08	0.71	4.19	11.48	6.50
Granulometría	% Retenido malla 75 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	% Pasa malla 4.75 mm	35.65	100	84.82	49.70	86.21	94.28	100	76.75	77.19	89.28	100	100	100	100	88.88
	% Pasa malla 0.425 mm	20.29	96.70	78.87	38.65	66.63	89.80	98.72	38.32	64.88	81.69	91.76	95.45	100	97.00	100
	% Pasa malla 0.075 mm	9.78	42.07	71.23	34.86	42.49	73.17	89.69	31.77	59.01	54.89	64.12	90.44	98.49	93.27	84.21
Límite líquido (%)	24.5	28.6	62.2	27.0	25.6	59.3	46.7	23.9	24.4	24.2	31.7	97.4	23.2	49.5	75.9	69.0
Índice plástico (%)	7.4	4.8	35.9	8.8	3.6	35.3	27.6	5.3	8.2	4.05	8.3	60.4	4.8	21.0	47.1	47.3
P.S. máximo (g/cm³)	1.80	1.71	1.82	1.79	1.71	1.82	1.75	1.62	1.75	1.70	1.61	1.73	1.65	1.61	1.39	1.52
Humedad óptima (%)	31.50	16.2	24.3	30.00	16.2	24.3	17.5	20.7	17.5	18.3	16.8	19.0	19.4	16.8	31.4	22.1
P.S. suelto (kg/m³)	1699	1456.03	1307.19	1685	1456.03	1307.19	1295.35	1310.99	1295.35	1299.37	1317.76	1480.13	1336.69	1317.76	1153.49	1231.50
C.B.R. (%)	-	5.7	4.8	-	-	-	-	5.3	-	7.8	6.9	8.4	7.0	-	3.0	5.6

4.3.2. Pruebas de laboratorio de muestras obtenidas en bancos de materiales

Al ser destinados para las terracerías, a estos materiales provenientes de bancos se les aplicó prácticamente los mismos ensayos que a los de los sondeos con el fin de verificar su calidad y establecer los parámetros de resistencia para fines de diseño, conforme a la normativa SCT:

- **Absorción:** La normativa no especifica un valor máximo o mínimo que deba cumplir el material para esta prueba.
- **Clasificación de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS):** Como ya se mencionó anteriormente, sirve para clasificar a los granos del suelo como gruesos o finos.
- **Compresión simple:** La normativa no especifica un valor máximo o mínimo que deba cumplir el material para esta prueba.
- **Granulometría:** Como ya se había indicado, el tamaño máximo de las partículas para terracerías debe ser de 76 mm.
- **Peso volumétrico seco máximo:** La normativa no especifica un valor máximo o mínimo que deba cumplir el material para esta prueba.
- **Peso volumétrico húmedo:** La normativa no especifica un valor máximo o mínimo que deba cumplir el material para esta prueba.

De acuerdo con los resultados de laboratorio obtenidos de los ensayos realizados propuestos para la construcción, se concluye que dichos materiales cumplen con los parámetros y valores de calidad, por lo tanto, son apropiados para su empleo en pedraplenes, terraplenes y subrasantes. En la Tabla 4.8 y 4.9 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio de las muestras recuperadas en los bancos de materiales “Boca del Cerro” y “El Cortijo”, respectivamente.

Es importante recalcar que en estos bancos se obtuvieron núcleos de roca por lo que se hizo la recomendación de que, antes de ser utilizado dicho material, se triture de acuerdo con la normativa vigente de la SCT (correspondiente para materiales de subrasante) y que se le realicen las pruebas de resistencia CBR para verificar que cumpliera dichos requerimientos.

Tabla 4.8. Resumen de laboratorio de banco "Boca del Cerro".

TABLA RESUMEN DE BANCO				
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO				
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO				
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000				
ORIGEN: TABASCO				
RESUMEN DE LABORATORIO: BANCO "BOCA DEL CERRO"			FECHA: JUNIO 2021	
Prueba	Muestra			
	1	2	3	4
Absorción (%)	2.28	1.68	1.22	1.90
Clasificación SUCS	GW	GW	GW	GW
Compresión simple (kg/cm²)	490.56	298.71	406.18	235.16
Granulometría	% Retenido malla 75 mm	0	0	0
	% Pasa malla 4.75 mm	26.72	27.24	27.68
	% Pasa malla 0.425 mm	2.56	2.31	1.99
	% Pasa malla 0.075 mm	0.84	0.37	0.43
P.V. Saturado (t/m³)	2.53	2.60	2.62	2.63
P.V.S. Máximo (t/m³)	2.47	2.56	2.58	2.58

Tabla 4.9. Resumen de laboratorio de banco "El Cortijo".

TABLA RESUMEN DE BANCO				
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO				
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO				
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000				
ORIGEN: TABASCO				
RESUMEN DE LABORATORIO: BANCO "EL CORTIJO"			FECHA: JUNIO 2021	
Prueba	Muestra			
	1	2	3	4
Absorción (%)	2.14	1.23	2.81	2.59
Clasificación SUCS	GW	GW	GW	GW
Compresión simple (kg/cm²)	577.11	421.42	210.19	464.73
Granulometría	% Retenido malla 75 mm	0	0	0
	% Pasa malla 4.75 mm	54.76	27.45	20.96
	% Pasa malla 0.425 mm	2.47	2.37	2.11
	% Pasa malla 0.075 mm	0.37	0.30	0.34
P.V. Saturado (t/m³)	2.51	2.55	2.49	2.40
P.V.S. Máximo (t/m³)	2.46	2.52	2.42	2.34

4.4. DATOS PARA CURVA MASA

En la construcción de un camino, los volúmenes de materiales (producto de cortes) se emplean en la formación de terraplenes. En ocasiones se presenta el caso en el que el volumen del material de corte supera la necesidad de material para terraplén generando un desperdicio; caso contrario, puede ocurrir que el volumen de corte no alcance a cubrir el requerimiento del terraplén, por lo que habrá que recurrir a materiales de préstamo (Valenzuela, 1997). Para determinar estos movimientos de terracerías y obtener su costo mínimo se requiere del uso del diagrama de masas o también conocido como diagrama de curva masa.

Candelas (2020) define a la curva masa como una gráfica dibujada en ejes cartesianos, donde las ordenadas representan volúmenes acumulados de excavación o relleno y las abscisas los cadenamientos de un camino (Figura 4.10). Gracias a la curva masa se puede hacer el cálculo de los volúmenes de tierra con base en las áreas medidas destinados a cortes y terraplenes, permitiendo establecer el esquema más eficiente en relación con sus costos mínimos.

El análisis de la curva masa queda fuera de los alcances de este proyecto, sin embargo, se procesó la información resultante del estudio geotécnico de terracerías que es fundamental para el llenado de las tablas denominadas “Informe de Estudio Geotécnico” o “Tabla de Datos Para el Cálculo de la Curva Masa”, donde se emiten recomendaciones para el proyecto de terracerías.

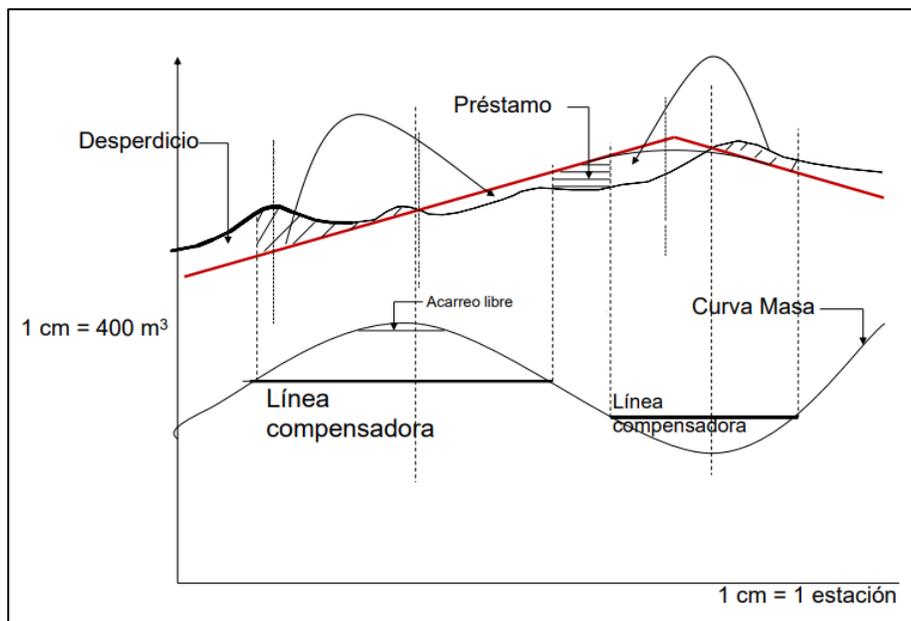


Figura 4.10. Diagrama de curva masa. La línea roja representa la línea de rasante (Candelas, 2020).

Con base en los estudios anteriores, se creó la Tabla 4.10, en la cual se muestra un resumen general para el cálculo de la curva masa, donde se señala lo siguiente:

- **Clasificación:** Con base en la clasificación SUCS y las pruebas de laboratorio, se muestra una breve descripción de los materiales indicando el nombre, color, grado de plasticidad, porcentaje de contenido de grava y/o fragmentos de roca, grado de humedad y CBR.
- **Tratamiento probable:** Conjunto de procedimientos que pueden ser aplicados al suelo con el fin de mejorar sus características originales para hacerlos aptos y seguros (compactado, bandedo o despalme). En el caso

de las capas vegetales no existe tratamiento alguno que se les deba aplicar, sólo basta con retirarlas.

- **Coeficiente de variación volumétrica:** Ayuda a identificar cuál es el estado de cada material: Arena (suelta, compacta o muy compacta), limos no plásticos (suelto, compacto o muy compacto) y arcillas y limos plásticos (blandos, firmes y duros). En materiales al 90%, 95%, y 100% de compactación, se calcula con respecto al PVSM.
- **Clasificación presupuestal:** Con base en los valores de coeficiente de variación volumétrica, se selecciona la clasificación presupuestal.
- **Corte:** Se anota la altura máxima y la relación H:V del talud del corte.
- **Terraplén:** Se anota la altura máxima y la relación H:V del talud del terraplén.
- **Observaciones:** Iniciales de “Observaciones” o “Recomendaciones generales”:
 - A. En todos los casos el cuerpo de terraplén, se compactará al 90% o se bandeará según sea el caso; las capas de transición y subrasante se compactarán al 95% y 100% respectivamente; los grados de compactación indicados son con respecto a la prueba Proctor o Porter dependiendo de la granulometría del material, por lo que quedara a juicio del laboratorio de control aplicar la prueba que corresponda.
 - B. En todos los casos, cuando no se indique otra cosa, el terreno natural, después de haberse efectuado el despalme correspondiente, el piso descubierto deberá compactarse al 90% de su PVSM en una profundidad mínima de 0.20 m.; o bandearse según sea el caso.
 - C. Material que, por sus características, no debe utilizarse ni en construcción del cuerpo del terraplén.
 - D. Material que, por sus características, solo puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén, mismo que deberá compactarse al 90% de su PVSM o bandearse según sea el caso.
 - E. Material que por sus características puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén y capa de transición.
 - F. Material que por sus características puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén, capa de transición y capa subrasante.

-
-
- G.** En terraplenes formados sobre este material, se deberá construir capa de transición de 0.20m de espesor, cuando la altura de estos sea menor de 0.80m y cuando sea mayor, dicha capa será de 0.50m.; y en ambos casos se proyectará capa subrasante de 0.30m de espesor.
- H.** En terraplenes y cortes contruidos en este material, se deberá proyectar capa de transición de 0.50 m de espesor como mínimo y capa subrasante de 0.30 m compactadas al 95% y 100% respectivamente, las cuales se construirán con material de préstamo del banco más cercano.
- I.** En cortes formados en este material, la cama de corte se deberá compactar al 95% de su PVSM, en una profundidad de 0.20 m y se deberá proyectar capa subrasante de 0.30 m de espesor, compactándola al 100% con material procedente del banco más cercano.
- J.** En este tramo se deberá proyectar en cortes y terraplenes bajos, capa de transición de 0.50 m de espesor, como mínimo y capa subrasante de 0.30m; en caso de ser necesario se deberán abrir cajas de profundidad suficiente para alojar las Capas citadas; estas capas se proyectarán con préstamo del banco más cercano y se construirán una vez habiendo compactado el terreno natural al 90% de la prueba Proctor Estándar, en una capa de 0.20 m de espesor.
- K.** En cortes formados con este material, se deberá escarificar los 0.15 m superiores y acamellonar; la superficie descubierta, se deberá compactar al 100% de su PVSM, respectivo en un espesor mínimo de 0.15 m. con lo que quedará formada la 1ra. Capa subrasante, misma que deberá compactarse también al 100% de su PVSM.
- L.** En cortes formados en este material, se proyectará capa de transición de 0.50 m de espesor como mínimo y capa subrasante de 0.30 m compactadas al 95% y 100% respectivamente, las cuales se construirán con material de préstamo del banco más cercano.
- M.** En cortes formados en este material, se escarificarán los primeros 0.30 m a partir del nivel superior de subrasante, se acamellonará el material producto del escarificado y se compactará la superficie descubierta al 95% de la prueba Proctor Estándar hasta una profundidad de 0.20 m posteriormente, con el material acamellonado se formará la capa subrasante de 0.30m de espesor.

-
-
- N.** En terraplenes contruidos en este material, se deberá proyectar capa de transición de 0.50 m de espesor como mínimo y capa subrasante de 0.30m compactadas al 95% y 100% de la prueba Proctor Estándar respectivamente, las cuales se construirán con material de préstamo del banco más cercano.
- O.** En terraplenes y cortes bajos formados por este material, se proyectará una capa de mejoramiento. Se colocará un geotextil no tejido con peso de 200 gr/m², posteriormente se colocará una Geomalla Biaxial BX1200, Sobre ésta se colocará una plantilla de 60 cm de fragmentos de roca (pedraplén) de tamaño máximo de 12" hasta 3" de diámetro; esta capa se bandeará. A continuación, se conformará y bandeará una capa rompedora de capilaridad de 30 cm de espesor, con fragmentos de roca de 3" a 1 ½" de diámetro. Posteriormente se colocará un geotextil no tejido con peso de 350 gr/m². Sobre el geotextil debidamente colocado, se procederá al tendido y compactado al 100% de su PVSM de la capa de subrasante, con espesor de 30 cm. Se deberán abrir cajas de 30 cm mínimo o bien la profundidad suficiente para alojar las capas citadas, utilizando material de banco de préstamo. Para terraplenes altos se deberá construir una capa de transición de 0.70m de espesor y para la capa subrasante de 0.30 m de espesor, compactadas al 95% y 100% de su PVSM AASHTO Estándar respectivamente, las cuales se construirán con material de préstamo del banco.

Tabla 4.10. Resumen de la curva masa.

Km a Km	Estrato		Clasificación	Tratamiento probable	Coeficiente de variación volumétrica					Clasif. pres.			Corte		Terraplén		Observ.
	No.	Espesor			90%	95%	100%	Coef. Abun.	Band.	A	B	C	Alt max (m)	Talud	Alt max (m)	Talud	
0+000 a 0+505	1	0.15	Capa vegetal	Despalme						100	0	0					C
	2	1.60	Grava mal graduada con arcilla y arenas color café claro (GP-GC) w%=2.45, %G= 64.35, %S= 25.87, %F=9.78, %LL= 24.5, %IP=7.4, %CBR=25	Compactado	1.04	0.99	0.94			50	50	0	0.6	1:1	0.66	1.7:1	A,B,F,G,K
	3	1.25	Roca caliza poco fracturada, bien cementada	Triturado				1.50	1.15	0	40	60					A,B,F,G,K
0+505 a 0+980	1	0.20	Capa vegetal	Despalme						100	0	0					C
	2	1.00	Arena limosa color blanco (SM) %w= 4.56, %G=0, %S=57.93, %F=42.07, LL=28.60, %IP=4.8, %CBR=9	Compactado	1.03	0.98	0.93			50	50	0	0.5	1:1	0.27	1.7:1	A,B,E,G,K
	3	1.80	Roca caliza poco fracturada, bien cementada	Triturado				1.50	1.15	0	40	60					A,B,F,G,K
0+980 a 1+510	1	0.20	Capa vegetal	Despalme						100	0	0					C
	2	2.30	Arcilla de alta plasticidad con grava, color café amarillento brillante (CH) %w= 17.34, %G=15.18, %S=13.59, %F=71.23, LL=62.20, %IP=35.9, %CBR=8	Compactado	0.97	0.92	0.87			70	30	0	0.6	1:1	1.37	1.7:1	A,B,C, J
	3	0.50	Roca caliza poco fracturada, bien cementada	Triturado				1.50	1.15	0	40	60					A,B,F,G,K
1+510 a 2+020	1	0.60	Capa vegetal	Despalme						100	0	0					C
	2	2.00		Compactado	1.05	0.99	0.94			50	50	0	0.6	1:1	1.21	1.7:1	A,B,F,G,K

			Grava arcillosa, color café claro (GC) %w=9.81, %G=50.3, %S=14.83,%F=34.86, %LL=27, %IP=8.8, %CBR=20																
	3	0.40	Roca caliza poco fracturada, bien cementada	Triturado					1.50	1.15	0	40	60						A,B,F,G,K
2+020 a 2+490	1	0.20	Capa vegetal	Despalme							100	0	0						C
	2	0.80	Arena limosa color blanco (SM) %w=6.42, %G=13.79, %S=43.72, %F=42.49, %LL=25.6, %IP=3.6, %CBR=10	Compactado	1.08	1.02	0.97				30	70	0	2.3	1:1	1.88	1.7:1		A,B,E,G,K
	3	2.20	Roca caliza poco fracturada, bien cementada	Triturado					1.50	1.15	0	40	60						A,B,F,G,K
2+490 a 2+980	1	0.40	Capa vegetal	Despalme							100	0	0						C
	2	0.60	Arcilla de alta plasticidad con grava, color café amarillento brillante (CH) %w= 23.28, %G=5.72, %S=21.11, %F=73.17, LL=59.3, %IP=35.3, %CBR=4	Compactado	1.07	1.02	0.96				40	60	0	1.2	1:1	0.76	1.7:1		A,B,C, J
	3	2.00	Roca caliza poco fracturada, bien cementada	Triturado					1.50	1.15	0	40	60						A,B,F,G,K
2+980 a 3+485	1	0.70	Capa vegetal	Despalme							100	0	0						C
	2	1.80	Arcilla de baja plasticidad color café amarillento con tonalidades gris claro (CL) w%=24.88, %G=0, %S=10.31, %F=89.69, %LL=46.7, %IP=27.6, %CBR=10	Compactado	1.10	1.04	0.99				40	60	0	0.0	1:1	1.11	1.7:1		A,B,E,H
	3	0.50	Roca caliza poco fracturada, bien cementada	Triturado					1.50	1.15	0	40	60						A,B,F,G,K
3+485 a 4+010	1	0.70	Capa vegetal	Despalme							100	0	0						C
	2	1.10	Arena arcillo-limosa con gravas color café amarillento claro (SC-SM) w%=6.11, %G=23.25,%S=44.99, %F=31.77, %LL=23.9, %IP=5.3, %CBR=8.5	Compactado	1.09	0.98	0.93				50	50	0	1.1	1:1	0.51	1.7:1		A,B,E, J

	3	1.20	Roca caliza poco fracturada, bien cementada	Triturado					1.50	1.15	0	40	60					A,B,F,G,K
4+010 a 4+520	1	0.10	Capa vegetal	Despalme							100	0	0					C
	2	1.10	Arcilla de baja plasticidad gravosa con arena color beige (CL) %w=16.85, %G=22.81, %S=18.18, %F=59.01, %LL=24.4, %IP=8.2, %CBR=12	Compactado	1.04	0.99	0.94				50	50	0	1.7	1:1	3.30	1.7:1	A,B,E, J
	3	0.80	Roca caliza poco fracturada, bien cementada	Triturado					1.50	1.15	0	40	60					A,B,F,G,K
4+520 a 5+505	1	0.30	Capa vegetal	Despalme							100	0	0					C
	2	2.50	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena color café amarillento (CL-ML) w%=7.7, %G=10.72, %S=34.39, %F=54.89, %LL=24.2, %IP=4.05, %CBR=9.5	Compactado	1.10	1.04	0.99				40	60	0	4.0	1:1	0.10	1.7:1	A,B,E, J
	3	0.20	Roca caliza poco fracturada, bien cementada	Triturado					1.50	1.15	0	40	60					A,B,F,G,K

CAPÍTULO V

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA PAVIMENTOS

Tal como se mencionó en el capítulo anterior, el estudio geotécnico tiene como objeto el analizar la zona de interés para poder reconocer y estudiar los materiales disponibles en el sitio. En este caso se hizo especial énfasis en los bancos de materiales pues de éstos es donde se obtuvieron los materiales necesarios para el diseño del pavimento, sin restarle importancia al terreno natural del camino de estudio.

5.1. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA PAVIMENTOS

Adicional a los trabajos de exploración realizados para la construcción del camino del proyecto, se identificó la presencia de material duro y rocoso que, de manera general, mostraba un buen estado pues no se veía fragmentado o intemperizado.

Se ejecutó el análisis geológico – geotécnico de la zona ubicando los sitios potencialmente adecuados en cuanto a tipo de material y cercanía se refiere para su utilización como banco de materiales para la conformación de las capas del pavimento, delimitando las zonas de explotación, así como la programación de los sondeos pertinentes con maquinaria especial, capaces de extraer núcleos de rocas con el objeto de analizar sus propiedades mecánicas por medio de los respectivos ensayos de laboratorio.

5.2. MUESTREO Y EXPLORACIÓN DE BANCOS PARA PAVIMENTOS

De los trabajos de exploración que se llevaron a cabo en los bancos se obtuvieron los materiales necesarios para construir la estructura del pavimento.

Conforme a los requerimientos del proyecto, fue indispensable emplear material producto de los bancos “El Cortijo” y “Boca del Cerro”, para conformar la carpeta asfáltica, la base y subbase del pavimento, realizándose el mismo análisis geotécnico que se expone en el punto 4.2.3. *Exploración de bancos de materiales para terracerías.*

5.3. LABORATORIO DE BANCOS PARA PAVIMENTOS

Las muestras obtenidas en los bancos de materiales fueron analizadas en laboratorio para asegurarse si los materiales cumplen con las especificaciones que la normativa SCT señala para pavimentos. Se efectuaron los siguientes ensayos a fin de verificar su calidad y establecer los parámetros de resistencia con el objetivo de diseñar y construir el pavimento resaltando que las pruebas que se ejecutan en este apartado son distintas a las de las terracerías, como son el intemperismo acelerado, el desgaste de los Ángeles y el CBR, por mencionar algunas. Para ver detalladamente los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, es necesario dirigirse al Anexo F.

Antes, es necesario aclarar lo siguiente con la finalidad de cumplir con los objetivos de este proyecto: Los requerimientos de calidad para cada prueba sólo se basan en un tránsito igual o menor a un millón de ejes equivalentes, y sólo se mencionan los valores máximos y mínimos que deben cumplir los materiales (según la prueba), así como ciertas recomendaciones, basados en el libro *CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES (CMT)*, de la SCT.

- **Granulometría:** Para carpetas asfálticas, la norma *N·CMT·4·04/17*, de la SCT, establece que cuando el tránsito esperado sea igual a un millón de ejes equivalentes o menor, el material pétreo debe cumplir con las características granulométricas de la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas (SCT, 2017).

Malla		Tamaño nominal del material pétreo ^[1] mm (in)				
Abertura mm	Designación	9.5 (³ / ₈)	12.5 (¹ / ₂)	19 (³ / ₄)	25 (1)	37.5 (1½)
Porcentaje que pasa (en masa)						
50	2 in	-	-	-	-	100
37.5	1½ in	-	-	-	100	90 – 100
25	1 in	-	-	100	90 – 100	74 – 90
19	³ / ₄ in	-	100	90 – 100	79 – 92	62 – 83
12.5	¹ / ₂ in	100	90 – 100	72 – 89	58 – 81	46 – 74
9.5	³ / ₈ in	90 – 100	76 – 92	60 – 82	47 – 75	39 – 68
6.3	¹ / ₄ in	70 – 89	56 – 81	44 – 71	36 – 65	30 – 59
4.75	Nº 4	56 – 82	45 – 74	37 – 64	30 – 58	25 – 53
2	Nº 10	28 – 64	25 – 55	20 – 46	17 – 42	13 – 38
0.85	Nº 20	18 – 49	15 – 42	12 – 35	9 – 31	6 – 28
0.425	Nº 40	13 – 37	11 – 32	8 – 27	5 – 24	3 – 21
0.25	Nº 60	10 – 29	8 – 25	6 – 21	4 – 19	2 – 16
0.15	Nº 100	6 – 21	5 – 18	4 – 16	2 – 14	1 – 12
0.075	Nº 200	2 – 10	2 – 9	2 – 8	1 – 7	0 – 6

[1] El tamaño nominal de un material pétreo es la abertura de la malla con la que se designa el material que cumpla con una determinada granulometría.

Para bases, la norma *N·CMT·4·02·002/21*, de la SCT, establece que cuando la carpeta asfáltica sea construida inmediatamente después de la base el material tendrá las características granulométricas que se establecen en la Tabla 5.2 y en la Figura 5.1, considerando que el tamaño máximo de sus partículas no será mayor al 20% del espesor de la base.

Tabla 5.2. Requisitos de granulometría del material pétreo para bases (SCT, 2021).

Malla		Porcentaje que pasa ^[1]	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$	$\Sigma L > 10^6$
75	3 in	100	100
50	2 in	85 – 100	85 – 100
37.5	1½ in	75 – 100	75 – 100
25	1 in	62 – 100	62 – 100
19	¾ in	54 – 100	54 – 83
9.5	⅜ in	40 – 100	40 – 65
4.75	Nº 4	30 – 80	30 – 50
2	Nº 10	21 – 60	21 – 36
0.85	Nº 20	13 – 44	13 – 25
0.425	Nº 40	8 – 31	8 – 17
0.25	Nº 60	5 – 23	5 – 12
0.15	Nº 100	3 – 17	3 – 9
0.075	Nº 200	0 – 10	0 – 5

[1] El tamaño máximo de las partículas no será mayor de 20% del espesor de la base.

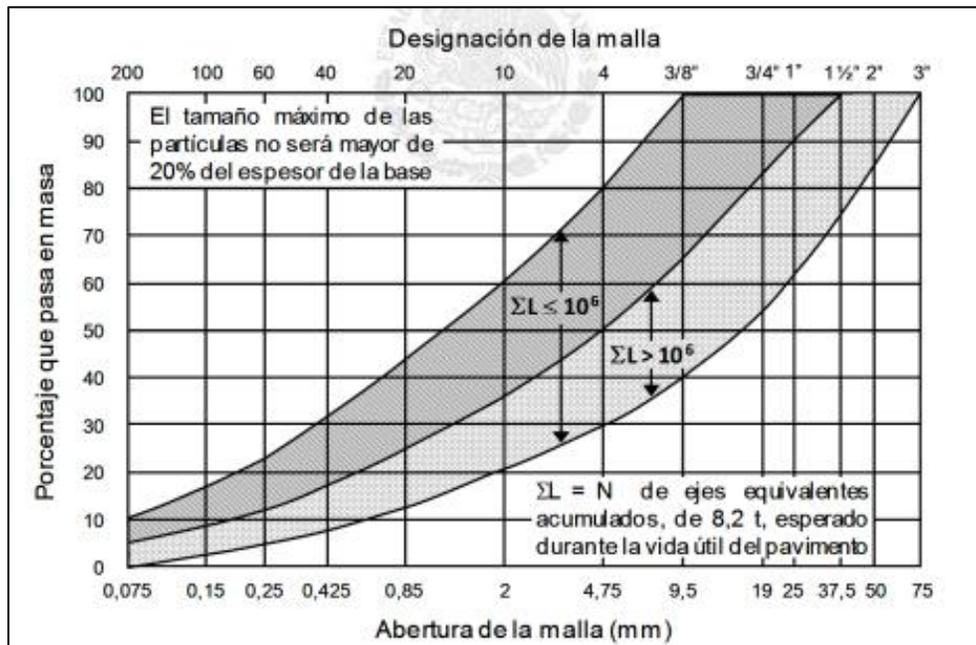


Figura 5.1. Zonas granulométricas recomendables de los materiales para bases de pavimentos con carpetas de mezcla asfáltica (SCT, 2021).

Para subbases, la norma *N-CMT-4-02-001/21*, de la SCT, establece que el material tendrá las características granulométricas que se establecen en la Tabla 5.3 y en la Figura 5.2, considerando que el tamaño máximo de sus partículas no será mayor al 25% del espesor de la subbase.

Tabla 5.3. Requisitos de granulometría del material pétreo para subbases (SCT, 2021).

Malla		Porcentaje que pasa ^[1]	
Abertura mm	Designación	$\Sigma L \leq 10^6$	$\Sigma L > 10^6$
75	3 in	100	100
50	2 in	85 – 100	85 – 100
37.5	1½ in	75 – 100	75 – 100
25	1 in	62 – 100	62 – 100
19	¾ in	54 – 100	54 – 100
9.5	⅜ in	40 – 100	40 – 100
4.75	Nº 4	30 – 100	30 – 80
2	Nº 10	21 – 100	21 – 60
0.85	Nº 20	13 – 92	13 – 45
0.425	Nº 40	8 – 75	8 – 33
0.25	Nº 60	5 – 60	5 – 26
0.15	Nº 100	3 – 45	3 – 20
0.075	Nº 200	0 – 25	0 – 15

[1] El tamaño máximo de las partículas no será mayor de 25% del espesor de la subbase.

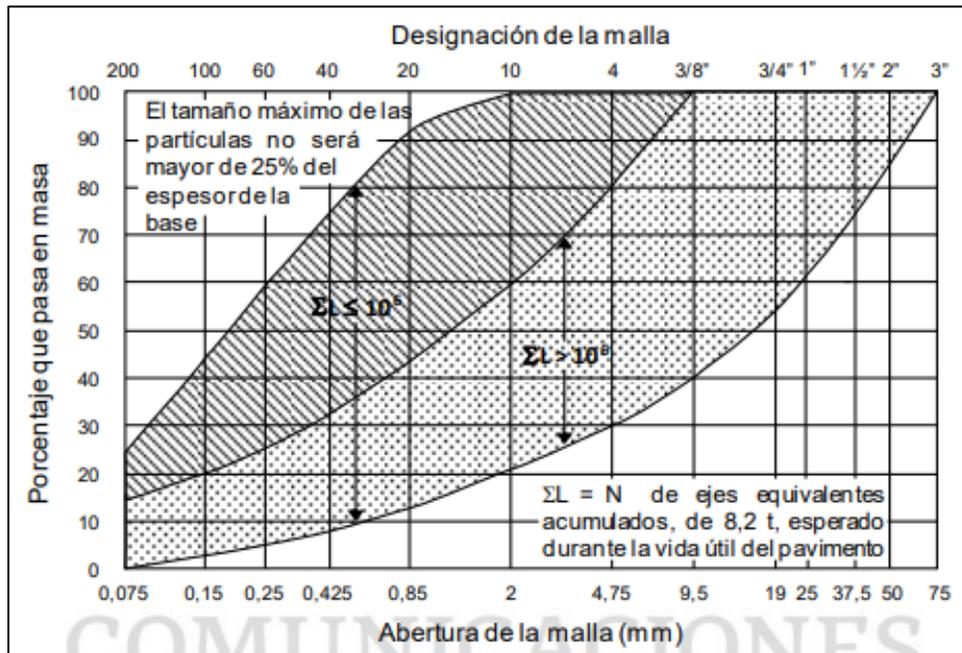


Figura 5.2. Zonas granulométricas recomendables de los materiales para subbases de pavimentos asfálticos (SCT, 2021).

- **Intemperismo acelerado:** Para carpeta asfáltica, la norma *N-CMT-4-04/17*, establece que cuando el tránsito esperado sea igual o menor a un millón de ejes equivalentes, el material pétreo (grava) debe cumplir con las características de la Tabla 5.4. No aplica en arenas y finos.

Tabla 5.4. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas (SCT, 2017).

Característica		Valor
Intemperismo acelerado (5 ciclos), máximo ^[1]	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20

[1] Será necesario que el intemperismo acelerado cumpla con una de las condiciones:
En sulfato de sodio o en sulfato de magnesio.

- **Prueba de desgaste de los Ángeles:** Para carpetas asfálticas, la norma *N·CMT·4·04/17* establece que cuando el tránsito esperado sea igual o menor a un millón de ejes equivalentes, el material pétreo (grava) debe cumplir con un desgaste máximo del 35%. No aplica en arenas y finos.

Para bases, la norma *N·CMT·4·02·002/21* establece que cuando el tránsito esperado sea igual o menor a un millón de ejes equivalentes, el material pétreo debe cumplir con un desgaste máximo del 35%.

Para subbases, la norma *N·CMT·4·02·001/21* establece que, cuando el tránsito esperado sea igual o menor un millón de ejes equivalentes, el valor mínimo aceptable en esta prueba es de 50%.

- **California Bearing Ratio:** Para bases, la norma *N·CMT·4·02·002/21* establece que cuando el tránsito esperado sea igual o menor a un millón de ejes equivalentes, el valor mínimo es de 80%.

Para subbases, la norma *N·CMT·4·02·001/21* establece que, cuando el tránsito esperado sea igual o menor un millón de ejes equivalentes, el valor mínimo aceptable en esta prueba es de 50%.

En las siguientes tablas se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio de las muestras recuperadas en los bancos de materiales. Sin embargo, tal como se mencionó en el capítulo anterior, se recomendó la trituración de los núcleos de roca obtenidos de los bancos de materiales para realizar sus respectivas pruebas de resistencia CBR.

Tabla 5.5. Resumen de laboratorio de sondeos del banco "Boca del Cerro".

TABLA RESUMEN DE BANCO					
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO					
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO					
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000					
ORIGEN: TABASCO					
RESUMEN: BANCO "BOCA DEL CERRO"			FECHA: JUNIO 2021		
Prueba		Muestra			
		1	2	3	4
Granulometría	% Retenido malla 75 mm	0.00	0.00	0.00	0.00
	% Pasa malla 4.75 mm	26.76	27.24	27.68	23.67
	% Pasa malla 0.425 mm	2.56	2.31	1.99	2.27
	% Pasa malla 0.075 mm	0.84	0.37	0.43	0.41
Intemperismo acelerado	% Pérdida de peso	0.54	8.76	1.03	2.00
Abrasión en máquina tipo Ángeles	% 100 RPM	32.18	30.23	24.50	25.29
	% 500 RPM	62.58	62.05	59.08	56.11
% CBR		86	88	91	84

Tabla 5.6. Resumen de laboratorio de sondeos del banco "El Cortijo".

TABLA RESUMEN DE BANCO					
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO					
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO					
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000					
ORIGEN: TABASCO					
RESUMEN: BANCO "EL CORTIJO"			FECHA: JUNIO 2021		
Prueba		Muestra			
		1	2	3	4
Granulometría	% Retenido malla 75 mm	0.00	0.00	0.00	0.00
	% Pasa malla 4.75 mm	28.43	27.45	20.96	11.61
	% Pasa malla 0.425 mm	2.47	2.37	2.11	1.81
	% Pasa malla 0.075 mm	0.37	0.30	0.34	0.27
Intemperismo acelerado	% Pérdida de peso	-0.50	-0.35	-0.23	-0.16
Abrasión en máquina tipo Ángeles	% 100 RPM	25.98	34.66	21.29	19.04
	% 500 RPM	63.70	76.65	57.20	55.54
% CBR		89	88	87	88

Tratamiento

Los materiales procedentes de bancos que van a ser usados para la construcción generalmente no suelen sujetarse a ningún tipo de tratamiento especial y se utilizan tal como se obtienen.

Sin embargo, en caso de presentar excesos de tamaños o cuando no se cumple completamente con las especificaciones que marca la normativa (como es el caso

de los materiales ensayados) se procede a someter los materiales a los siguientes tratamientos:

- 1. Eliminación de desperdicios:** Se trata de eliminar un determinado porcentaje de partículas cuyo tamaño máximo sobrepasa el que se haya considerado en el proyecto. Esta eliminación se hace muchas veces a mano.
- 2. Disgregación:** Los materiales cohesivos (como los tepetates, caliches, conglomerados y aglomerados) tienden a formar terrones al ser extraídos, pero pueden disgregarse por la acción de arados o cuchillas de las maquinarias mientras no contengan más del 5% en partículas mayores de 3”.
- 3. Cribado:** Los materiales que requieren cribado son las mezclas de grava, arena y limos, que al extraerlos quedan sueltos y que en algunos casos contienen entre el 5.0% y el 25.0% de material de tamaño superior a 3”, por lo cual requiere ser cribado para eliminar este material. El cribado generalmente se utiliza para lograr, en un material de naturaleza friccionante, una granulometría adecuada o para eliminar porcentajes altos de partículas mayores a las requeridas.

5.4. DISEÑO DEL PAVIMENTO

En el presente apartado se expone el desarrollo del diseño del pavimento del camino Cortijo Nuevo – Nuevo Progreso basado en el estudio de tránsito y los resultados obtenidos a partir del análisis geotécnico en el sitio.

Las dos propuestas presentadas tratarán de cumplir con los objetivos del proyecto, así como dar una solución eficaz al mismo. Están apoyadas en la metodología AASHTO y la metodología de la UNAM (DISPAV-5) las cuales son comparados para elegir la mejor opción, destacando que la principal diferencia entre cada uno de estos métodos es que el primero se basa principalmente en aplicar una serie de fórmulas, dependientes una de la otra, y en encontrar un número estructural; mientras que el segundo solicita únicamente datos de entrada como tipo de carretera, TDPA, características de los materiales, entre otros datos, que fácilmente pueden cambiarse.

5.4.1. Estudio de tránsito

El estudio de ingeniería de tránsito sirve para obtener los parámetros que permiten elaborar el proyecto de pavimentación. Este estudio se debe llevar a cabo respetando la normatividad y recomendaciones de la SCT, así como lo señalado en el proyecto.

El siguiente estudio fue ejecutado por un especialista y su equipo, expertos en el tema, los cuales proporcionaron los datos necesarios para poder llevar a cabo el diseño del pavimento en la zona de estudio.

Investigación de campo

La investigación de campo se refiere a los trabajos realizados de forma directa en el sitio y que son necesarios para el análisis del proyecto.

El tiempo de ejecución fue de tres días consecutivos con 16 horas continuas (intervalos de 15 minutos), siendo el periodo de aplicación entre el lunes 17 de mayo al miércoles 19 de mayo de 2021; el aforo lo realizó personal de forma manual, como se observa en la Figura 5.3.



Figura 5.3. Aforo vehicular en el sitio.

Nota: Debido a fallas de señal de internet en el sitio, las coordenadas GPS que se ven en la imagen, muestran discrepancias con relación a Google Earth.

El especialista señaló que el aforo no se aplicó durante 24 horas por razones de seguridad y que, además, los vecinos le dijeron que prácticamente no circula ningún vehículo en los horarios nocturnos. Además, en relación con el aforo, contempló la siguiente composición vehicular asignada por la SCT en 2021, como se observa en la Figura 5.4.

TIPO DE VEHICULO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
M	MOTOCICLETAS	
A	VEHÍCULOS LIGEROS	
B	AUTOBÚS (CUALQUIER TIPO DE SERVICIO Y NÚMERO DE EJES)	
C2	CAMIONES UNITARIOS DE 2 EJES	
C3	CAMIONES UNITARIOS DE 3 EJES	
T3-S2	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES	
T3-S3	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 3 EJES	
T3-S2-R4	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 4 EJES	

TIPO DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN
M	Motos
A	Automóviles
B	Autobuses
C2	Camiones Unitarios de 2 ejes.
C3	Camiones Unitarios de 3 ejes.
T3S2	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes.
T3S3	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 3 ejes.
T3S2R4	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes y remolque de 4 ejes.
Otros	Considera otro tipo de combinaciones de camiones de carga.

6.- CLASIFICACION VEHICULAR.- Se refiere a los tipos de vehículos que integran al tránsito, ésta se proporciona en por ciento del TDPA, de acuerdo a la siguiente simbología.

Figura 5.4. Clasificación vehicular (SCT, 2021).

Obtención de parámetros del proyecto

Los siguientes datos fueron proporcionados por el especialista que llevó a cabo el estudio de tránsito, para el diseño del pavimento. La Tabla 5.7 muestra el resumen del aforo vial.

Tabla 5.7. Resumen del aforo vial.

Composición vehicular	
A	90.7%
B	0.0%
C2	5.6%
C3	3.7%
T3-S2	0.0%
T3-S3	0.0%
T3-S2-R4	0.0%
Total	100.0%

Del mismo modo, el especialista y su personal reportaron una tasa de crecimiento anual (r) de 3.5% y un TDPA de 108 vehículos al día en ambos sentidos, destacando que está ligeramente pasado de los 100 vehículos al día, concluyendo que corresponde a un camino tipo “E”.

Para propósitos de diseño, se planteó un camino tipo “D”; propuesta que obedece a las siguientes razones:

1. Con la mejora de las condiciones del camino los servicios se incrementarán y así lo harán los vehículos pesados (bebidas, gas, abarrotes, etc.), aun así, no se esperan vehículos mayores de 5 ejes o más porque la actividad no generaría para que se arriben o salgan este tipo de unidades.
2. No hay autobuses circulando porque la gente se traslada en taxis o mototaxis.

5.4.2. Solución por el método AASHTO

En este apartado se describe el desarrollo de diseño del pavimento flexible por el método AASHTO, partiendo del estudio de tránsito que se explicó anteriormente para obtener el número de ejes equivalentes o ESAL y posteriormente encontrar las variables que se requieren para completar el proceso.

Cálculo del ESAL

Como ya se mencionó anteriormente, del estudio de tránsito se obtuvieron los valores de la tasa de crecimiento anual igual a 3.5%, el valor de TDPA de 108 vehículos y una velocidad de operación de 50 km/h, para un periodo de diseño (n) de 10 años. Sin embargo, para poder mantener el diseño de un pavimento se requiere aumentar el TDPA con base en la siguiente tabla:

Tabla 5.8. Rangos de velocidad de proyecto y TDPA (IMT, 2006).

Tipo	Velocidad de proyecto (km/h)	TDPA	Función de la red
Autopistas	80 – 110	5000 o mayor	Primaria
Vías rápidas	80 – 110	3000 – 5000	Primaria
Arterias	70 – 110	1500 – 3000	Primaria
Colectoras	60 – 100	500 – 1500	Secundaria
Locales	50 – 80	100 – 500	Alimentadora
Brechas	30 – 70	Menos de 100	Alimentadora

Por lo tanto, se considera un TDPA igual a 350 vehículos confirmado la clasificación del camino como una carrera tipo D, con base en la siguiente tabla:

Tabla 5.9. Clasificación normativa (DOF, 2006).

Tipo de carretera	Clasificación
ET o A	Tipo A4: TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos Tipo A2: TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos.
B	TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos.
C	TDPA de 500 a 1,500 vehículos.
D	TDPA de 100 a 500 vehículos

Los coeficientes de daño (F_d) se calcularon empleando el peso cargado y vacío de los ejes de los vehículos que fueron registrados en la Tabla 5.7. Como se muestra en la Tabla 5.10, en la columna de “Suma” se encuentran los pesos totales de los vehículos con su respectivo F_d .

Tabla 5.10. Coeficientes de daño de los vehículos.

Vehículos cargados												
Vehículo	Eje 1		Eje 2		Eje 3		Eje 4		Eje 5		Suma	
	Peso	F_d	Peso	F_d								
A	1.35	0.001	1.35	0.001							2.7	0.002
C2	5.00	0.120	8.00	0.914							13	1.025
C3	5.00	0.120	11.00	0.278							16	0.367
Vehículos vacíos												
Vehículo	Eje 1		Eje 2		Eje 3		Eje 4		Eje 5		Suma	
	Peso	F_d	Peso	F_d								
A	0.84	0.000	0.84	0.000							1.68	0.001
C2	2.12	0.005	3.38	0.004							5.5	0.009
C3	2.16	0.006	4.74	0.011							6.9	0.017

En el caso de los coeficientes de distribución direccional (F_s), distribución de carril (F_c) y de crecimiento ($F_{\text{crecimiento}}$), los valores fueron establecidos de acuerdo a las características del proyecto como el número de vehículos en una dirección, cuántos

carriles hay para cada sentido y cifras ya conocidas. Dicho lo anterior, para el F_s se tiene un valor igual a 50%, para el F_c igual a 100% y para el $F_{\text{crecimiento}}$ igual a 11.73.

En la Tabla 5.11 se muestra el resumen que se efectuó para conocer el número de ejes equivalentes o ESAL, dando como resultado 27,915 vehículos.

Tabla 5.11. Resultado del ESAL.

Tipo de vehículo	% de distribución	TDPA x veh	Vol. vacío	Vol. cargado	F_s	F_c	Fd (vacío)	Fd (cargado)	$F_{\text{crecimiento}}$	ESAL vacío	ESAL cargado	ESAL total	% ESAL por vehículo
A	90.7	317.45	0.0%	100.0%	0.5	1.0	0.0003	0.0012	11.73	0.00	847.86	847.86	3.04
C2	5.6	19.6	40.0%	60.0%	0.5	1.0	0.0037	0.9048	11.73	61.99	22781.11	22843.11	81.83
C3	3.7	12.95	40.0%	60.0%	0.5	1.0	0.0109	0.2467	11.73	120.50	4103.41	4223.90	15.13
Total	100	350										27915.00	100.00

Parámetros de confiabilidad y servicio

En relación con los parámetros de confiabilidad como son el nivel de confiabilidad (R%), la desviación estándar normal (Z_R) y la desviación estándar (S_0), cada uno de ellos fueron determinados con base en los criterios de la AASHTO. Por lo que, de acuerdo con las características del proyecto se obtuvo un valor de R% de 65 por ciento, para la Z_R un valor de -0.253 y para la S_0 fue de 0.45.

Por otro lado, en el caso de los índices de servicio inicial (p_i) y final (p_f) se establecieron los valores de 4.2 y 2.0, respectivamente, dando como resultado final una diferencia de servicio (ΔPSI) de 2.2.

Parámetros estructurales y de drenaje

Cada capa que constituye al pavimento posee su propio parámetro estructural (a_i) y de drenaje (m_i) en función de las propiedades y características de los materiales que las conforman, como es el valor relativo de soporte o CBR, el módulo resiliente (M_R) y la capacidad que tienen para drenar el agua en condiciones de saturación.

En primer lugar, se tiene la carpeta asfáltica para la cual se respetó la sugerencia que la AASHTO propone para el M_R que es de 450,000 psi, con base en la Figura 2.38 se obtiene el a_1 que es de 0.44 y cabe señalar que esta primera capa no posee coeficiente de drenaje.

Seguidamente se encuentra la capa base a la que se le asignó un CBR de 80% con base en la norma *N.CMT.4.02.002/21* de la SCT, con ayuda de la Figura 2.39 se encuentra el valor del M_R igual a 29,000 psi y, sustituyendo en la ecuación 15, el a_2 resulta de 0.13. Esta capa si posee coeficiente de drenaje m_1 que, de acuerdo con las indicaciones que establece la metodología AASHTO, éste obtiene un valor de 1.

La siguiente capa es la subbase, de acuerdo con la norma *N.CMT.4.02.001/21* de la SCT, se le estableció un valor de CBR del 50% para que, al utilizar la Figura 2.40 se obtenga un valor de M_R igual a 18,000 psi y al sustituir en la ecuación 16, resulte

un a_3 de 0.13. Por otro lado, hay que recordar que $m_1 = m_2$ (donde el subíndice 1 pertenece a la capa base y el subíndice 2 a la capa subbase) por lo tanto, m_2 es igual a 1.

Finalmente, a la capa subrasante se le asigna un CBR igual a 20% con base en la norma *N.CMT.1.03/21* de la SCT y que al sustituir en la ecuación 28 se obtiene un M_R de 13,201 psi.

$$M_r(\text{psi}) = 4326 \ln(\text{CBR}) + 241 \quad (28)$$

Para CBR > 20%

Es preciso señalar que también la ecuación 28 es sugerida por la guía AASHTO.

Número estructural y espesores de diseño

El número estructural (SN) de diseño se calcula para cada capa del pavimento con base en las variables antes mencionadas prestando una especial atención al M_R que se va a sustituir en la ecuación 7 ya que, si se pretende obtener el SN_1 de la carpeta asfáltica se debe usar el M_R de la capa inmediatamente debajo de la misma, es decir, la capa base. Lo mismo aplica para el SN_2 de la capa base, se debe sustituir el valor del M_R de la capa subbase y así se repite el mismo proceso para el SN_3 de la subbase recordando que la capa subrasante no se considera en la metodología AASHTO, es decir, no tiene SN.

Al sustituir todos los datos en la ecuación 7 y empleando una hoja de cálculo Excel con la función “Buscar objetivo”, se obtienen los valores de 0.84, 1.07 y 1.24 para SN_1 , SN_2 y SN_3 , respectivamente.

Por otra parte, el número estructural de pavimento se calcula con apoyo de la ecuación 18 y, al igual que el número estructural de diseño, este número pertenece a cada capa. Para obtenerlos es necesario conocer los coeficientes estructurales y de drenaje del material de cada capa, sin embargo, el espesor empleado en el cálculo no es un valor único, éste puede ser modificado según los requerimientos del proyecto o el criterio del ingeniero a cargo del diseño. Para saber cuál es el espesor que cumplirá con las condiciones más favorables del proyecto se emplean los pasos de las ecuaciones 19 a 23, teniendo así una amplia gama de propuestas.

Después de efectuar los pasos necesarios para el diseño, previamente mencionados, los espesores que se obtuvieron para la carpeta asfáltica, la base y subbase fueron de 5 cm en las tres capas, por lo que es necesario modificar el valor de las dos últimas de acuerdo con la normativa del país, utilizando las gráficas granulométricas de las Figuras 5.2 y 5.3, ya que de acuerdo con la norma *N.CTR.CAR.1.04.006/20* de la SCT, la carpeta asfáltica si cumple con el espesor mínimo. En el caso de la subrasante, el espesor mínimo estará en función de la norma *N.CMT.1.03/21* de la SCT.

De esta manera, en la Tabla 5.12 se muestran los espesores finales del proyecto.

Tabla 5.12. Espesores finales por el método AASHTO.

Capa	Espesor (cm)
Carpeta asfáltica	5
Base	15
Subbase	15
Subrasante	20

5.4.3. Solución por el método de la UNAM (DISPAV-5)

Con ayuda del software DISPAV-5, desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se diseñó el pavimento del proyecto para comparar los resultados con el método AASHTO. En la Figura 5.5 se observa el menú principal y para comenzar a introducir datos y diseñar, es necesario dar clic en “Dispav-5”.



Figura 5.5. Opción “Dispav-5”.

Como se ve en la Figura 5.6, se selecciona la primera opción ya que, aunque se trata de un camino rural, no se desea que el pavimento sufra algún tipo de deformación durante su tiempo útil.

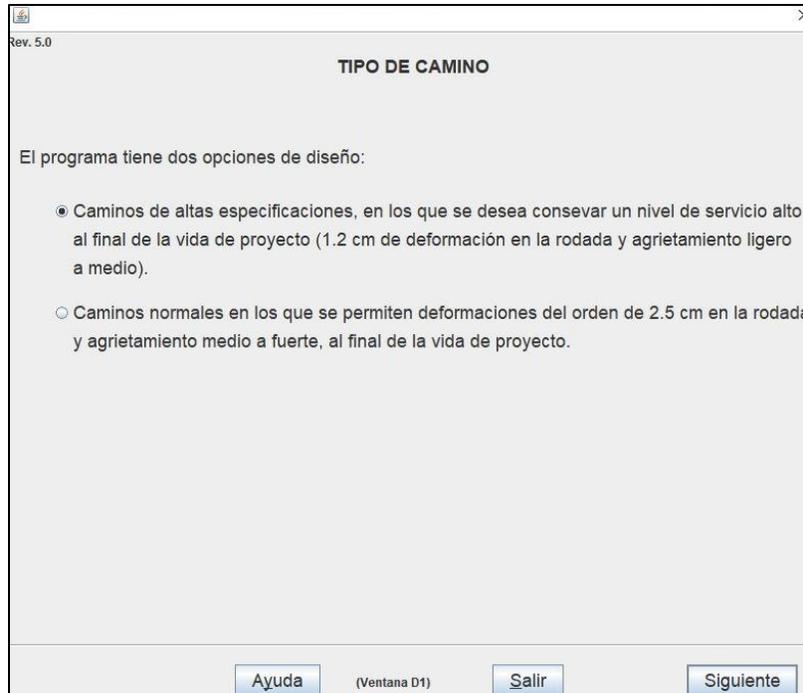


Figura 5.6. Selección del tipo de camino.

En la Figura 5.7 se muestran dos opciones para el tránsito, se escoge la segunda ya que el software va a hacer su propio cálculo y de esta forma se podrá hacer una comparativa con el resultado obtenido por el método AASHTO.

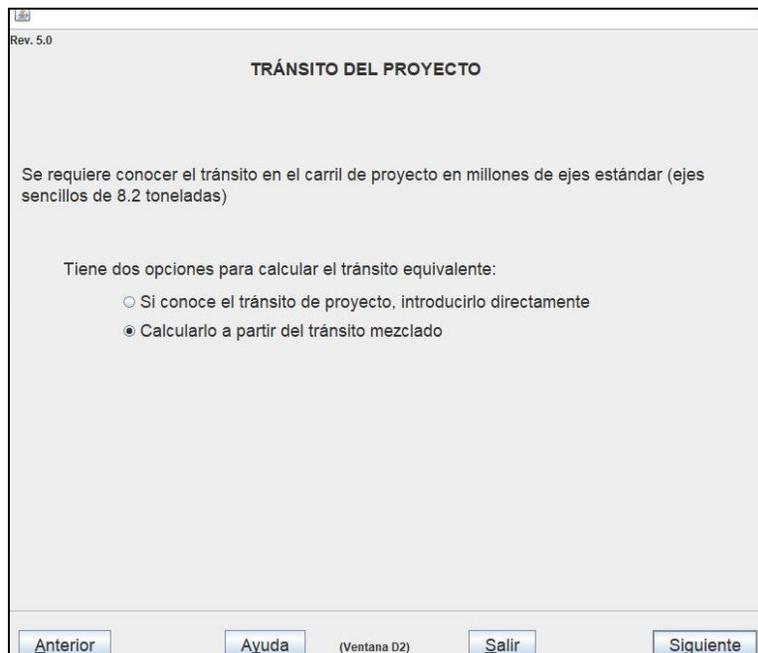


Figura 5.7. Tipo de cálculo del tránsito.

En la Figura 5.8 se puede observar los datos que el Dispav-5 solicita que se introduzcan como son el TDPA, la tasa de crecimiento y el periodo de diseño. Al

seleccionar el tipo de camino se observa que el software está basado en la normativa de 1997, sin embargo, esto no es problema porque más adelante se pueden modificar los datos necesarios, acordes a la normativa vigente.

Rev. 5.0

TRÁNSITO ACUMULADO EN VEHÍCULOS TDPA

Introduzca los siguientes datos :

TDPA en el carril del proyecto (en vehículos) : 350

Tasa de crecimiento anual del tránsito en % : 3.5

Período de proyecto, en años : 10

y el tipo de camino

Utilizar Norma del decreto publicado el 7 de enero de 1997 3. Tipo D

Actualizar pesos según la Norma NOM-012-SCT-2008

Anterior Ayuda (Ventana D3) Salir Siguiete

Figura 5.8. Datos para del tránsito.

En la Figura 5.9 se introduce la composición de los vehículos registrados durante el estudio de tránsito.

Rev. 5.0

COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO

Introduzca el porcentaje de cada tipo de vehículo.

Auto

A: 90.7

Autobús

B2:

B3:

B4:

Camión

C2: 5.6

C3: 3.7

La suma hasta el momento es de 100.0%

La suma debe ser igual a 100 %

Anterior (Ventana D4) Salir Siguiete

Figura 5.9. Composición del tránsito.

En la Figura 5.10, el software requiere saber cuál es el porcentaje de vehículos cargados y vacíos, aunque eso es un tanto difícil de saber pues se necesita de un estudio e investigación más exhausta y profunda para determinar dichos valores. Por esta razón, se recurre a la segunda opción donde se escoge un valor promedio a partir de las sugerencias que el Dispav-5 expone.

Rev. 5.0

TASA DE CRECIMIENTO

Se requiere conocer el porcentaje de camiones cargados en el carril de proyecto.

Se tienen dos opciones:

- Emplear un porcentaje de vehículos cargados para cada tipo de vehículo.
- Emplear un porcentaje de vehículos cargados aplicable a todos los vehículos comerciales (un porcentaje promedio).

Se sugiere emplear una proporción de camiones cargados entre 60 y 80%

Introduzca una proporción de camiones cargados que juzgue correcta (en%):

Para los vehículos tipo A se supone que siempre están cargados. Los autobuses y vehículos de carga (tipos B,C y T) pueden circular vacíos en un cierto porcentaje de casos.

Anterior (Ventana D5) Salir Siguiente

Figura 5.10. Proporción de vehículos cargados y vacíos.

Como se puede ver en las Figuras 5.11 y 5.12, el software solicita que se introduzcan los pesos de los vehículos que fueron registrados durante el estudio de tránsito, en este caso corresponde a los vehículos C2 y C3, respectivamente. Estos pesos deben ser los que establece la norma *NOM-012-SCT-2-2017*, del Diario Oficial de la Federación (DOF).

Los valores de presión de inflado se dejan por defecto, tal como lo sugiere el Dispav-5, ya que este valor es muy similar en otras fuentes de información, como la guía AASHTO, por mencionar alguna.

Rev. 5.0

CAMIÓN C2

Eje	1	2
Tipo	Sencillo	Sencillo
Carga*	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="8"/>
Presion**	<input type="text" value="6.0"/>	<input type="text" value="6.0"/>

*Carga total del eje, sencillo, doble, triple, en toneladas
 **Presion del inflado en condiciones de servicio, en kg/cm2

Se está utilizando la Norma de 1997

En algunos casos la carga por eje se ajustó para no sobrepasar la carga máxima total del vehículo.
 Para cargas extraordinarias se puede modificar la carga y/o la presión de inflado, haga uso de las casillas proporcionadas.

(Ventana D7)

Figura 5.11. Pesos por eje del vehículo C2.

Rev. 5.0

CAMIÓN C3

Eje	1	2
Tipo	Sencillo	Doble
Carga*	<input type="text" value="5.0"/>	<input type="text" value="11"/>
Presion**	<input type="text" value="6.0"/>	<input type="text" value="6.0"/>

*Carga total del eje, sencillo, doble, triple, en toneladas
 **Presion del inflado en condiciones de servicio, en kg/cm2

Se está utilizando la Norma de 1997

En algunos casos la carga por eje se ajustó para no sobrepasar la carga máxima total del vehículo.
 Para cargas extraordinarias se puede modificar la carga y/o la presión de inflado, haga uso de las casillas proporcionadas.

(Ventana D7)

Figura 5.12. Pesos por eje del vehículo C3.

Una vez que se han establecido los pesos de los ejes de los vehículos y la presión de inflado de las llantas, el software calcula los coeficientes de daño para cada eje a determinadas profundidades, como lo muestran las Figuras 5.13 y 5.14.

Rev. 5.0

**COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA DEL VEHÍCULO CARGADO
(O DE DAÑO RELATIVO)**

CAMIÓN C2

EJE	PROFUNDIDAD					
	5	15	30	60	90	120
1	1	0.29	0.11	0.07	0.07	0.06
2	1.19	1.05	0.94	0.89	0.88	0.87
TOTAL	2.2	1.34	1.05	0.96	0.94	0.94

Anterior tipo de vehiculo Siguiete tipo de vehiculo

Anterior (Ventana D8) Salir Siguiete

Figura 5.13. Factores de daño del vehículo C2.

Rev. 5.0

**COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA DEL VEHÍCULO CARGADO
(O DE DAÑO RELATIVO)**

CAMIÓN C3

EJE	PROFUNDIDAD					
	5	15	30	60	90	120
1	1	0.29	0.11	0.07	0.07	0.06
2	2.1	0.76	0.28	0.21	0.2	0.19
TOTAL	3.1	1.05	0.39	0.28	0.26	0.26

Anterior tipo de vehiculo Siguiete tipo de vehiculo

Anterior (Ventana D8) Salir Siguiete

Figura 5.14. Factores de año del vehículo C3.

Después de los coeficientes de daño, la Figura 5.15 muestra qué tanto tráfico soporta cada capa a profundidades ya establecidas en el propio análisis de la metodología de la UNAM. Los valores para daño superficial y profundo se dejan por defecto, tal como lo sugiere el Dispav-5.

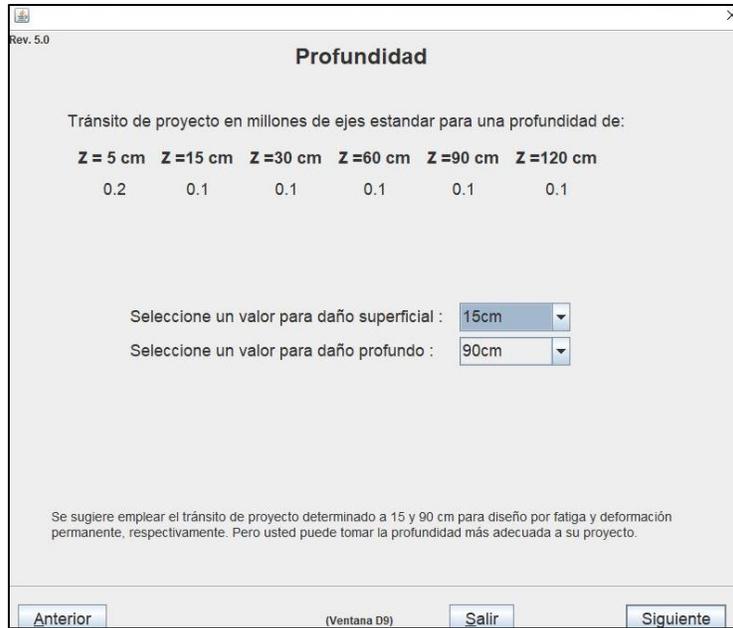


Figura 5.15. Tránsito proyectado a diferentes profundidades.

En la Figura 5.16 se muestra el tránsito proyectado en millones de ejes equivalentes para daño por fatiga y deformación en capas estabilizadas y no estabilizadas, respectivamente. Se observa que, para ambos casos, se obtuvo un valor de 0.1 millones de ejes equivalentes.



Figura 5.16. Tránsito proyectado por fatiga y por deformación.

A continuación, en la Figura 5.17 se escogen las capas que conformarán a la estructura del pavimento.



Figura 5.17. Selección de capas del pavimento.

Como lo muestra la Figura 5.18, se introducen los datos de CBR, módulo resiliente y relación de Poisson (ν). Los valores de CBR y módulo resiliente de la carpeta, base, subbase y subrasante se conocían desde antes, ya que fueron obtenidos mediante la metodología AASHTO. Sin embargo, los valores para la terracería se obtuvieron de la siguiente manera: Para el CBR se escogió el valor establecido por la norma *N-CMT-1-01/21*, de la SCT; para el módulo resiliente se utiliza la fórmula $E = 130CBR_z^{0.7}$ que el mismo Dispav-5 sugiere. Por otro lado, los valores de la relación de Poisson también fueron sugeridos por el software y se decidió aceptarlos.

Rev. 5.0

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Capa	CBRz %	CBRp %	Módulo de Rigidez (Kg/cm2)	Poisson
1.Carpeta			31638.13	0.35
2.Base granular (min.80%)	80	80.0	2038.9	0.35
3.Sub-base (min.25%)	50	30.0	1265.52	0.45
4.Subrasante (min.15%)	20	20.0	928.12	0.45
5.Terracería (min.3%)	5	5.0	401	0.45

Se proponen valores para las relaciones de Poisson de cada capa, puede modificarlas si así lo desea.

Buttons: Anterior, Ayuda (Ventana D13), Salir, Siguiete

Figura 5.18. Datos de los materiales.

Continuando con el diseño, el programa pregunta cuál será el nivel de confianza del proyecto por lo que, en este caso, se decidió dejar el sugerido como se observa en la Figura 5.19.

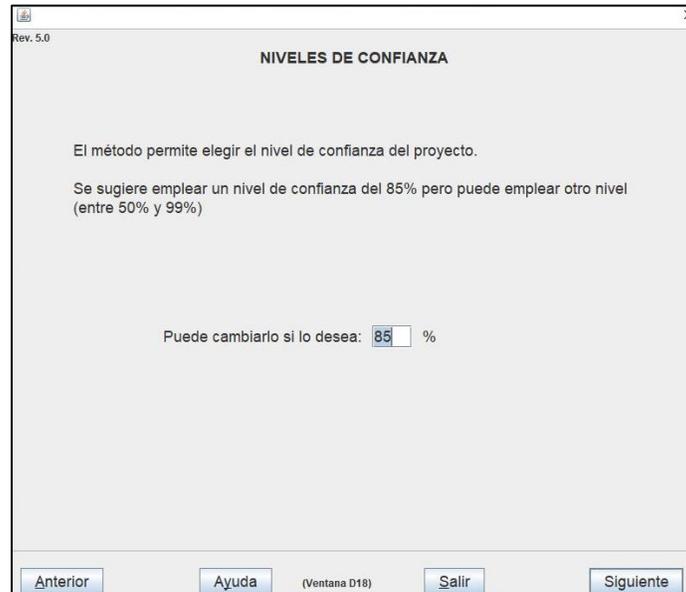


Figura 5.19. Nivel de confianza.

Finalmente, en la Figura 5.20 se muestran los resultados finales del diseño que de acuerdo con el cálculo el espesor de la carpeta dio igual a cero, sin embargo, esto no significa que haya algún error en el diseño o que los datos fueron errados, sino que, de acuerdo al tránsito tan bajo que se está manejando para este proyecto, no es necesaria una carpeta asfáltica pues sólo basta un riego asfáltico por encima de la capa base para que funcione correctamente el camino carretero.

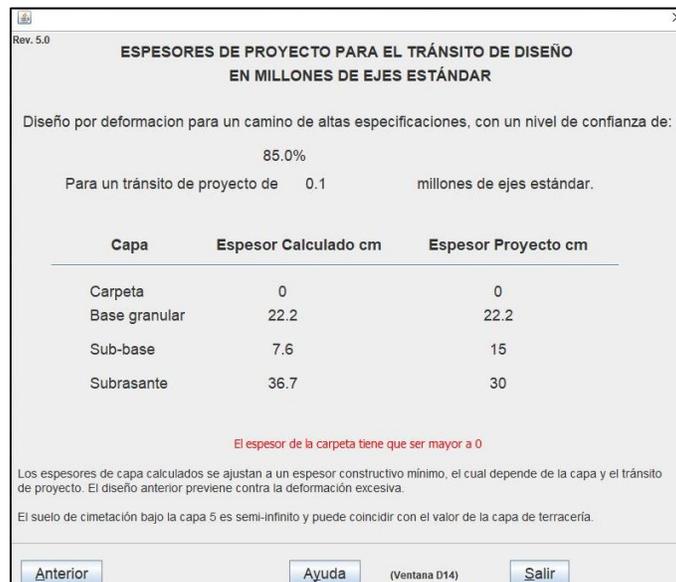


Figura 5.20. Resultados finales.

Sin embargo, la finalidad de este trabajo es desarrollar el diseño de un pavimento flexible, por lo cual se hará uso de la opción “Revpav-5” como se muestra en la Figura 5.5, donde se van a introducir nuevamente los datos de las Figuras 5.17 y 5.19 para saber si este nuevo diseño cumple al igualar o superar los valores de tránsito proyectado para daño por fatiga y deformación (Figura 5.16).

Una vez seleccionada la opción “Revpav-5, aparece una ventana igual a la de la Figura 5.6 donde se escoge la misma opción. En el siguiente paso, se deben seleccionar las capas que conformaron al pavimento, como lo muestra la Figura 5.21.

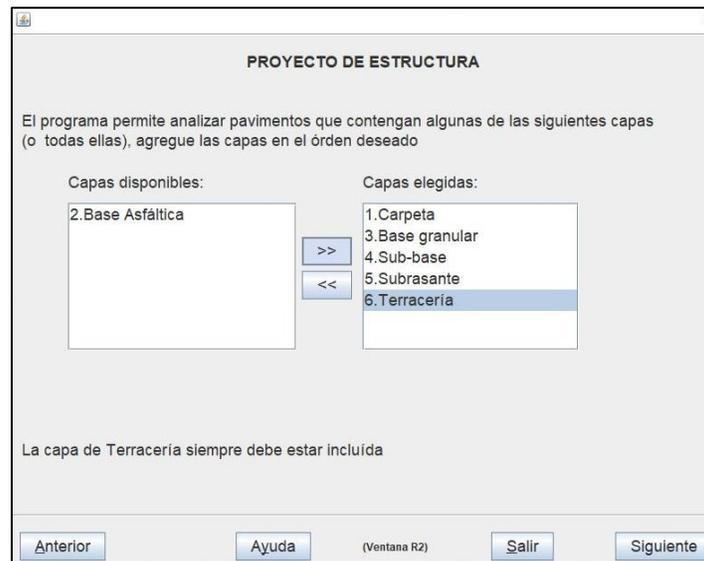


Figura 5.21. Capas del pavimento.

Al seleccionar las capas que conformarán al pavimento, el software pide que se introduzcan los mismos datos de la Figura 5.18, apareciendo un resumen de datos como se muestra en la Figura 5.22.

DATOS DEL PROYECTO				
Camino de altas especificaciones.				
Capa	Espesor cm	Módulo kg/cm ²	VRSz %	Poisson
Carpeta	5	31638		0.35
Base granular	15	2039	80	0.35
Sub-base	15	1266	30	0.45
Subrasante	20	928	20	0.45
Terracería	Semi-inf	401	5	0.45

Anterior (Ventana R4) Salir Siguiente

Figura 5.22. Resumen de los datos del proyecto.

Al igual que en la Figura 5.19, el siguiente paso es introducir el nivel de confianza, pero se deja el valor que el Dispav-5 sugiere, es decir 85% y nuevamente aparece otro resumen como se muestra en la Figura 5.23.

RESUMEN DE DATOS DE ENTRADA			
Carga:	eje sencillo estándar de 8.2 ton.		
Presión de contacto:	5.8 kg/cm ²		
Nivel de confianza:	85.0%		
	Módulo kg/cm ²	Relación Poisson	Espesor cm
Carpeta	31638	0.35	5
Base granular	2039	0.35	15
Sub-base	1266	0.45	15
Subrasante	928	0.45	20
Terracería	401	0.45	Semi-inf.

Anterior (Ventana R6) Salir Siguiente

Figura 5.23. Resumen de los datos generales del proyecto.

Los resultados del diseño como lo muestra la Figura 5.24.

RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO						
Camino de altas especificaciones.						
Nivel de confianza en el diseño: 85%						
Capa	H cm	VRSz %	E kg/cm ²	Poisson	Vida Previsible	
					Def	Fatiga
Carpeta	5		31638	0.35		0.2
Base granular	15	80	2039	0.35	0.49	
Sub-base	15	50	1266	0.45	0.19	
Subrasante	30	20	928	0.45	1.11	
Terracería	Se...	5	401	0.45	0.13	
Vida Previsible						
Deformación			0.13			
Fatiga			0.2			
Imprimir Resultados						
Anterior		(Ventana R7)			Salir	

Figura 5.24. Datos finales del diseño.

De esta manera, en la Tabla 5.13 se muestran los espesores finales del proyecto.

Tabla 5.13. Espesores finales por el Dispav-5.

Capa	Espesor (cm)
Carpeta asfáltica	5
Base	15
Subbase	15
Subrasante	30

5.4.4. Sección estructural final del pavimento

Llevado a cabo el análisis del pavimento por el método AASHTO y el método de la UNAM (Dispav-5) los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14. Comparación de los resultados finales entre los métodos AASHTO y UNAM (Dispav-5).

Capa	Método AASHTO (cm)	Método UNAM (Dispav-5) (cm)
Carpeta asfáltica	5	5
Base	15	15
Subbase	15	15
Subrasante	20	30

Es claro que no existe una gran diferencia entre los resultados de un método y otro ya que el único valor de capa que cambia es la subrasante pues los demás se mantienen igual. Sin embargo, el método AASHTO, a diferencia del Dispav-5, no considera a la subrasante en su diseño por lo que es necesario asignarle un valor de manera independiente lo que ocasiona que el análisis de la estructura no sea

completo. Por otro lado, el método de la UNAM o Dispav-5 sí considera a la subrasante en su análisis de diseño por lo que los valores que muestra el software están mejor respaldados.

Además, el diseño que propone el Dispav-5 es más conservador por lo que se espera que cumpla eficientemente con el tránsito proyectado concluyendo la geometría final como se muestra en la Figura 5.25.

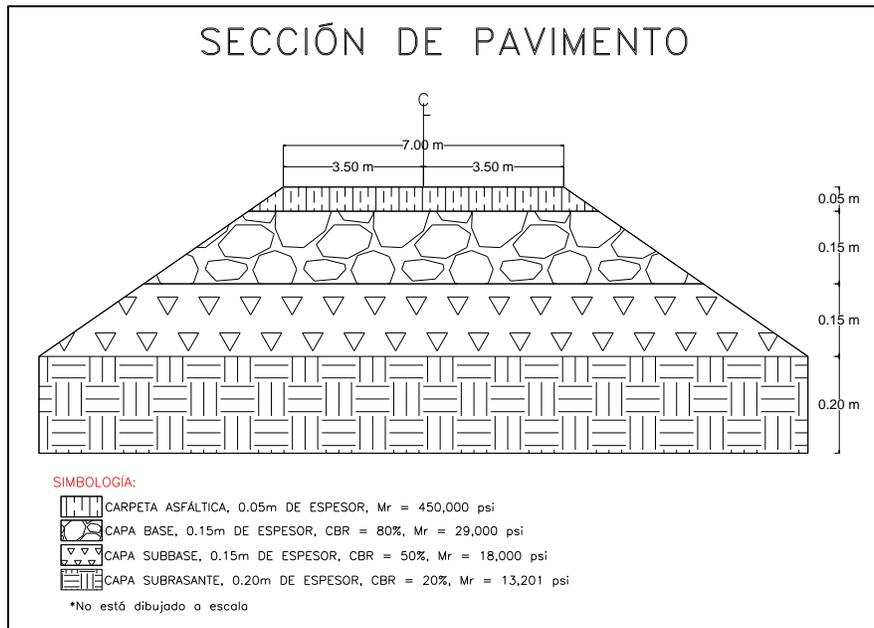


Figura 5.25. Geometría final.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ejecutar un proyecto de ingeniería civil es una actividad que requiere la participación de diversas profesiones y oficios que deben trabajar a la par y de manera coordinada para que los errores sean reducidos al mínimo posible, aunque esto puede resultar muchas veces imposible. Aun así, como ingenieros civiles es nuestra responsabilidad dar solución a los problemas y retos que, por alguna razón, las circunstancias nos ponen enfrente y es ahí cuando debemos demostrar nuestras habilidades para la resolución rápida y eficiente de dichas dificultades pues las obras que diseñamos y construimos son en beneficio de la sociedad y consecuentemente, del país.

Sin embargo, el crear consciencia de dichos errores y preguntarse en dónde ocurrieron o por qué no se pudieron evitar ayudan a detectar los puntos fuertes y débiles que existen en el desarrollo de la obra, ayudan a generar experiencia por parte de todos los involucrados y se crean conclusiones sólidas que reflejen el aprendizaje obtenido, así como recomendaciones para futuros ingenieros que se involucren en proyectos relacionados. A continuación, se enumeran las conclusiones y observaciones que derivaron durante la ejecución de este trabajo.

1. A pesar de las irregularidades respecto a la topografía del terreno y la presencia de macizo rocoso, la zona no presenta grandes problemas que puedan interferir en la construcción de la carretera pues el terreno es estable.
2. De las pruebas de laboratorio realizadas en las muestras obtenidos de los PCA para conocer su propiedades índice y mecánicas, se obtuvo que:
 - Estrato 1: material de capa vegetal; se deberá retirar por no cumplir con los parámetros de calidad.
 - Estrato 2: arenas arcillosas o arcillas; se podría utilizar para la capa de subrasante
 - Estrato 3: roca caliza; se podría utilizar para la conformación de la base o sub-base
3. Los sondeos se realizaron en el mes de mayo del año 2021; el objetivo perseguido con este trabajo fue el de determinar las condiciones estratigráficas generales del sitio en estudio, al menos hasta 3.00 m de profundidad, como se mencionó anteriormente, conforme fue planteado en el programa original de exploración, para cumplir con las especificaciones establecidas por la dependencia.
4. En todos los pozos a cielo abierto practicados se realizó un muestreo de tipo alterado e inalterado, recuperando exclusivamente muestras representativas

de las paredes de los diferentes materiales detectados en cada pozo. Todas las muestras recuperadas se empacaron adecuadamente para evitar, en lo posible, la pérdida en el contenido natural de agua, y se identificaron correctamente, para ser enviadas al laboratorio de mecánica de suelos.

5. Adicionalmente a los trabajos de exploración realizados para la construcción del camino, se requirió ubicar dos bancos de materiales, el primero se localizó en el km 1+390, denominado banco “El Cortijo” y el segundo, banco “Boca del Cerro”, se encontró a 36.30 km del sitio, se muestrearon para identificar la calidad de los materiales, con finalidad de decidir su posible uso para la conformación de terracerías y pavimentos, de los cuales, ambos bancos cumplen con la calidad.
6. Los sondeos en los bancos de materiales se ejecutaron mediante la intervención de maquinaria especializada de tipo rotatorio para suelos duros o materiales rocosos realizando perforaciones mediante giros o revoluciones para extraer núcleos de roca los cuales se recomendaron triturar para realizar su respectiva prueba de CBR. Se planearon 4 sondeos por cada banco al menos hasta 3.00 m de profundidad, conforme fue planteado en el programa original de exploración, para cumplir con las especificaciones establecidas por la Dependencia.
7. Por causas relacionadas al presupuesto del proyecto, la exploración geotécnica para pavimentos no se pudo concretar por completo como lo señalan las normas *N.CMT.4.02.002/21* y *N.CMT.4.02.001/21* de la SCT, omitiendo las siguientes pruebas:
 - Contenido de arenas
 - Límites de consistencia
 - LWD
 - Muestreo para materiales para revestimiento
 - Partículas alargadas y lajeadas

Por lo que es necesario realizarlas para tener un panorama completo de la calidad del material extraído de los bancos y saber si el tratamiento planteado anteriormente es el correcto o necesita otro.

8. Se procesó la información resultante del estudio geotécnico de terracerías que es fundamental para el llenado de las tablas denominadas “Informe de Estudio Geotécnico” o “Tabla de Datos Para el Cálculo de la Curva Masa”, donde se emiten recomendaciones para el proyecto de terracerías para el uso de los materiales de la zona en la subrasante de la carretera, el tratamiento que requiere y su presupuesto de acuerdo con su clasificación de corte o terraplén.

-
-
9. De acuerdo con el estudio hidrológico, la zona de estudio no se encuentra en una zona inundable por lo que se propone la elaboración de una carpeta asfáltica densa, la cual deberá satisfacer lo siguiente: Mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados con tamaño nominal entre 37.5 mm y 9.5 mm, que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la cláusula D de la norma *N-CMT-4-04/17 Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas de pavimentos nuevos*, de la SCT.
 10. El estudio de tránsito indicó que la velocidad de proyecto es de 50 km/h, su tasa de crecimiento es de 3.5% y su TDPA de 108 vehículos, sin embargo, éste último tuvo que ser modificado con base en la Tabla 5.8 “Rangos de velocidad de proyecto y TDPA”, del IMT, para poder tener un diseño de pavimento óptimo y así cumplir con los objetivos de este proyecto, de otro modo sólo hubiera bastado con una capa base estabilizada y un riego de asfalto de espesores mínimos. Como consecuencia del cambio del TDPA, el camino pasó de una carretera tipo E, a tipo D.
 11. El método AASHTO relaciona parámetros de confiabilidad, de servicio, de drenaje y de materiales; así como datos del tránsito como son el factor de distribución de carril y sentido, de daño y de crecimiento, para ejecutar el diseño de la estructura del pavimento. Por otro lado, el Dispav-5 permite la entrada de datos de tránsito y parámetros de materiales, los cuales se pueden modificar fácilmente, para obtener como resultado final el diseño del pavimento. Se recomienda usar más de un método de diseño en trabajos relacionados al diseño de pavimentos para tener diferentes propuestas y así poder comparar los resultados obtenidos. Es importante señalar que un método no es mejor que el otro ya que la toma de decisiones por parte del diseñador debe estar en función de su criterio ingenieril y de los resultados obtenidos durante el estudio geotécnico previo.
 12. La propuesta seleccionada que da solución a los objetivos planteados estuvo en función de la subrasante ya que el Dispav-5 sí contempla, dentro de su metodología, el diseño de esta capa. Además, los resultados que se obtuvieron por el método AASHTO tuvieron que ser modificados de acuerdo con la normativa de nuestro país por lo que los resultados finales fueron muy parecidos a los obtenidos por el Dispav-5.
 13. Se recomienda el análisis de para la cimentación de las obras de drenaje complementario propuestas en el estudio hidráulico de este proyecto para garantizar la calidad y el funcionamiento de la estructura de pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

Agudelo Ospina, J.J. (2002). *DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS. Ajustado al Manual Colombiano*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA – SEDE MEDELLÍN FACULTAD DE MINAS. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/disec3b1o-geomc3a9trico-de-vc3adas-john-jairo-agudelo.pdf>

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Autoedición. <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>

Anupoju, S. (s.f.). *Composition and Structure of Rigid Pavement*. THE CONSTRUCTOR Building ideas. <https://theconstructor.org/transportation/rigid-pavement-composition-structure/5495/>

Arroyave, M.P., Gómez, C., Gutiérrez, M.E., Múnera, D.P., Zapata, P.A., Vergara, I.C., Andrade, L.M. y Ramos, K.C. (2006). IMPACTOS DE LAS CARRETERAS SOBRE LA FAUNA SILVESTRE Y SUS PRINCIPALES MEDIDAS DE MANEJO. *Revista EIA*, (5), 45-57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149216902003>

Bañón Blázquez, L. y Breviá García, J.F. (2000). *Manual de carreteras, Volumen II: construcción y mantenimiento*. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A. <http://hdl.handle.net/10045/1787>

Bickel, S., Catterson, T., Crow, M., Fisher, W., Lewandowski, A., Stoughton, M. y Taylor, G. (2010). *Guía Ambiental para Actividades de Desarrollo en Latinoamérica y el Caribe*. (Trad. Gabriel Escobar). USAID. (Trabajo original publicado en 2003). https://usaidgems.org/Documents/EGSSAALAC/Spanish_Resources/Gu%C3%ADa%20Amb%20LAC%20-%20documento%20entero,%20LAC%20Env%20Guidelines%20-%20sin%20MYPEs%20con%20EMPR.pdf

Campoy, L. y Heberto, P. (1996). *Diseño y construcción del pavimento de concreto hidráulico bulevar Ignacio Salazar, Hermosillo, Sonora*. Universidad de Sonora. <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=8161>

Candelas Ramírez, L. (2020). *Curva Masa*. UNAM. http://cozumel.fi-a.unam.mx/~luisr/licenciatura_ic/1608_mt/1608_material/2.6_Utilizacion%20de%20la%20curva%20masa%20en%20la%20seleccion%20de%20equipo.pdf

Cárdenas Grisales, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras*. ECOE.

COLETANCHE. (s.f.). *Cunetas*. COLETANCHE. <http://www.coletanche.com/es/references/transport/routes/172>

Corro, S. y Prado, G. (1999). *DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS, INCLUYENDO CARRETERAS DE ALTAS ESPECIFICACIONES*. Instituto de Ingeniería, UNAM. https://datosabiertos.unam.mx/CCUD_DOR_WS-war/resources/doi/4945567d96f6492b

Das, B.M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. (Trad. Javier León Cárdenas). Instituto Politécnico Nacional. (Trabajo original en 2013).

Dawson, A. (2008). *Water in Road Structures. Movement, Drainage and Effects*. Springer. <https://roadsforwater.org/wp-content/uploads/2013/10/Andrew-Dawson-Water-in-Road-Structures-Movement-Drainage-Effects-2008.pdf>

Deroussen, M. (2005). *MODELOS EMPIRICOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA NUEVAS CONSTRUCCIONES*. [Tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey]. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/567179>

Diario Oficial de la Federación. (1994). *REGLAMENTO SOBRE EL PESO, DIMENSIONES Y CAPACIDAD DE LOS VEHÍCULOS DE AUTOTRANSPORTE QUE TRANSITAN EN LOS CAMINOS Y PUENTES DE JURISDICCIÓN FEDERAL*. Autoedición. https://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/9_Reglamento_sobre_el_Peso__Dimensiones_y_Capacidad_de_los_Vehiculos_de_Autotransporte.pdf

Diario Oficial de la Federación. (2017). *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*. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5508944&fecha=26/12/2017

Duque Escobar, G. (2017). *Manual de geología para ingenieros*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3145/manualgeo.pdf>

Ergueta Acebey, F. (2019a). *HIDROLOGÍA DE LAS CARRETERAS – DRENAJES. PRESUPUESTO & CONSTRUCCIÓN*, (68), 87-94. <http://www.revistapyc.com/Articulos/Grupo68/ART-68-I.pdf>

Ergueta Acebey, F. (2019b). *HIDROLOGÍA DE LAS CARRETERAS – DRENAJES. PRESUPUESTO & CONSTRUCCIÓN*, (69), 89-96. <http://revistapyc.com/Articulos/Grupo69/ART-69-I.pdf>

Garibay, M.T. (2005). *Determinación de límite plástico*. <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Ensayo%20de%20Limite%20Plastico.PDF>

Garnica Anguas, P. y Hernández Domínguez, R. (2013). *Manual de Usuario, IMT-PAVE 1.1*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt53.pdf>

Gómez Lora, W. (2014). *Hidrología en Carreteras y Caminos*.
https://www.academia.edu/21258569/Hidrologia_en_carreteras_y_caminos

Hamakareem, M.I. (s.f.). *Types of Concrete Pavements - Their Construction Details and Applications*. THE CONSTRUCTOR Building ideas.
<https://theconstructor.org/concrete/types-concrete-pavements-construction-applications/17182/>

Hernández Michaca, J.L., Pisanty Levy, J., Sánchez Granaos, V.M. y Roladán Ortiz, M. (2000). IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS CARRETEROS EN ESCURRIMIENTO DEL AGUA SUPERFICIAL. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt141.pdf>

Hill, J. (2015). *The Environmental Impact of Roads*. Environmental SCIENCE.
<https://www.environmentalscience.org/roads>

Ingeniería y Economía del Transporte. (s.f.). *Apéndice 5. Estudio de préstamos y vertederos*.
https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/carreteras/EI1-AV-08_mod/DOC%2004%20ANEJO%2018%20ESIA/APENDICES/Apendice_5_Prestamos.pdf

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (22 de febrero de 2018). *¿En qué consiste un levantamiento topográfico?*. Recuperado el 4 de septiembre de 2021.
<https://www.igac.gov.co/es/contenido/en-que-consiste-un-levantamiento-topografico>

Instituto Mexicano del Transporte. (7 de junio de 2022). *Recomendaciones de actualización de algunos elementos del proyecto geométrico de carreteras*. Instituto Mexicano del Transporte NOTAS.
[https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=296&IdBoletin=102#:~:text=Son%20carreteras%20de%20un%20solo,mil%20\(3%20000\)%20veh%C3%ADculos.](https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=296&IdBoletin=102#:~:text=Son%20carreteras%20de%20un%20solo,mil%20(3%20000)%20veh%C3%ADculos.)

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (2010). *Tenosique*. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México.
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM27tabasco/index.html>

Instituto para la Seguridad de las Construcciones. (2008). *NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL DISEÑO Y EJECUCIÓN DE OBRAS E INSTALACIONES HIDRÁULICAS*.
<https://www.isc.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/590/149/b41/590149b4136ac989807135.pdf>

Jamal, H. (2017). *Types of Pavements - Flexible Pavement / Rigid Pavement*. Aboutcivil.com. <https://www.aboutcivil.org/types-of-pavements.html>

Kastridis, A. (2020). Impact of Forest Roads on Hydrological Processes. *Forests*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/f11111201>

Keller, G. y Sherar, J. (2004). *INGENIERÍA DE CAMINOS RURALES, Guía de Campo para las Mejores Prácticas de Administración de Caminos Rurales*. (Trad. Instituto Mexicano del Transporte). USAID. (Trabajo original publicado en 2003). <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/Libro/lb4.pdf>

Leiva Villacorta, F. (2006). *NUEVA GUÍA DE DISEÑO MECANÍSTICA-EMPÍRICA PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO (VISTAZO A LA GUÍA 2002, PROYECTO NCHRP I 37A)*. Universidad de Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME). https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/438/GUIA_DISENO_MECANISTICA_EMPIRICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lewis, P. y Hajji, A. (2012). *Estimating the Economic, Energy, and Environmental Impact of Earthwork Activities*. Construction Research Congress 2012. <https://doi.org/10.1061/9780784412329.178>

Martínez D., W. (2014). Evaluación del impacto ambiental en obras viales. *Negotium*, 10(29), 5-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78232555002>

Martínez Soto, A. y Damián Hernández, S.A. (1999) *CATALOGO DE IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LAS CARRETERAS Y SUS MEDIDAS DE MITIGACION*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt133.pdf>

Matintupa, A., Saarenketo, T., Ullberg, J. y Pyhähuhta, M. (s.f.). *ENVIRONMENTAL ISSUES RELATED TO ROAD MANAGEMENT*. ROADEX Network for better rural roads. <https://www.roadex.org/e-learning/lessons/environmental-considerations-for-low-volume-roads/environmental-issues-related-to-road-management/>

Menéndez Acurio, J.R. (2009). *Ingeniería de Pavimentos – Materiales, Diseño y Conservación*. FONDO EDITORIAL ICG. https://kupdf.net/download/4-ingenieria-de-pavimentos-materiales-diseo-y-conservacion-jose-rafael-menendez-acurio-1ra-edicion_5ca2d767e2b6f5035e4ffe0f_pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *MANUAL PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO*. Autoedición. http://www.carreteros.org/hispana/peru/11_peru.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (s.f.). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE*. Autoedición. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de PAVIMENTOS - Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías*. Universidad Católica de Colombia.

<https://samustuto.files.wordpress.com/2014/09/ingenieric3ada-de-pavimentos-para-carreteras-tomo-i-ed-3ra-alfonso-montejo-fonseca.pdf>

Múnera Miranda, J.C. y Aguilar Moya, J.P. (2020). Estimación del módulo resiliente para materiales granulares de Costa Rica. *Revista Infraestructura Vial*, 21(37), 12-20. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/42614/42901>

Navarro Hudiel, S. (2011). *Diseño y Cálculo Geométrico de Viales – Alineamiento Vertical*. Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Augusto C. Sandino. https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/unidad-ii_curvas-verticales_2011.pdf

Olivera Bustamante, F. (2009). *Estructuración de vías terrestres*. GRUPO EDITORIAL PATRIA.

Oyola-Guzmán, R.D. (2016). *Determinación de la resistencia a la penetración de un suelo cohesivo en diferentes condiciones de hidratación y compactación*. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería. Matanzas. <https://www.redalyc.org/journal/1939/193949520004/html/#gf1>

Palomino, A. (16 de abril de 2017). *Clase 01. Suelo de subrasante*. [Diapositiva de PowerPoint]. SlideShare. <https://www.slideshare.net/TooPalomino/clase-01-suelos-de-subrasante>

Parera, A. (1 de enero de 2020). Pavimentos flexibles y pavimentos rígidos. UNIFORT PAVIMENTO INDUSTRIALES. Recuperado el 30 de abril de 2022 de <https://www.unifort.es/pavimentos-industriales/pavimentos-flexibles-pavimentos-rigidos/>

Pérez García, N., Garnica Anguas, P., González Rufino, J.L. y Ruiz Sanginez, M. (2016). Modelo para estimar el módulo de resiliencia de suelos finos compactados en la condición óptima de compactación. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt475.pdf>

Pérez, N., Pérez, A., Cervantes, M. y Garnica, P. (2018). *NOTAS núm. 176*. Instituto Mexicano del Transporte. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=479&IdBoletin=17>

Proyectos. Consultoría y Construcción de Vías Terrestres S.A. de C.V. (s.f.). *PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS*. PROCCSA INGENIERÍA CIVIL / VÍAS TERRESTRES. <https://www.proccsa.com.mx/proyecto-geometrico-de-carreteras.html>

Quality Planning. (s.f.). *ISSUES AND EFFECTS*. Quality Planning The Quality Planning Resource. <https://www.qualityplanning.org.nz/node/734>

Ramajo Rodríguez, L., Vicente Giráldez, J., Madrid, R., Rodríguez, A., Contreras, V., Landa, B., Taguas, E., Viedma, A., Vanwalleghem, T. y Gómez, J. (2014). *MANUAL DE TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN BIOTÉCNICA EN TALUDES DE INFRAESTRUCTURAS DE OBRA CIVIL*. Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/110010/1/ManualVersionFinal.pdf>

Rico Rodríguez, A., Téllez Gutiérrez, R. y Garnicas Anguas, P. (1998). *PAVIMENTOS FLEXIBLES. PROBLEMÁTICA, METODOLOGÍAS DE DISEÑO Y TENDENCIAS*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt104.pdf>

Rico, A. y Del Castillo, H. (1977). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres (Volumen 2)*. Limusa.

Sánchez-Leal, F.J. (29 de diciembre de 2020a). *¿Qué es el CBR?* Geotechtips. Recuperado el 25 de noviembre de 2021 de <https://www.geotechtips.com/post/que-es-el-cbr>

Sánchez-Leal, F.J. [Geotechtips Inc] (7 de octubre de 2020b). *Cuántos valores de CBR tiene un mismo suelo* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=s6OQMHgFEm0>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1984). *Normas de servicios técnicos. Proyecto geométrico*. Autoedición. <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Normas/AAA4.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2001). *PROGRAMA SECTORIAL DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES 2001 – 2006*. Coordinación General de Planeación y Centros SCT y la Dirección General de Planeación. https://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/CONT_Y_PRESENTACION.pdf

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2003). *Contenido de Agua. (M·MMP·1·04/03)*. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-04-03.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2003). *Masas Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica. (M·MMP·1·08/03)*. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-08-03.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2006). *Compactación AASHTO. (M·MMP·1·09/06)*. <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-09-06.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2007). *Ejecución de Estudios Topográficos y Aerofotogramétricos para Carreteras. (N·PRY·CAR·1·01·001/07)*. <https://normas.imt.mx/normativa/N-PRY-CAR-1-01-001-07.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2007). *Límites de Consistencia.* (M·MMP·1·07/07). <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-07-07.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2011). *Cortes.* (N·CTR·CAR·1·01·003/11). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-003-11.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2011). *Subbases y Bases.* (N·CTR·CAR·1·04·002/11). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-04-002-11.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2012). *CATÁLOGO DE SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS PARA LAS CARRETERAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA.* Dirección General de Servicios Técnicos. https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Catalogo_Pavimentos/Catalogo.pdf

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). *Construcción de Subbases o Bases Estabilizadas.* (N·CSV·CAR·4·02·005/14). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-4-02-005-14.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras.* (N·CMT·4·05·003/16). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-003-16.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias de Drenaje.* (M·PRY·CAR·4·02·002/16). <https://normas.imt.mx/normativa/M-PRY-CAR-4-02-002-16.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). *Terraplenes.* (N·CTR·CAR·1·01·009/16). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-009-16.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). *Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en Laboratorio.* (M·MMP·1·11/16). <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-11-16.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018). *Densidades Relativas y Absorción.* (M·MMP·1·05/18). <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-05-18.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018). *Ejecución de Estudios Hidráulico-Hidrológicos para Puentes.* (N·PRY·CAR·1·06·001/18). <https://normas.imt.mx/normativa/N-PRY-CAR-1-06-001-18.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018). *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018.* Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos.

https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/manual-pg/MPGC_2018_310718.pdf

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2019). *Ejecución de Estudios Geotécnicos*. (N·PRY·CAR·1·02·001/19). <https://normas.imt.mx/normativa/N-PRY-CAR-1-02-001-19.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2020). *Capas de Rodadura con Mezcla Asfáltica en Frío*. (N·CTR·CAR·1·04·008/20). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-04-008-20.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2020). *Capas de Rodadura con Mezcla Asfáltica en Caliente*. (N·CTR·CAR·1·04·010/20). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-04-010-20.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2020). *Carpetas de Concreto Hidráulico*. (N·CTR·CAR·1·04·009/20). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-04-009-20.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2021). *Materiales para Subrasante*. (N·CMT·1·03/21). <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-1-03-21.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos - Tabasco 2013*. Autoedición. https://backend.aprende.sep.gob.mx/media/uploads/tmp/resources/SMN05-2014-LB08-14_16.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (27 de junio de 2018). *¿Qué son las cuencas hidrológicas y las reservas de agua?*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-son-las-cuencas-hidrologicas-y-las-reservas-de-agua>

Stevenson, J. (29 de junio de 2021). *Chapter 4: Pavement Evaluation*. Recuperado el 23 de septiembre de 2021. http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pave_evaluation.htm

Suárez Díaz, J. (2009). *Deslizamientos. Técnicas de remediación, Vol. 2*. Universidad Industrial de Santander. <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-ii-tecnicas-de-remediacion/>

Tapia García, M.A. (2013). *Pavimentos*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. <https://docplayer.es/79920356-Universidad-nacional-autonoma-de-mexico-facultad-de-ingenieria-decdfi-m-en-i-miguel-angel-tapia-garcia.html>

Téllez Gutiérrez, R. (2012). Pavimentos rígidos o flexibles, concreto vs. asfalto. *VÍAS TERRESTRES*, (15), 25-26. http://www.amivtac.org/revistas/revista-view.php?idrevista=23#revista_num/1

The Asphalt Institute. (1970). *THICKNESS DESIGN - Full-Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Stress*. Autoedición. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/001/ai.ms-1.1970.pdf>

Tierra Armada Chile S.P.A. (s.f.). *Tierra armada*. <https://www.tierra-armada.cl/tuneles.html>

Todo Vial. (1 de agosto de 2020b). *Diseño de Pavimentos Flexibles/Método AASHTO/Entendiendo el modelo* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/rnSWn6euSwU>

Todo Vial. (8 de junio de 2020a). *¿Qué es un pavimento?/Tipos de pavimentos* [Archivo de Video]. YouTube. <https://youtu.be/qG2VkQgBu9A>

Topoequipos S.A. (s.f.). *¿QUÉ ES FOTOGRAMETRÍA? FOTOGRAMETRÍA*. Topoequipos S.A. soluciones integrales en geomática. <http://www.topoequipos.com/dem/que-es/terminologia/que-es-fotogrametria>

Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. (s.f.). *Respuesta*. Catastro Bogotá. <https://www.catastrobogota.gov.co/pregunta/que-es-un-plano-topografico>

Universidad de Guanajuato. (2008). Autoedición. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gto/estudios/2008/11GU2008V0016.pdf>

Valenzuela Picos, M.G. (1997). *Programa de computadora para el cálculo de proyecto geométrico de carreteras*. Universidad de Sonora. <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=8693>

van der Ree, R., Smith, D.J. y Grilo, C. (2015). Ecological impacts of road noise and options for mitigation. En Rodney van der Ree, Daniel J. Smith y Clara Grilo (Eds.), *Handbook of Road Ecology* (p. 151). WILEY Blackwell. https://books.google.com.mx/books?id=rxjPBwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Vannia. (2012). *Plasticidad, Límites de Atterberg*. Módulos Construcción. <http://vainillacolombo.blogspot.com/2012/05/plasticidad-limites-de-atterberg.html>

Zárate Aquino, M. (2012). Luis Miguel Aguirre Menchaca, ejemplo profesional, docente y de gran valor humano. *Geotecnia*, (225), 8-10. <https://www.smig.org.mx/archivos/revista-trimestral-smig/revista-geotecnia-smig-numero-225.pdf>

ANEXO A – REPORTE FOTOGRÁFICO DE LOS SONDEOS (PCA)



PCA – 1
Grava mal graduada con arcilla y arenas,
color café claro.



PCA – 2
Arena limosa, color blanco.



PCA – 3
Arcilla de alta plasticidad con grava,
color café amarillento brillante.



PCA – 4
Grava arcillosa, color café claro.



PCA – 5
Arena limosa, color blanco.



PCA – 6
Arcilla de alta plasticidad con arena,
color café amarillento brillante.



PCA – 7
Arcilla de baja plasticidad, color café amarillento brillante con tonalidades gris claro.



PCA – 8
Arena arcillo limosa con gravas, color café amarillento claro.



PCA – 9
Arcilla de baja plasticidad gravosa con arena, color beige.



PCA – 10
Arcilla limosa de baja plasticidad arenosa, color café amarillento brillante.



PCA – 11
Limo de baja plasticidad arenosa, color blanco.



PCA – 12
Arcilla de alta plasticidad, color negro.



PCA – 13
Arcilla limosa de baja plasticidad, color beige.



PCA – 14
Limo de baja plasticidad, color café grisáceo claro.



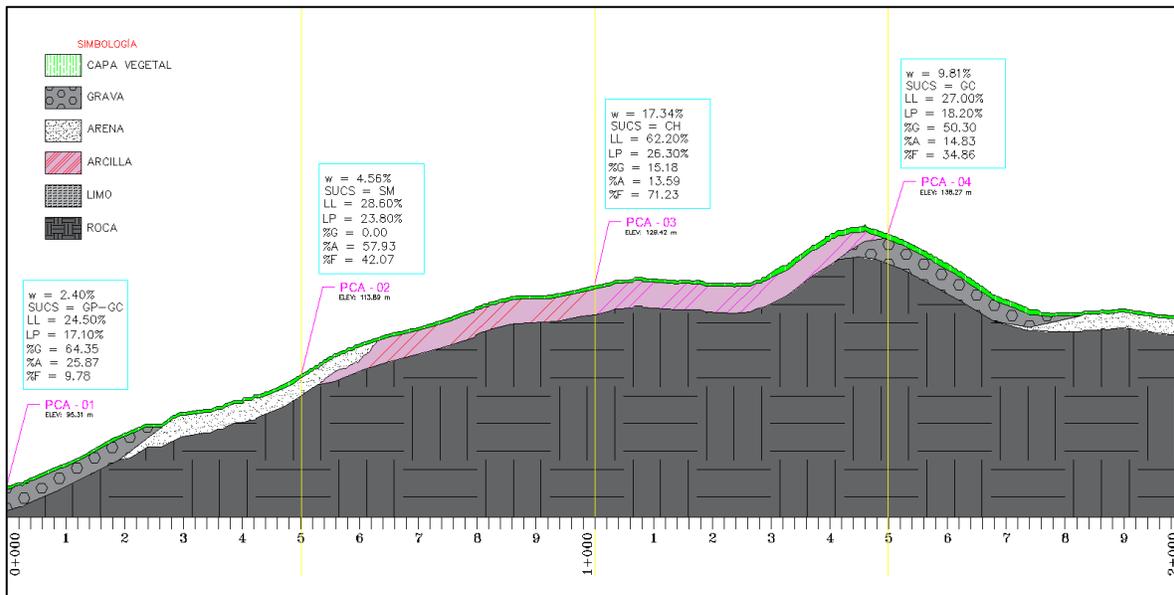
PCA – 15
Arcilla de alta plasticidad con arena, color café rojizo y gris olivo.



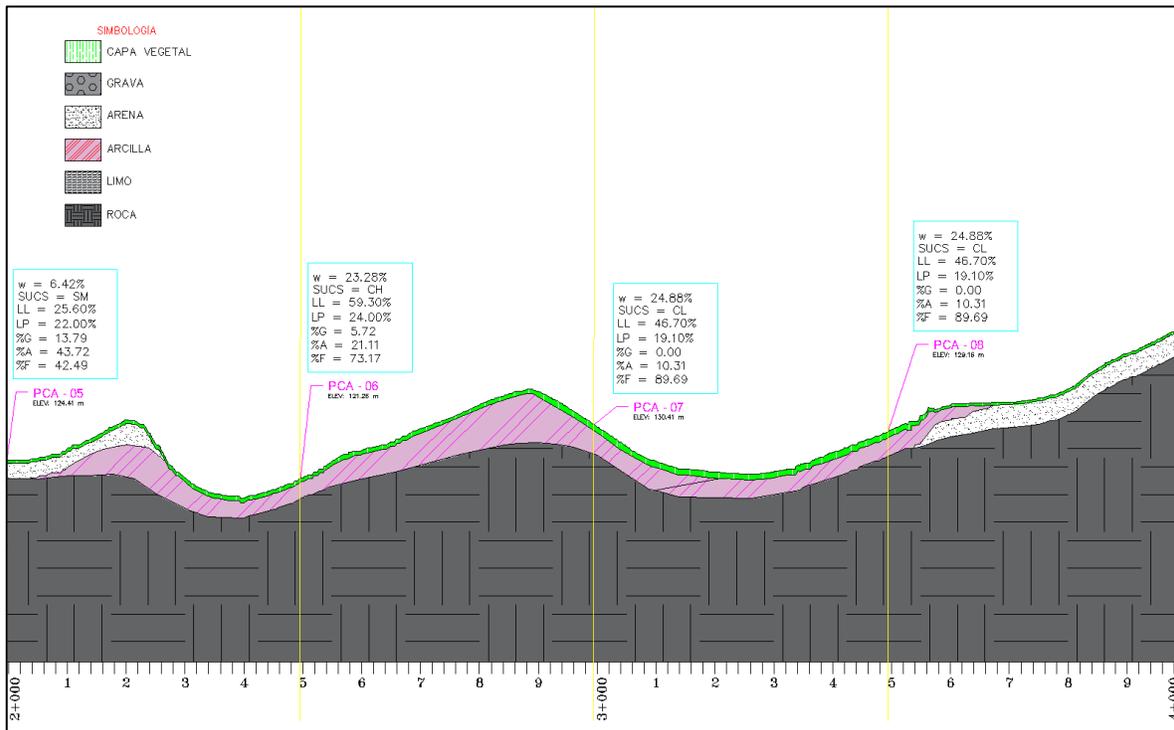
PCA – 16
Arcilla de alta plasticidad con arena, color café amarillento claro.

ANEXO B – ESTRATIGRAFÍA

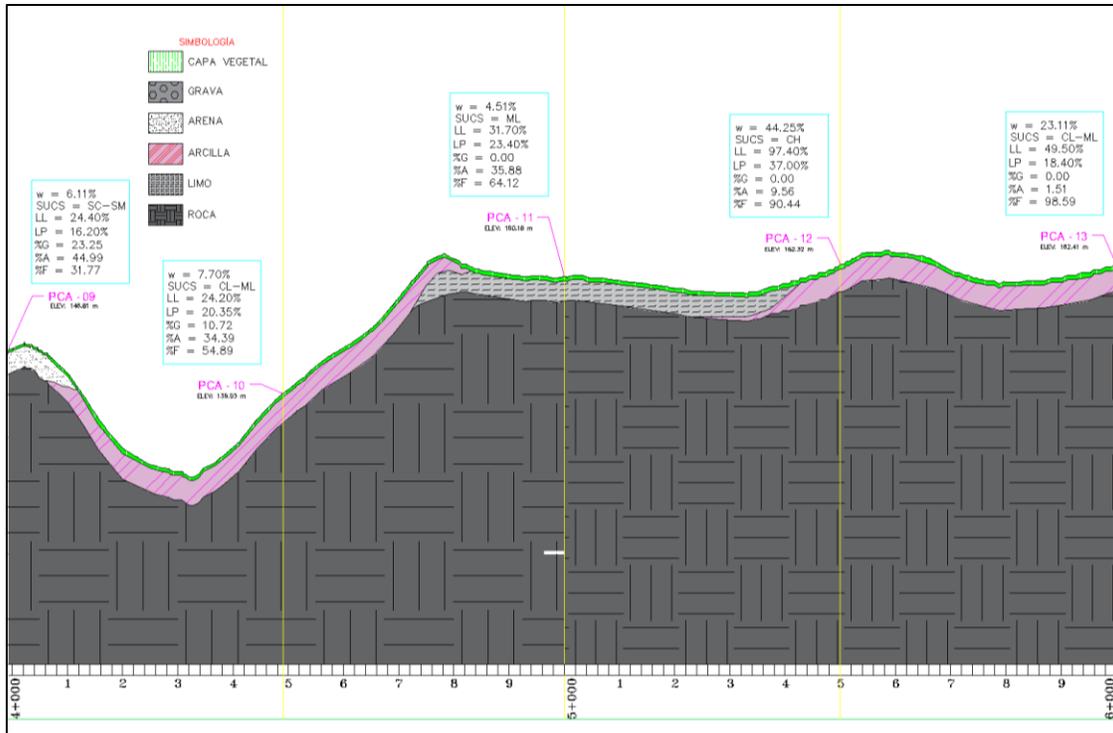
Perfil estratigráfico del camino Cortijo Nuevo-Nuevo Progreso.



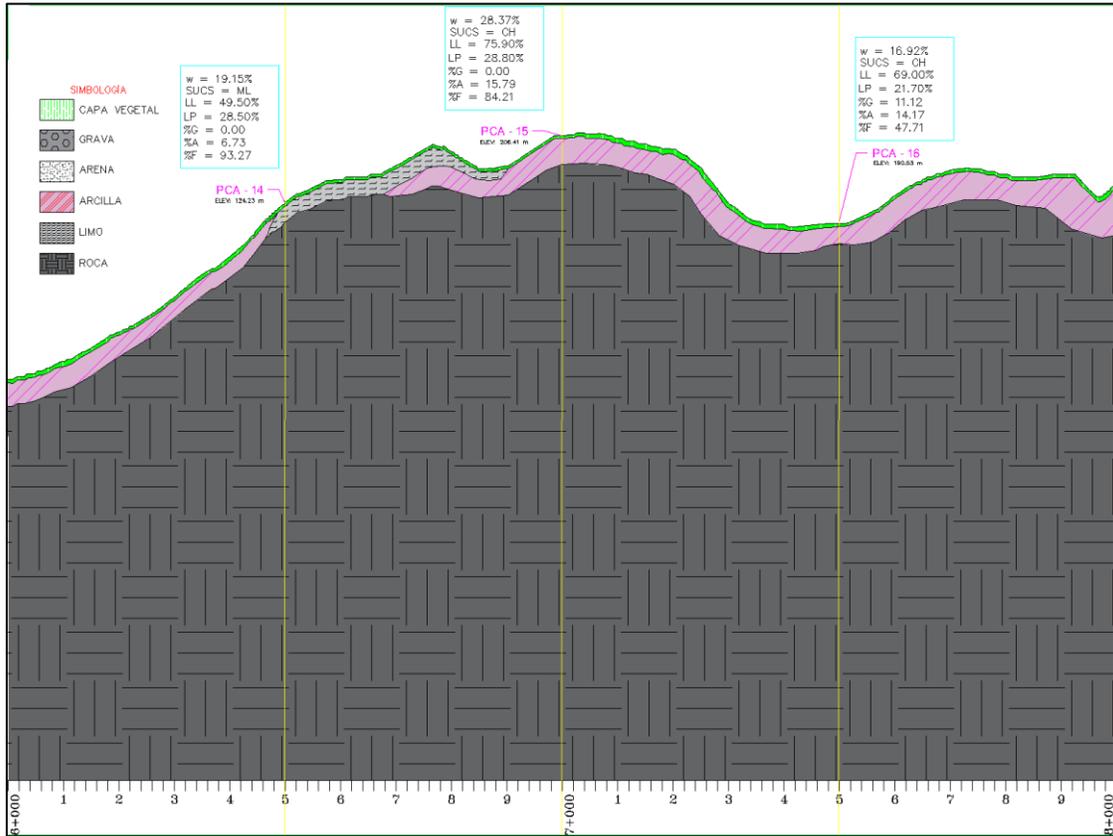
Perfil estratigráfico del Km 0+000 al Km 2+000.



Perfil estratigráfico del Km 2+00 al Km 4+000.



Perfil estratigráfico del Km 4+00 al Km 6+000.



Perfil estratigráfico del Km 6+00 al Km 8+000.

ANEXO C – REPORTE FOTOGRÁFICO DE LOS BANCOS DE MATERIALES Y TABLA DE RESUMEN GENERAL

Reporte fotográfico de los bancos de materiales “Boca del Cerro” y “El Cortijo”.



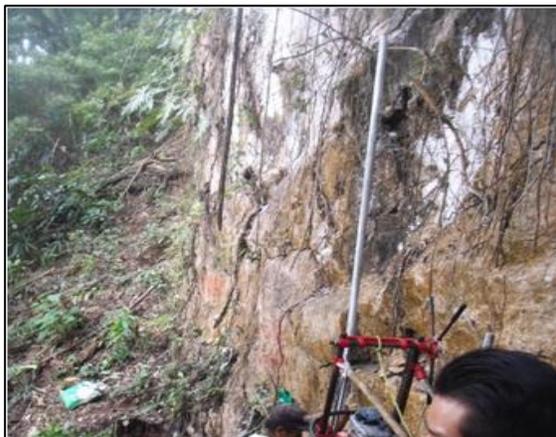
Banco “Boca del Cerro”



Exploración con perforadora diámetro NQ



Muestras obtenidas de las extracciones del banco “Boca del Cerro”



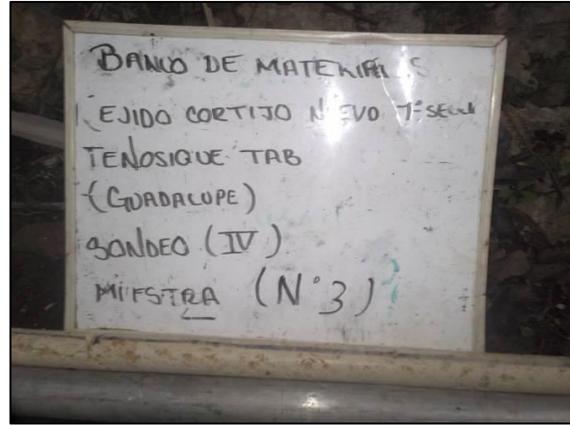
Banco “El Cortijo”



Trabajos de exploración



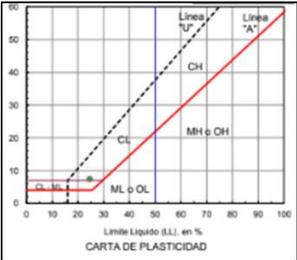
Perforación en la roca

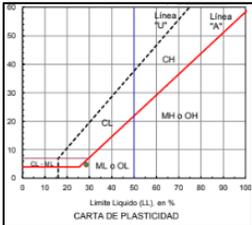


Muestra obtenida en el banco "El Cortijo"

ANEXO D – PRUEBAS DE LABORATORIO DE LOS SONDEOS (PCA)

1. Clasificación SUCS

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 1 FECHA: JUNIO 2021		
% Gravas	64.35	
% Arenas	25.87	
% Finos	9.78	
C_u	154.91	
C_c	7.15	
% LL	24.50	
% LP	17.10	
% IP	7.40	
SUCS	GP – GC	

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 2 FECHA: JUNIO 2021		
% Gravas	0.00	
% Arenas	57.93	
% Finos	42.07	
C_u	---	
C_c	---	
% LL	28.60	
% LP	23.80	
% IP	4.80	
SUCS	SM	

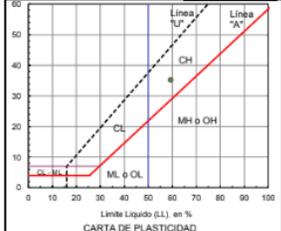
INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 3 FECHA: JUNIO 2021		
% Gravas	15.18	
% Arenas	13.59	
% Finos	71.23	
C_u	---	
C_c	---	
% LL	62.20	
% LP	26.40	
% IP	35.90	

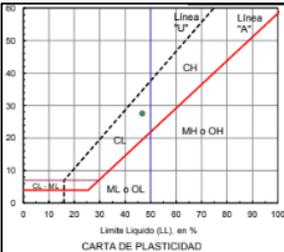
SUCS	CH	
-------------	----	--

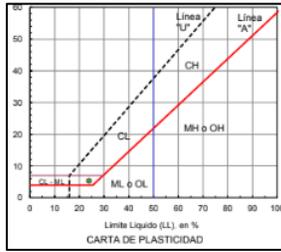
INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 4		FECHA: JUNIO 2021
% Gravas	50.30	
% Arenas	14.83	
% Finos	34.86	
C_u	---	
C_c	---	
% LL	27.00	
% LP	18.10	
% IP	8.80	
SUCS	GC	

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 5		FECHA: JUNIO 2021
% Gravas	13.79	
% Arenas	43.72	
% Finos	42.49	
C_u	---	
C_c	---	
% LL	25.60	
% LP	22.10	
% IP	3.60	
SUCS	SM	

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 6		FECHA: JUNIO 2021
% Gravas	5.72	
% Arenas	21.11	
% Finos	73.17	
C_u	---	
C_c	---	

% LL	59.30		
% LP	24.00		
% IP	35.30		
SUCS	CH		

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 7 FECHA: JUNIO 2021		
% Gravas	0.00	
% Arenas	10.31	
% Finos	89.69	
C _u	---	
C _c	---	
% LL	46.70	
% LP	19.10	
% IP	27.60	
SUCS	CL	

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 8 FECHA: JUNIO 2021		
% Gravas	23.25	
% Arenas	44.99	
% Finos	31.77	
C _u	---	
C _c	---	
% LL	23.90	
% LP	18.60	
% IP	5.30	
SUCS	SC-SM	

INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.	

SONDEO/PCA: PCA – 9		FECHA: JUNIO 2021
% Gravas	22.81	
% Arenas	18.18	
% Finos	59.01	
C_u	---	
C_c	---	
% LL	24.40	
% LP	16.20	
% IP	8.20	
SUCS	CL	

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 10		FECHA: JUNIO 2021
% Gravas	10.72	
% Arenas	34.39	
% Finos	54.89	
C_u	---	
C_c	---	
% LL	24.20	
% LP	20.20	
% IP	4.00	
SUCS	CL – ML	

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 11		FECHA: JUNIO 2021
% Gravas	0.00	
% Arenas	35.88	
% Finos	64.12	
C_u	---	
C_c	---	
% LL	31.70	
% LP	23.40	
% IP	8.30	
SUCS	ML	

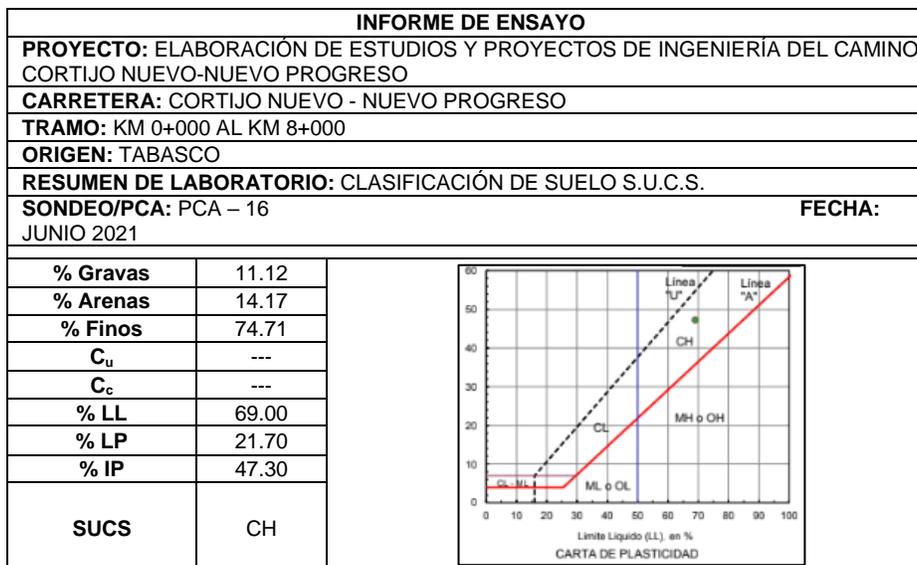
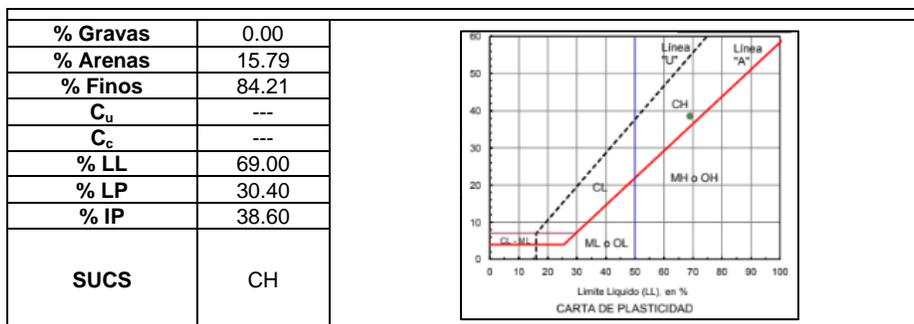
INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 12		FECHA: JUNIO 2021
% Gravas	0.00	

% Arenas	9.56	
% Finos	90.44	
C _u	---	
C _c	---	
% LL	97.40	
% LP	37.00	
% IP	60.40	
SUCS	CH	

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 13 FECHA: JUNIO 2021		
% Gravas	0.00	
% Arenas	1.51	
% Finos	98.49	
C _u	---	
C _c	---	
% LL	23.20	
% LP	18.40	
% IP	4.80	
SUCS	CL – ML	

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 14 FECHA: JUNIO 2021		
% Gravas	0.00	
% Arenas	6.73	
% Finos	93.27	
C _u	---	
C _c	---	
% LL	49.50	
% LP	28.50	
% IP	21.00	
SUCS	ML	

INFORME DE ENSAYO		
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO		
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO		
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000		
ORIGEN: TABASCO		
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN DE SUELO S.U.C.S.		
SONDEO/PCA: PCA – 15 FECHA: JUNIO 2021		



2. Contenido de agua

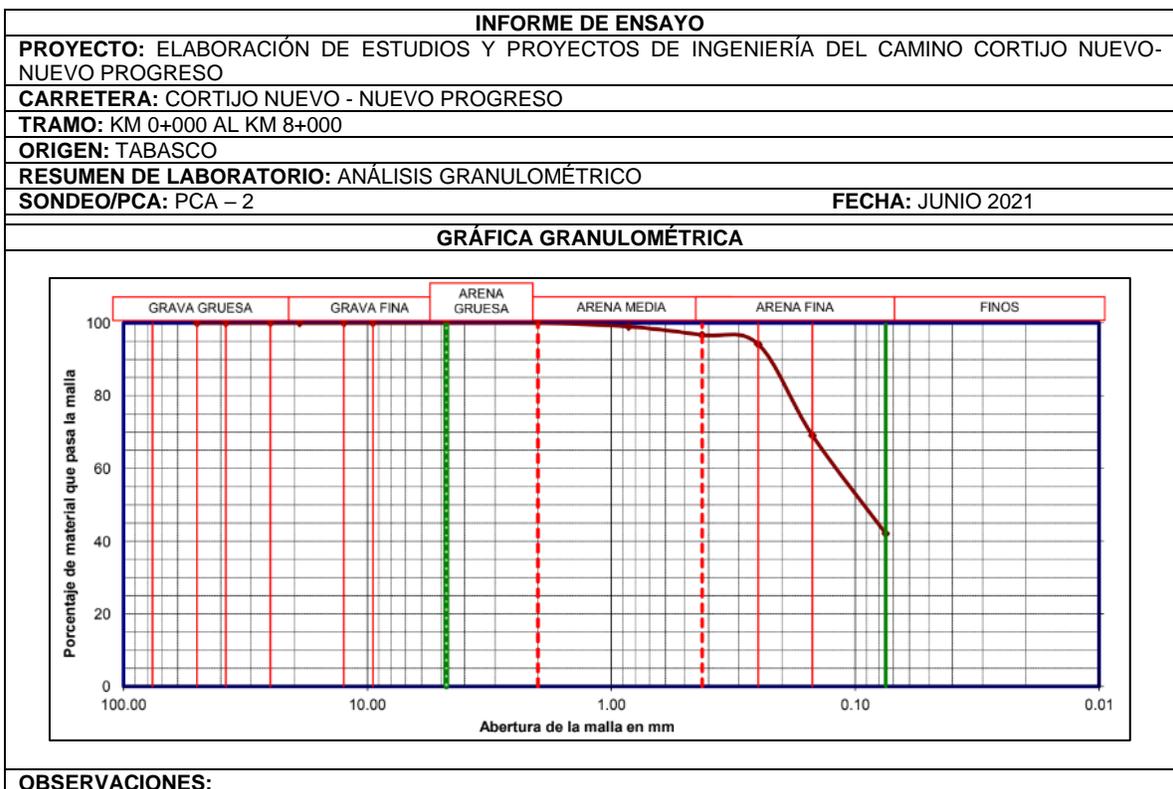
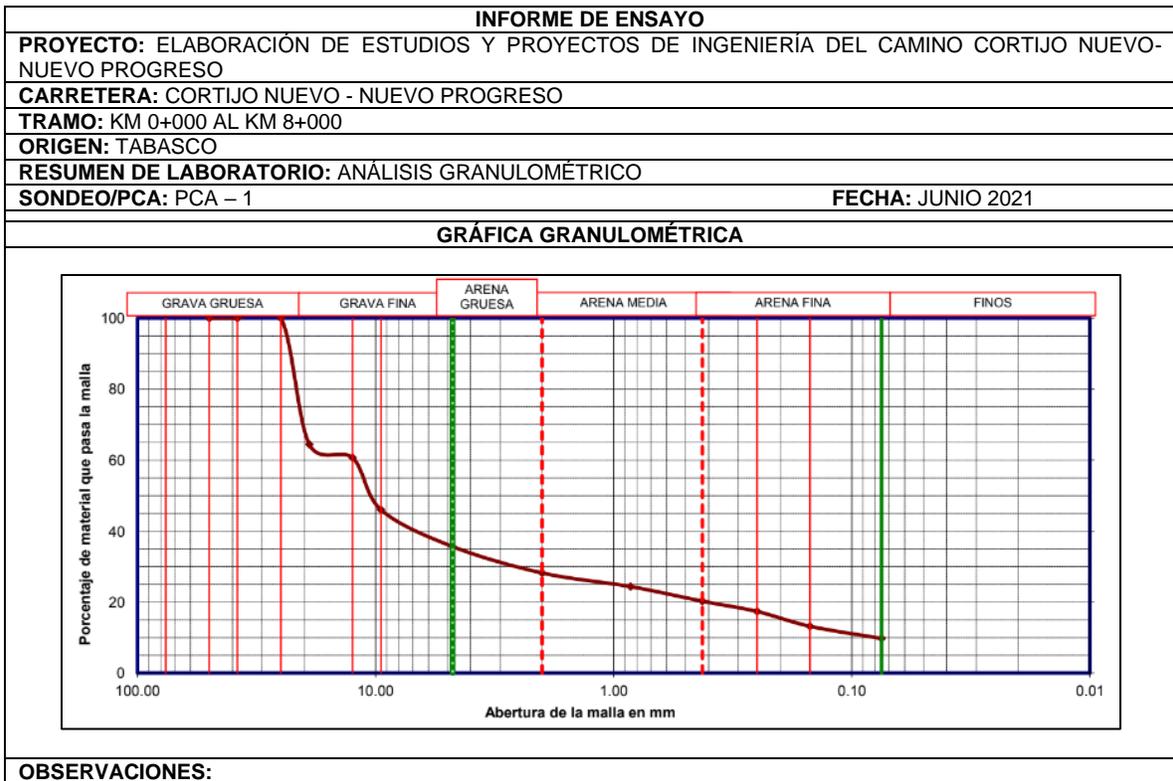
INFORME DE ENSAYO				
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO				
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO				
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000				
ORIGEN: TABASCO				
RESUMEN DE LABORATORIO: CONTENIDO DE AGUA			FECHA: JUNIO 2021	
SONDEO/PCA	Wt (gramos)	Wh + t (gramos)	Ws + t (gramos)	w (%)
1	24.29	326.49	319.27	2.45
2	24.35	263.80	253.35	4.56
3	25.30	282.03	244.10	17.34
4	25.56	295.40	271.29	9.81
5	25.01	297.87	281.40	6.42
6	23.96	251.28	208.35	23.28
7	24.19	275.43	225.37	24.88
8	25.39	346.61	328.12	6.11
9	24.20	330.65	286.45	16.85
10	25.08	272.57	254.88	7.70
11	23.61	289.18	277.71	4.51
12	25.47	241.08	174.94	44.25
13	25.14	277.40	230.05	23.11

14	24.80	261.16	223.17	19.15
15	24.64	250.54	200.61	28.37
16	26.29	325.74	282.41	16.92

3. Contracción lineal

INFORME DE ENSAYO			
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO			
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO			
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000			
ORIGEN: TABASCO			
RESUMEN DE LABORATORIO: CONTRACCIÓN LINEAL		FECHA: JUNIO 2021	
SONDEO/PCA	LONGITUD INICIAL (cm)	LONGITUD FINAL (cm)	CONTRACCIÓN LINEAL (%)
1	9.88	9.62	2.63
2	9.85	9.80	0.51
3	9.99	8.46	15.32
4	10.04	8.32	17.13
5	10.04	9.85	1.89
6	10.04	8.32	17.13
7	10.09	8.59	14.87
8	9.94	9.88	0.60
9	9.93	9.81	1.21
10	9.89	9.88	0.10
11	9.92	9.78	1.41
12	9.95	8.45	15.08
13	9.85	9.78	0.71
14	10.02	9.60	4.19
15	9.93	8.79	11.48
16	9.85	9.21	6.50

4. Granulometría



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

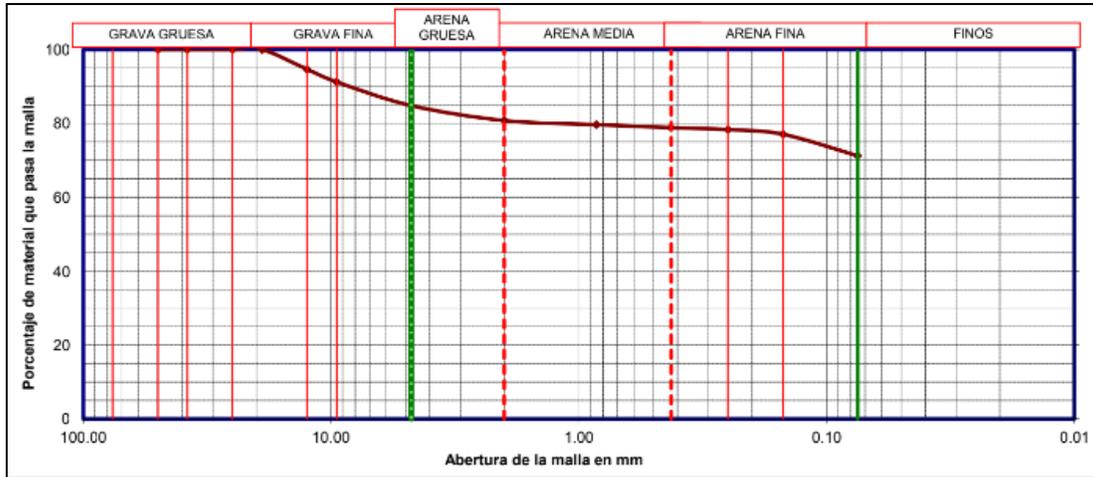
ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

SONDEO/PCA: PCA – 3

FECHA: JUNIO 2021

GRÁFICA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

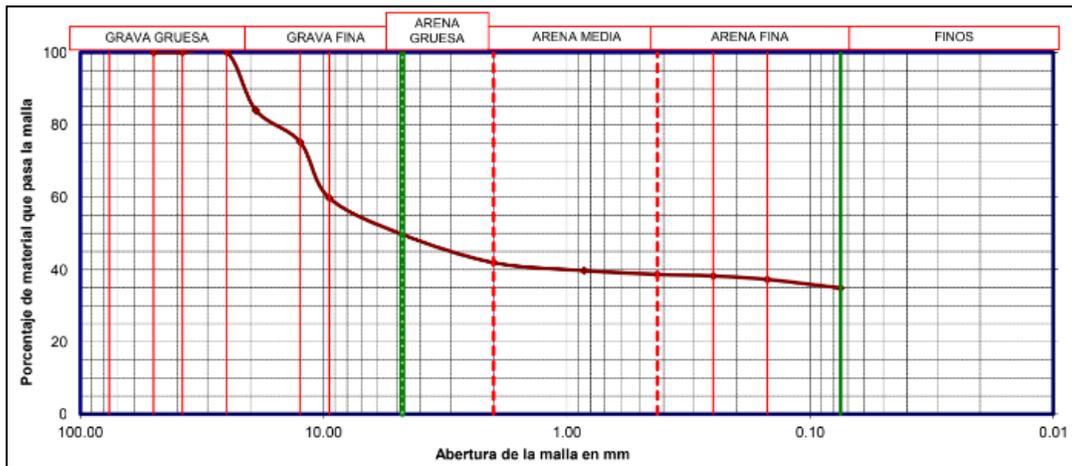
ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

SONDEO/PCA: PCA – 4

FECHA: JUNIO 2021

GRÁFICA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

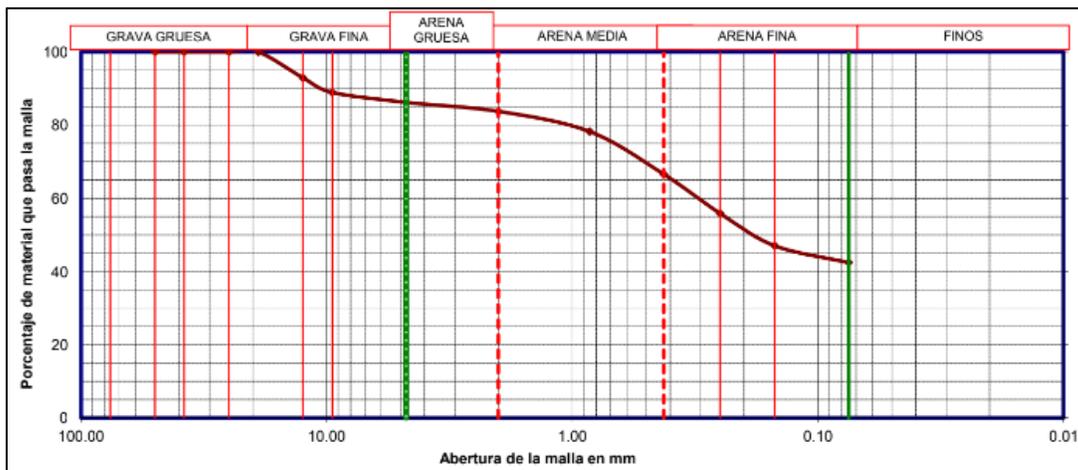
ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

SONDEO/PCA: PCA – 5

FECHA: JUNIO 2021

GRÁFICA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

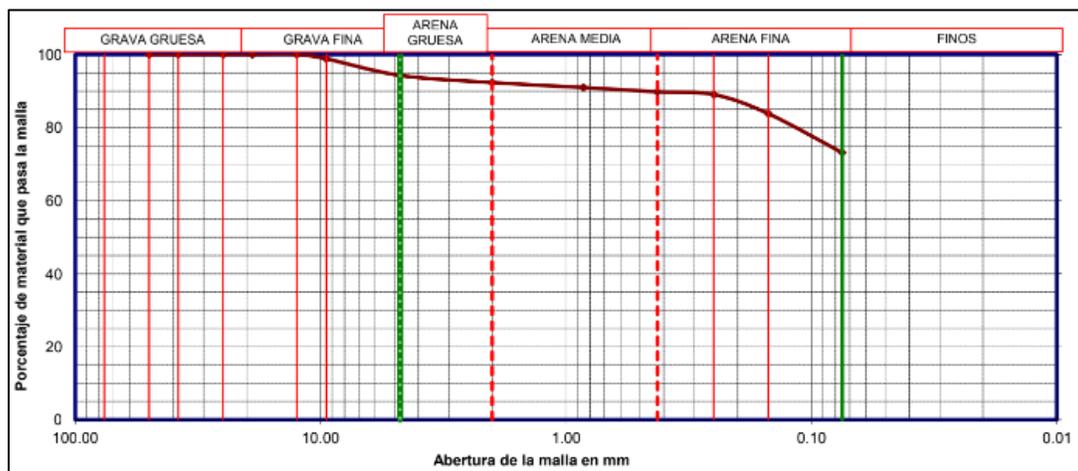
ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

SONDEO/PCA: PCA – 6

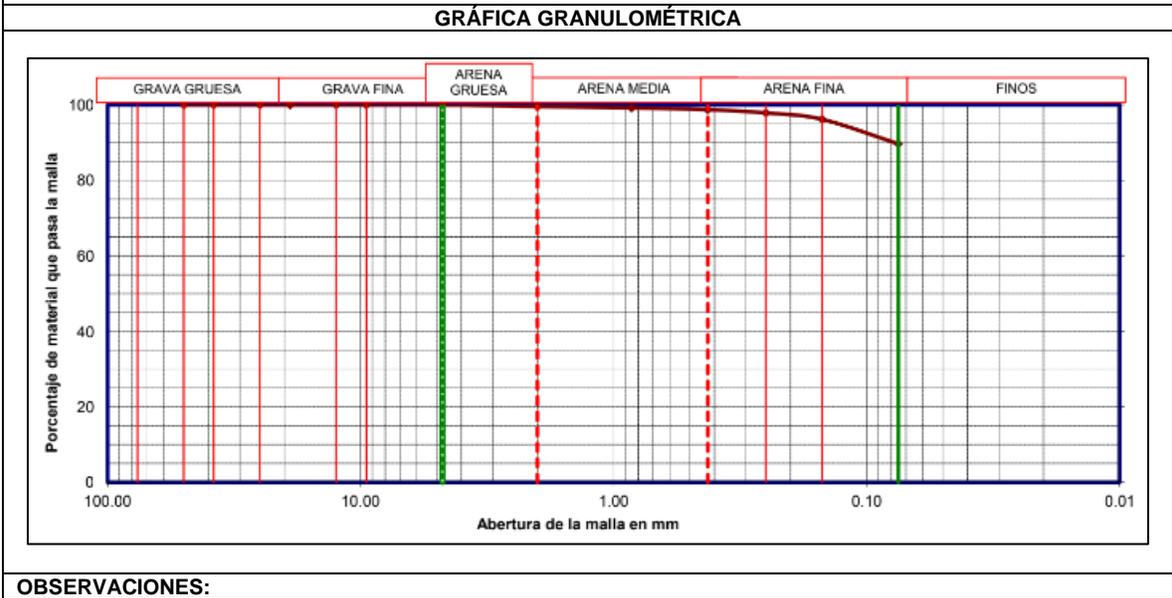
FECHA: JUNIO 2021

GRÁFICA GRANULOMÉTRICA

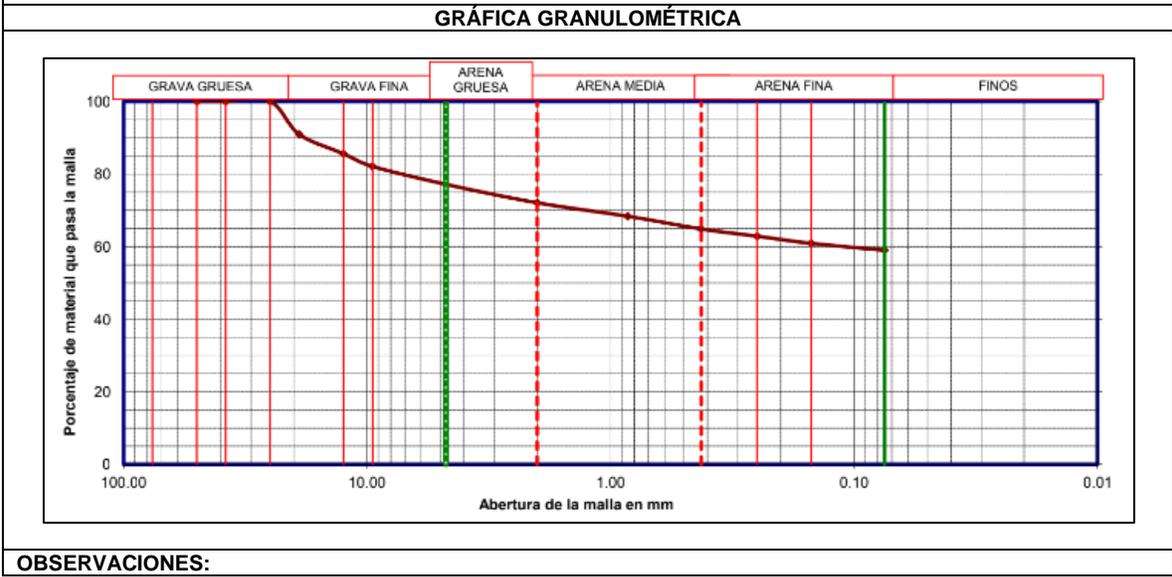


OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
SONDEO/PCA: PCA – 7	FECHA: JUNIO 2021

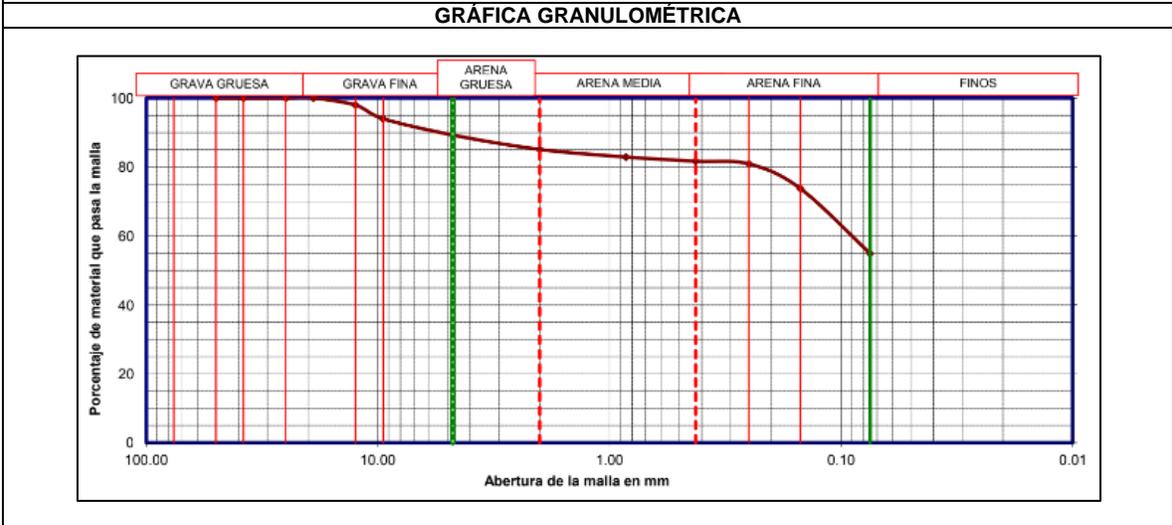


INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
SONDEO/PCA: PCA – 9	FECHA: JUNIO 2021



OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
SONDEO/PCA: PCA – 10	FECHA: JUNIO 2021



OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

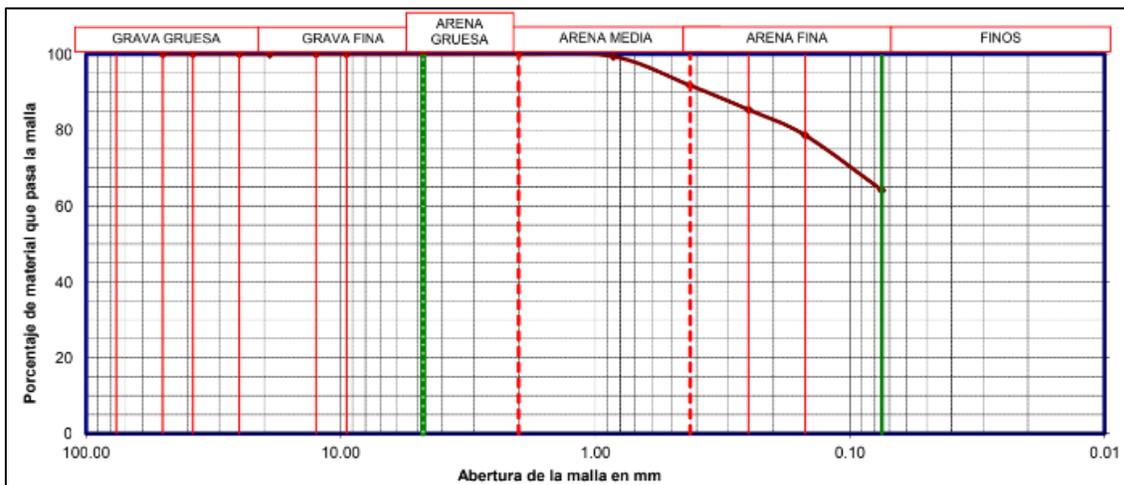
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

SONDEO/PCA: PCA – 11

FECHA: JUNIO 2021

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA Nº 4
Análisis efectuado con la muestra de: 254.10 gr

GRÁFICA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

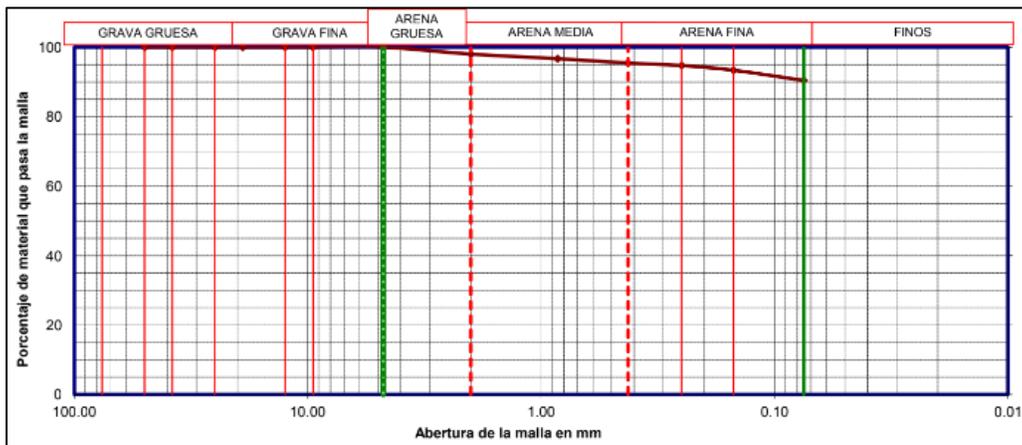
ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

SONDEO/PCA: PCA – 12

FECHA: JUNIO 2021

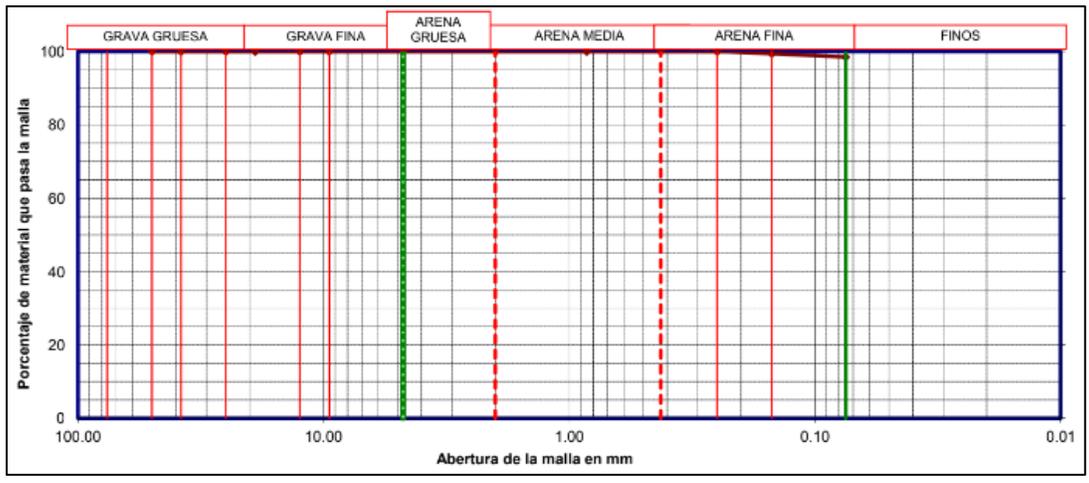
GRÁFICA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
SONDEO/PCA: PCA – 13	FECHA: JUNIO 2021

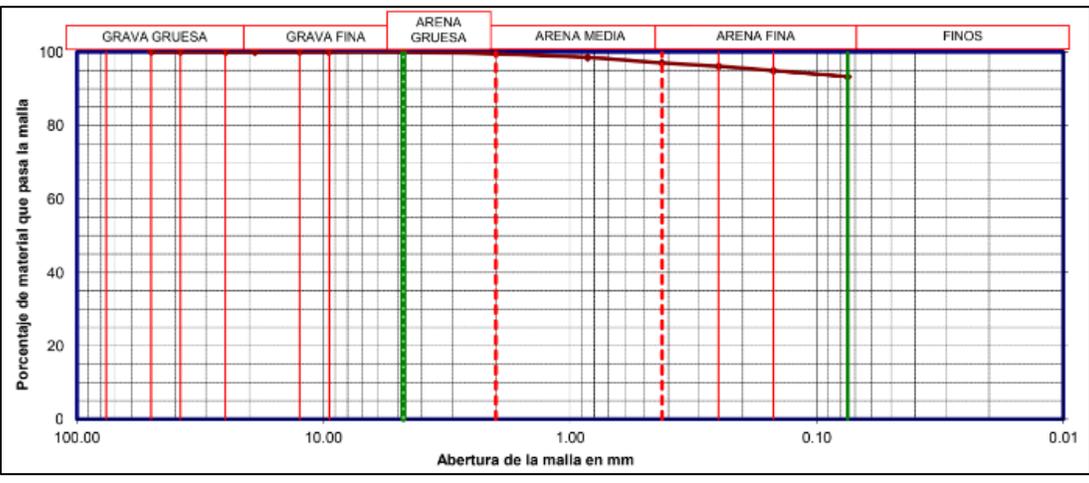
GRÁFICA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

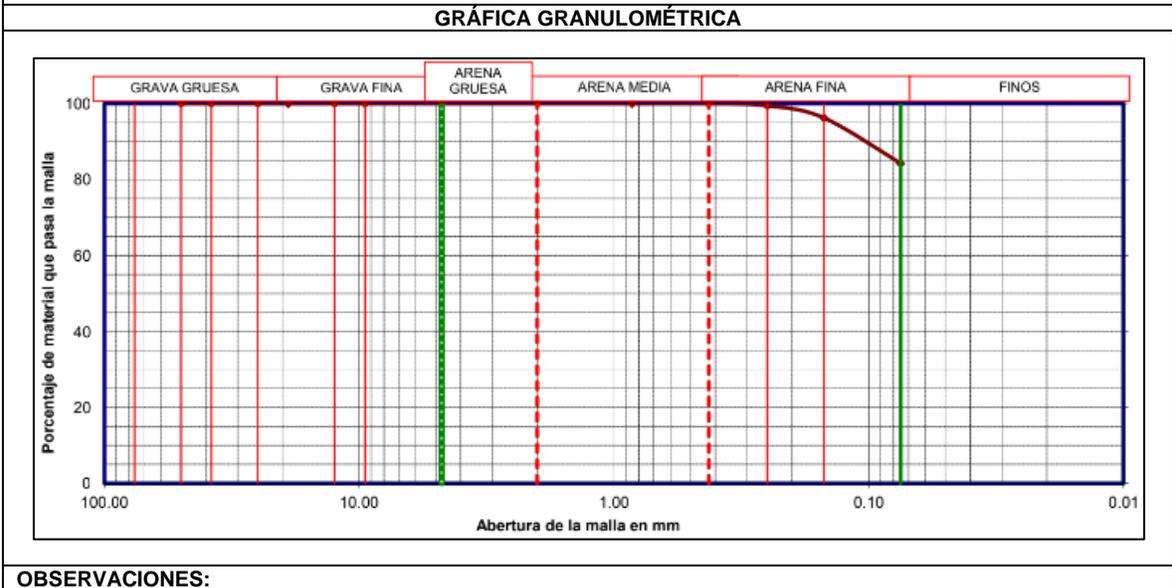
INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
SONDEO/PCA: PCA – 14	FECHA: JUNIO 2021

GRÁFICA GRANULOMÉTRICA

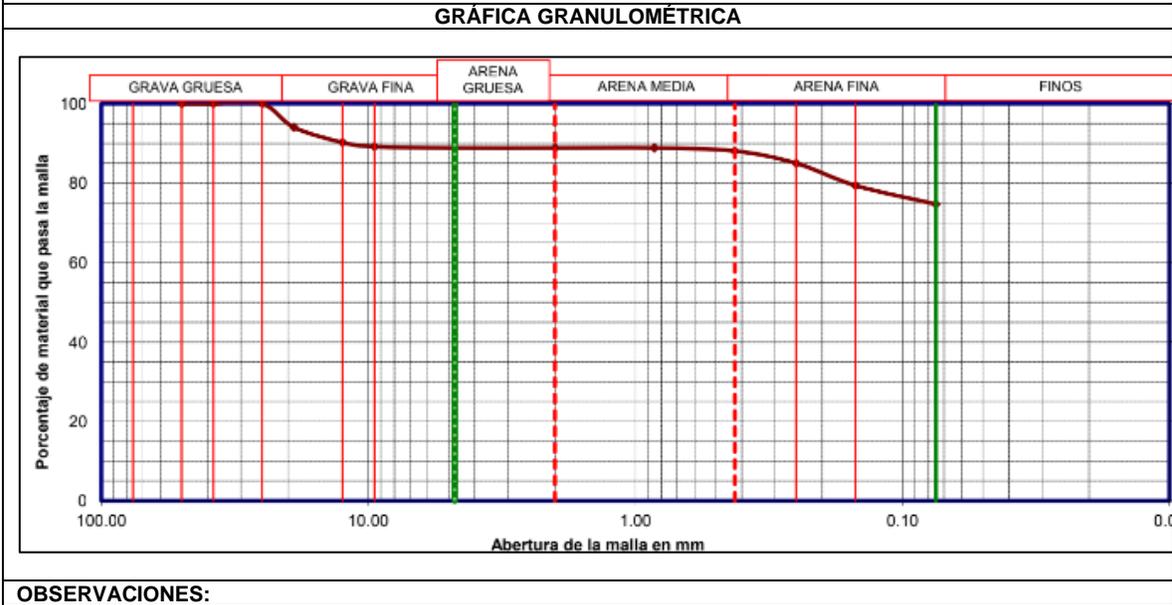


OBSERVACIONES:

INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
SONDEO/PCA: PCA – 15	FECHA: JUNIO 2021



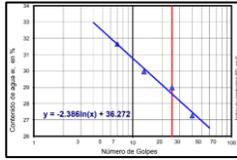
INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
SONDEO/PCA: PCA – 16	FECHA: JUNIO 2021



5. Límites de consistencia

INFORME DE ENSAYO										
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO										
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO										
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000										
ORIGEN: TABASCO										
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD										
SONDEO/PCA: PCA – 1					FECHA: JUNIO 2021					
LÍMITE LÍQUIDO										
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	DATOS		
Peso en gramos										
420	7.98	28.97	24.86	4.11	16.88	24.35	41	LL =	24.5 %	
363	7.98	28.72	24.64	4.08	16.66	24.49	27	LP =	17.1 %	
458	8.19	30.26	25.9	4.36	17.71	24.62	15	IP =	7.4 %	
22	7.93	40.65	34.06	6.59	26.13	25.22	8	$C_R \frac{W_L - W}{I_p}$	2.97	
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w =$		1.23
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)	$T_w = \frac{I_p}{f_w}$			
Peso en gramos										
455	7.8	20.56	18.69	1.87	10.89	17.17	Long. inicial =	9.88	cm	
349	8	20.72	18.87	1.85	10.87	17.02	Long. final =	9.62	cm	
							Contr. lineal =	2.63	%	
					OBSERVACIONES: LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40, Y ES RETENIDO EN LA MALLA No. 200.					

INFORME DE ENSAYO										
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO										
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO										
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000										
ORIGEN: TABASCO										
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD										
SONDEO/PCA: PCA – 2					FECHA: JUNIO 2021					
LÍMITE LÍQUIDO										
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	DATOS		
Peso en gramos										
438	8.12	34.17	28.59	5.58	20.47	27.26	40	LL =	28.6 %	
409	8.06	36.77	30.32	6.45	22.26	28.98	25	LP =	23.8 %	
406	8.15	37.6	30.81	6.79	22.66	29.96	13	IP =	4.8 %	
52	9.18	39.13	31.93	7.2	22.75	31.65	7	$C_R \frac{W_L - W}{I_p}$	5.03	
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w =$		5.80
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)	$T_w = \frac{I_p}{f_w}$			
Peso en gramos										
361	7.94	22.48	19.68	2.8	11.74	23.85	Long. inicial =	9.85	cm	
390	7.98	21.77	19.12	2.65	11.14	23.79	Long. final =	9.80	cm	
							Contr. lineal =	0.51	%	



OBSERVACIONES: NO CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40.

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

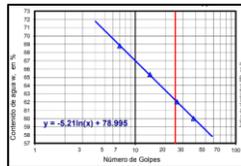
ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

SONDEO/PCA: PCA – 3

FECHA: JUNIO 2021

LÍMITE LÍQUIDO								DATOS
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	
Peso en gramos								
458	8.19	25.63	19.09	6.54	10.9	60.00	38	LL = 62.2 %
420	7.98	24.88	18.41	6.47	10.43	62.03	26	LP = 26.4 %
439	8.13	26.78	19.41	7.37	11.28	65.34	14	IP = 35.9 %
52	9.18	25.25	18.7	6.55	9.52	68.80	7	$C_r = \frac{W_L - W}{I_p} = 1.25$
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w = 11.98$
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)		$T_w = \frac{I_p}{f_w} = 2.99$
Peso en gramos								
63	9.06	19.11	17.04	2.07	7.98	25.94		Long. inicial = 9.99 cm
60	9.29	19.99	17.73	2.26	8.44	26.78		Long. final = 8.46 cm
								Contr. lineal = 15.32 %



OBSERVACIONES: NO CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40.

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

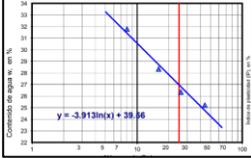
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD

SONDEO/PCA: PCA – 4

FECHA: JUNIO 2021

LÍMITE LÍQUIDO								DATOS
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	
Peso en gramos								
349	8	26.32	22.63	3.69	14.63	25.22	44	LL = 27.0 %
226	9.41	26	22.54	3.46	13.13	26.35	26	LP = 18.1 %
56	8.95	25.84	22.11	3.73	13.16	28.34	16	IP = 8.8 %
43	9.44	27.31	23	4.31	13.56	31.78	8	$C_r = \frac{W_L - W}{I_p} = 1.94$
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w = 8.86$
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)		$T_w = \frac{I_p}{f_w} = 1.00$
Peso en gramos								
								Long. inicial = 10.04 cm

2	8.02	20.88	18.94	1.94	10.92	17.77	Long. final = 8.32 cm
6	7.96	21.79	19.63	2.16	11.67	18.51	Contr. lineal = 17.13 %



OBSERVACIONES: CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40 Y ES RETENIDO EN LA MALLA No. 200.

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
SONDEO/PCA: PCA - 5						FECHA: JUNIO 2021		
LÍMITE LÍQUIDO								
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	DATOS
347	8.33	25.2	21.96	3.24	13.63	23.77	36	LL = 25.6 %
5	7.99	26.74	22.91	3.83	14.92	25.67	25	LP = 22.6 %
396	8.24	27.88	23.52	4.36	15.28	28.53	14	IP = 3.6 %
138	8.67	26.05	21.88	4.17	13.21	31.57	6	$C_u = \frac{W_L - W}{I_p} = 5.40$
LÍMITE PLÁSTICO								
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)	DATOS	
								Peso en gramos
97	12.58	23.02	21.15	1.87	8.57	21.82	$f_w = 10.02$	
438	8.12	20.96	18.62	2.34	10.5	22.29	$T_w = \frac{I_p}{f_w} = 0.35$	
							Long. inicial = 10.04 cm	
							Long. final = 9.85 cm	
							Contr. lineal = 1.89 %	

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
SONDEO/PCA: PCA - 6						FECHA: JUNIO 2021		
LÍMITE LÍQUIDO								
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	DATOS
347	8.33	25.2	21.96	3.24	13.63	23.77	36	LL = 59.3 %
5	7.99	26.74	22.91	3.83	14.92	25.67	25	LP = 24.0 %
396	8.24	27.88	23.52	4.36	15.28	28.53	14	IP = 35.3 %
138	8.67	26.05	21.88	4.17	13.21	31.57	6	$C_u = \frac{W_L - W}{I_p} = 1.02$
LÍMITE PLÁSTICO								
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)	DATOS	
							$f_w = 18.02$	

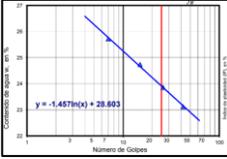
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)	$T_w = \frac{I_p}{f_w}$	
							=	1.96
Peso en gramos							Long. inicial =	10.04 cm
97	12.58	23.02	21.15	1.87	8.57	21.82	Long. final =	8.32 cm
438	8.12	20.96	18.62	2.34	10.5	22.29	Contr. lineal =	17.13 %

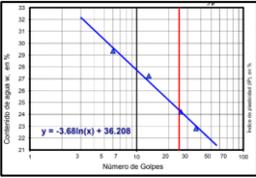
	OBSERVACIONES: NO CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40.
--	--

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
SONDEO/PCA: PCA - 7				FECHA: JUNIO 2021				
LÍMITE LÍQUIDO								
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	DATOS
396	8.24	29.9	23.26	6.64	15.02	44.21	43	LL = 46.7 %
447	7.94	29.79	22.89	6.9	14.95	46.15	27	LP = 19.1 %
401	8.26	33.1	25.01	8.09	16.75	48.30	16	IP = 27.6 %
54	8.7	28.71	21.74	6.97	13.04	53.45	8	$C_R = \frac{W_L - W}{I_p}$ = 0.86
LÍMITE PLÁSTICO								
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)	Nº GOLPES	DATOS
138	8.67	22.62	20.4	2.22	11.73	18.93	8	$f_w =$ 16.92
97	12.58	29.71	26.93	2.78	14.35	19.37	8	$T_w = \frac{I_p}{f_w}$ = 2.26
								Long. inicial = 10.9 cm
								Long. final = 8.59 cm
								Contr. lineal = 14.87 %

	OBSERVACIONES: NO CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40.
--	--

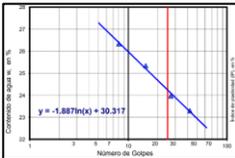
INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
SONDEO/PCA: PCA - 8				FECHA: JUNIO 2021				
LÍMITE LÍQUIDO								
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	DATOS
416	8.2	34.03	29.18	4.85	20.98	23.12	42	LL = 23.9 %
159	8.34	35.23	30.05	5.18	21.71	23.86	26	LP = 18.6 %
231	9.37	39.22	33.3	5.92	23.93	24.74	15	IP = 5.3 %

298	8.82	35.95	30.4	5.55	21.58	25.72	7	$C_R = \frac{W_L - W}{I_P} = 3.35$
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w = 3.34$
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)		$T_w = \frac{I_P}{f_w} = 1.59$
Peso en gramos								Long. inicial = 9.94 cm
18	8	24.63	22.02	2.61	14.02	18.62		Long. final = 9.88 cm
422	8.05	22.79	20.48	2.31	12.43	18.58		Contr. lineal = 0.60 %
							OBSERVACIONES: CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40 Y ES RETENIDO EN LA MALLA No. 200.	

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
SONDEO/PCA: PCA – 9						FECHA: JUNIO 2021		
LÍMITE LÍQUIDO								DATOS
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	
Peso en gramos								
17	8.14	18.26	16.38	1.88	8.24	22.82	36	LL = 24.4 %
350	8.01	20.32	17.92	2.4	9.91	24.22	26	LP = 16.2 %
19	8.11	24.13	20.7	3.43	12.59	27.24	13	IP = 8.2 %
375	7.87	23.65	20.07	3.58	12.2	29.34	6	$C_R = \frac{W_L - W}{I_P} = 0.92$
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w = 8.39$
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)		$T_w = \frac{I_P}{f_w} = 0.97$
Peso en gramos								Long. inicial = 9.93 cm
459	7.91	15.03	14.04	0.99	6.13	16.15		Long. final = 9.81 cm
429	7.9	15.35	14.31	1.04	6.41	16.22		Contr. lineal = 1.21 %
							OBSERVACIONES: CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40 Y ES RETENIDO EN LA MALLA No. 200.	

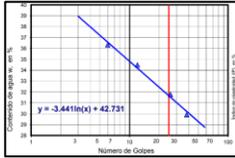
INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
SONDEO/PCA: PCA – 10						FECHA: JUNIO 2021		
LÍMITE LÍQUIDO								DATOS
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO		Nº GOLPES	

Peso en gramos						CONTENIDO DE AGUA w%		
85	8.21	30.33	26.15	4.18	17.94	23.30	42	LL = 24.2 %
437	8.1	38.14	32.33	5.81	24.23	23.98	27	LP = 20.2 %
104	8.54	38.17	32.18	5.99	23.64	25.34	15	IP = 4.0 %
462	8.13	33.31	28.06	5.25	19.93	26.34	8	$C_R = \frac{W_L - W}{I_p} = 4.09$
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w = 4.22$
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)		$T_w = \frac{I_p}{f_w} = 0.96$
								Peso en gramos
460	8.2	24.31	21.62	2.69	13.42	20.04		Long. final = 9.88 cm
369	8.04	22.59	20.13	2.46	12.09	20.35		Contr. lineal = 0.10 %



OBSERVACIONES: NO CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40.

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
SONDEO/PCA: PCA - 11						FECHA: JUNIO 2021		
LÍMITE LÍQUIDO								DATOS
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	
Peso en gramos								
88	8.34	25.5	21.55	3.95	13.21	29.90	38	LL = 31.7 %
79	8.25	27.87	23.14	4.73	14.89	31.77	26	LP = 23.4 %
112	8.5	28	23	5	14.5	34.48	12	IP = 8.3 %
144	7.81	26.65	21.63	5.02	13.82	36.32	6	$C_R = \frac{W_L - W}{I_p} = 3.28$
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w = 8.01$
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)		$T_w = \frac{I_p}{f_w} = 1.03$
								Peso en gramos
278	9.16	21.21	19	2.21	9.84	22.46		Long. final = 9.78 cm
296	8.86	20.63	18.33	2.3	9.47	24.29		Contr. lineal = 1.41 %



OBSERVACIONES: CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40 Y ES RETENIDO EN LA MALLA No. 200.

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								

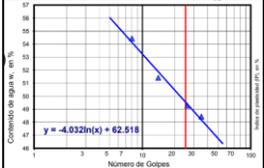
SONDEO/PCA: PCA – 12								FECHA: JUNIO 2021	
LÍMITE LÍQUIDO								DATOS	
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES		
Peso en gramos									
344	7.99	19	13.7	5.3	5.71	92.82	42	LL = 97.4 %	
427	7.95	21.28	14.73	6.55	6.78	96.61	27	LP = 37.0 %	
347	8.33	21.67	14.94	6.73	6.61	101.82	15	IP = 60.4 %	
426	7.91	21.49	14.44	7.05	6.53	107.96	8	$C_R = \frac{W_L - W}{I_p} = 0.88$	
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w = 21.03$	
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)			
Peso en gramos									
374	7.95	15.18	13.21	1.97	5.26	37.45	$T_w = \frac{I_p}{f_w} = 2.87$		
5	7.99	14.15	12.5	1.65	4.51	36.59	Long. inicial = 9.95 cm		
							Long. final = 8.45 cm		
							Contr. lineal = 15.08 %		

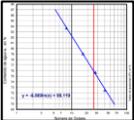
OBSERVACIONES: NO CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40.

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD									
SONDEO/PCA: PCA – 13								FECHA: JUNIO 2021	
LÍMITE LÍQUIDO								DATOS	
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES		
Peso en gramos									
225	9.25	24.14	21.63	2.51	12.38	20.27	42	LL = 23.2 %	
200	8.16	26.11	22.68	3.43	14.52	23.62	25	LP = 18.4 %	
283	9.34	25.74	22.36	3.38	13.02	25.96	15	IP = 4.8 %	
341	8.08	26.89	22.69	4.2	14.61	28.75	8	$C_R = \frac{W_L - W}{I_p} = 0.02$	
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w = 11.77$	
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)			
Peso en gramos									
101	8.14	21.29	19.2	2.09	11.06	18.90	$T_w = \frac{I_p}{f_w} = 0.41$		
112	8.5	22.01	19.95	2.06	11.45	17.99	Long. inicial = 9.85 cm		
							Long. final = 9.78 cm		
							Contr. lineal = 0.71 %		

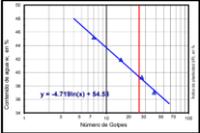
OBSERVACIONES: NO CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40.

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									

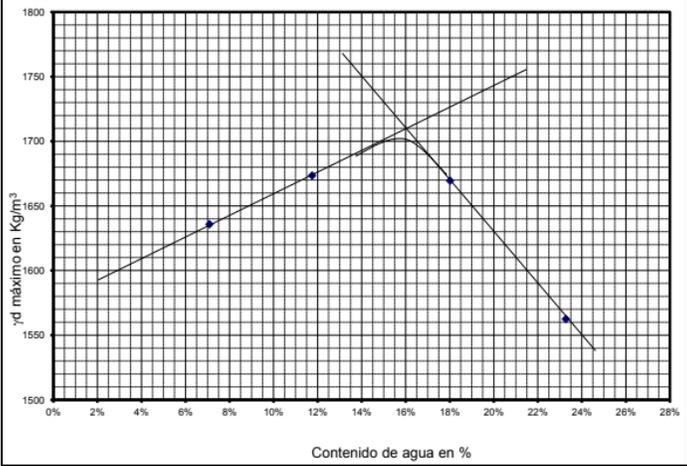
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
SONDEO/PCA: PCA - 14							FECHA: JUNIO 2021	
LÍMITE LÍQUIDO								DATOS
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	
Peso en gramos								
24	8.07	22.75	17.96	4.79	9.89	48.43	35	LL = 49.5 %
16	8.15	22.81	17.97	4.84	9.82	49.29	26	LP = 28.6 %
357	8.13	21.47	16.94	4.53	8.81	51.42	14	IP = 21.0 %
355	8.15	23.81	18.29	5.52	10.14	54.44	8	$C_R = \frac{W_L - W}{I_p} = 1.45$
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w = 9.37$
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)	$T_w = \frac{I_p}{f_w} = 2.24$	
Peso en gramos								
367	7.98	14.26	12.85	1.41	4.87	28.95	Long. inicial = 10.02 cm	
456	7.87	13.83	12.52	1.31	4.65	28.17	Long. final = 9.60 cm	
							Contr. lineal = 4.19 %	
				OBSERVACIONES: NO CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40.				

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
SONDEO/PCA: PCA - 15							FECHA: JUNIO 2021	
LÍMITE LÍQUIDO								DATOS
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	
Peso en gramos								
398	8.35	29.22	20.45	8.77	12.1	72.48	40	LL = 75.9 %
443	8.42	30.17	20.8	9.37	12.38	75.69	27	LP = 28.8 %
448	8.43	29.31	20.09	9.22	11.66	79.07	16	IP = 47.1 %
348	7.98	28.15	18.96	9.19	10.98	83.70	8	$C_R = \frac{W_L - W}{I_p} = 1.17$
LÍMITE PLÁSTICO								$f_w = 24.42$
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)	$T_w = \frac{I_p}{f_w} = 1.58$	
Peso en gramos								
441	8.43	22.61	19.41	3.2	10.98	29.14	Long. inicial = 9.93 cm	
397	8.23	20.08	17.45	2.63	9.22	28.52	Long. final = 8.79 cm	
							Contr. lineal = 11.48 %	
				OBSERVACIONES: NO CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40.				

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO Y DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
SONDEO/PCA: PCA – 16				FECHA: JUNIO 2021				
LÍMITE LÍQUIDO								
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA w%	Nº GOLPES	DATOS
126	8.23	24.51	20.11	4.4	11.88	37.04	38	LL = 69.0 %
214	8.16	26.77	21.52	5.25	13.36	39.30	27	LP = 21.7 %
289	9.5	25.99	21.12	4.87	11.62	41.91	15	IP = 47.3 %
136	8.74	27.02	21.33	5.69	12.59	45.19	7	$C_R = \frac{W_L - W}{I_P} = \frac{69.0 - 21.7}{47.3} = 1.10$
LÍMITE PLÁSTICO								
VIDRIO Nº	MASA VIDRIO	VIDRIO+SUELO HUMEDO	VIDRIO+SUELO SECO	AGUA	SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (w%)	Long. inicial =	Long. final =
15	8.08	20.2	18	2.2	9.92	22.18	9.85	9.21
26	9.18	21	18.93	2.07	9.75	21.23	6.50	6.50
								OBSERVACIONES: NO CRIBADO. LA DESCRIPCIÓN DEL SUELO REPORTADA EN ESTE INFORME, CORRESPONDE AL SUELO QUE PASA LA MALLA No. 40.

6. Peso seco máximo y contenido de agua óptimo

INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"	
SONDEO/PCA: PCA – 2 y 5	FECHA: JUNIO 2021
	
Contenido de agua óptimo (w óptimo) = 16.2 %	Peso seco máximo (γd) = 1709 kg/cm³

INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"	
SONDEO/PCA: PCA – 3	FECHA: JUNIO 2021

	Contenido de agua óptimo (w óptimo) = 16.3 %	Peso seco máximo (γ_d) = 1709 kg/cm³
--	---	--

INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"	
SONDEO/PCA: PCA – 3 y 6	FECHA: JUNIO 2021

	Contenido de agua óptimo (w óptimo) = 24.3 %	Peso seco máximo (γ_d) = 1822 kg/cm³
--	---	--

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

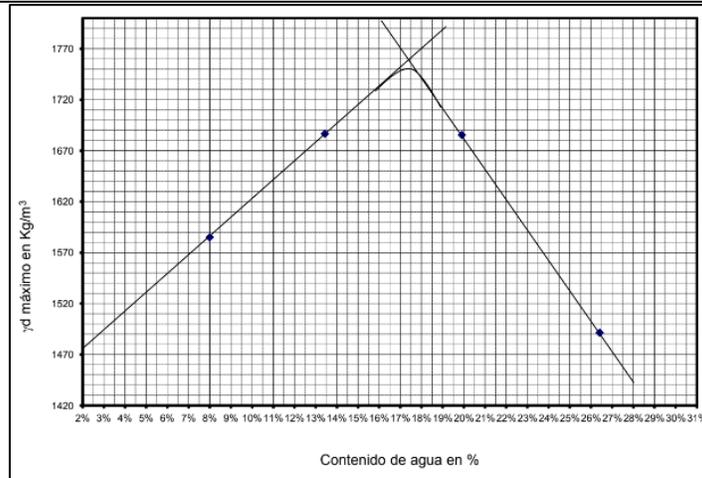
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"

SONDEO/PCA: PCA – 7 y 9

FECHA: JUNIO 2021



Contenido de agua óptimo ($w_{\text{óptimo}}$) = 17.5 %

Peso seco máximo (γ_d) = 1750 kg/cm³

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

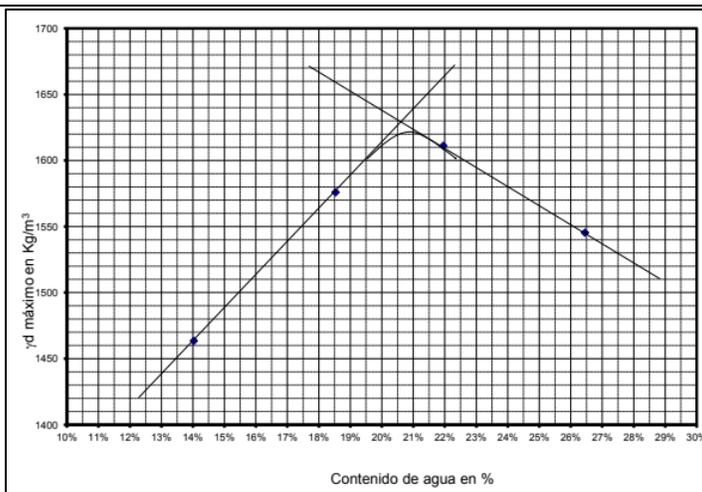
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"

SONDEO/PCA: PCA – 8

FECHA: JUNIO 2021



Contenido de agua óptimo ($w_{\text{óptimo}}$) = 20.7 %

Peso seco máximo (γ_d) = 1620 kg/cm³

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

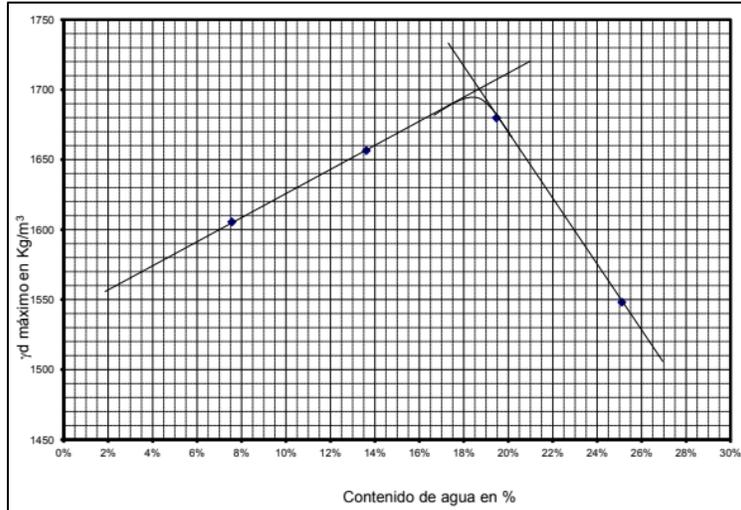
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"

SONDEO/PCA: PCA – 10

FECHA: JUNIO 2021



Contenido de agua óptimo ($w_{\text{óptimo}}$) = 18.3 %

Peso seco máximo (γ_d) = 1701 kg/cm³

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

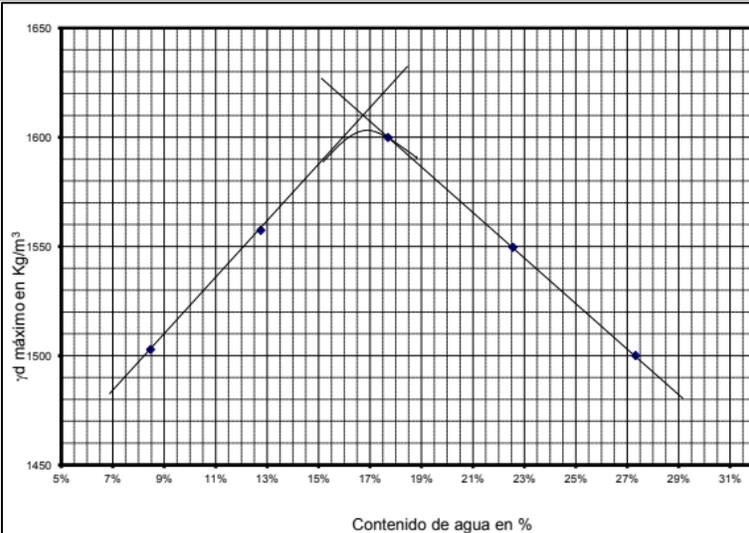
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"

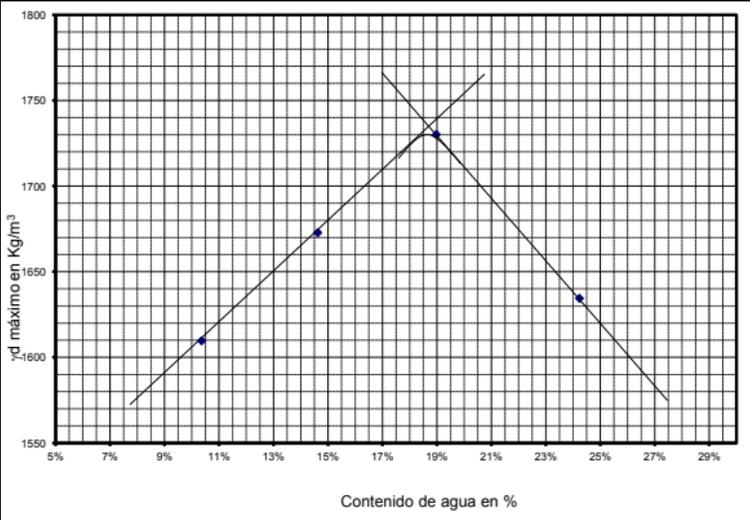
SONDEO/PCA: PCA – 11 y 14

FECHA: JUNIO 2021



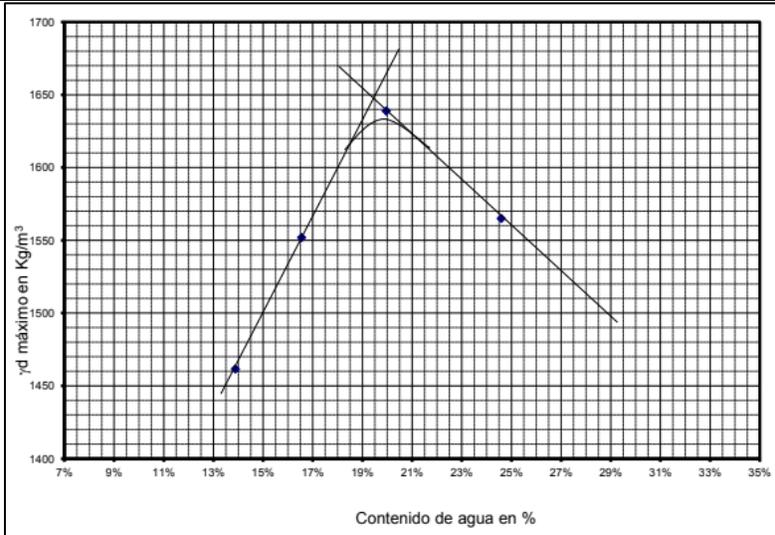
Contenido de agua óptimo (w óptimo) = 16.8 %	Peso seco máximo (γ_d) = 1609 kg/cm³
--	--

INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"	
SONDEO/PCA: PCA – 12	FECHA: JUNIO 2021



Contenido de agua óptimo (w óptimo) = 19.0 %	Peso seco máximo (γ_d) = 1730 kg/cm³
--	--

INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"	
SONDEO/PCA: PCA – 13	FECHA: JUNIO 2021



Contenido de agua óptimo (w óptimo) = 19.4 %

Peso seco máximo (γd) = 1647 kg/cm³

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

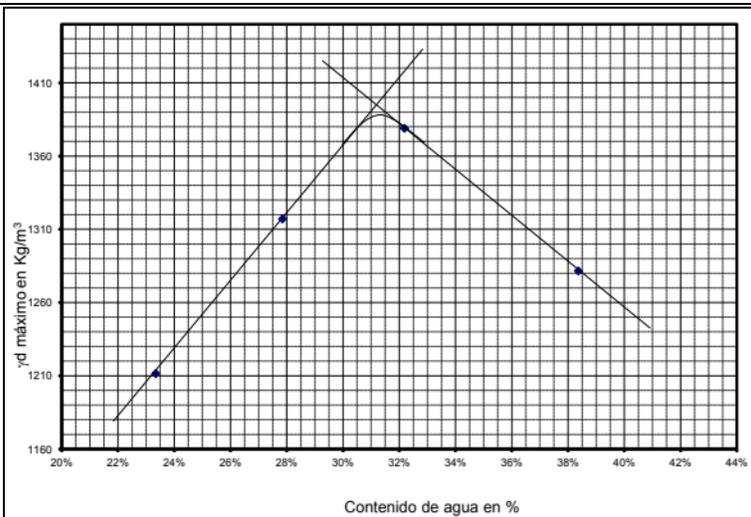
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"

SONDEO/PCA: PCA – 15

FECHA: JUNIO 2021



Contenido de agua óptimo (w óptimo) = 31.4 %

Peso seco máximo (γd) = 1387 kg/cm³

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

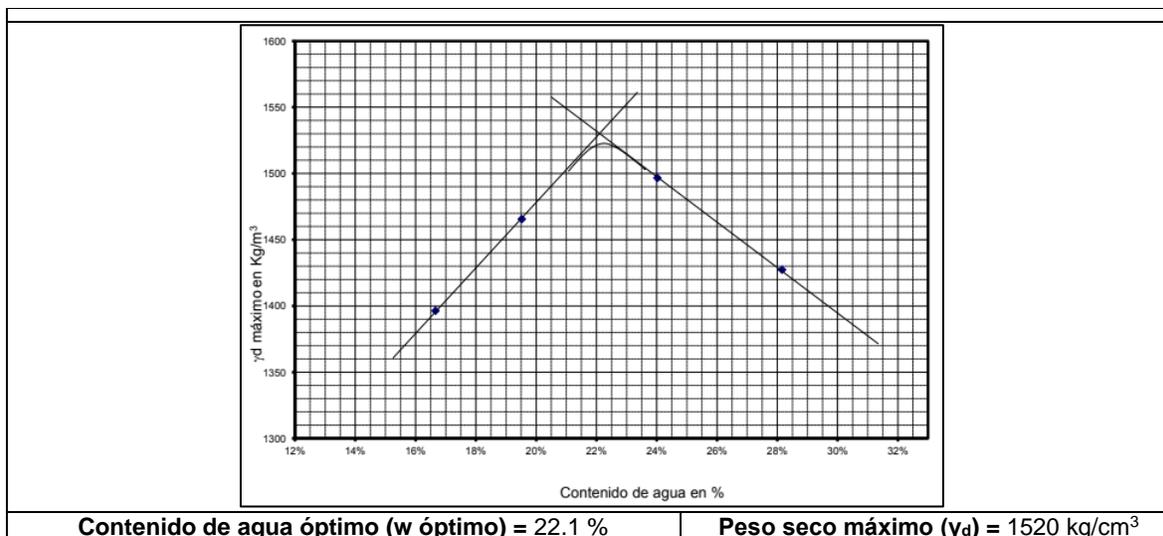
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA AASHTO STD VARIANTE "A"

SONDEO/PCA: PCA – 16

FECHA: JUNIO 2021

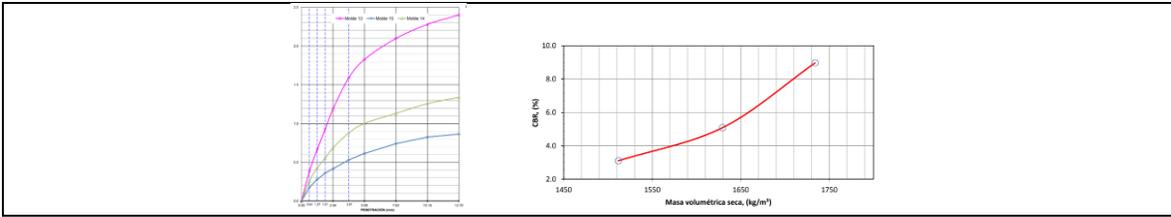


7. Peso seco suelto

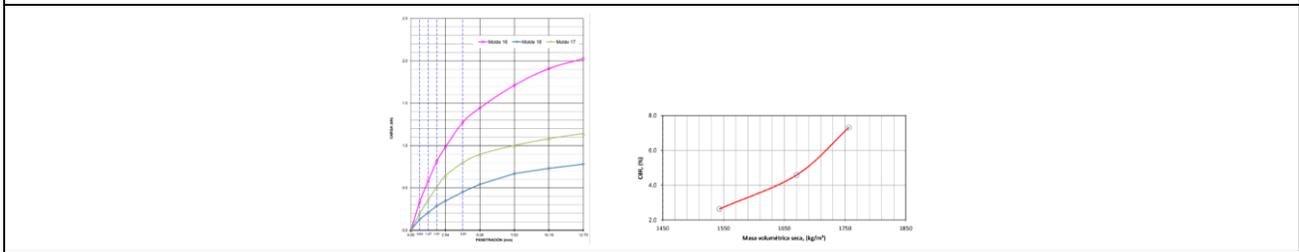
INFORME DE ENSAYO				
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO				
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO				
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000				
ORIGEN: TABASCO				
RESUMEN DE LABORATORIO: PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO			FECHA: JUNIO 2021	
PCA	SUCS	PESO DEL MATERIAL (kg)	VOLUMEN (m ³)	P.V.S.S. (kg/m ³)
2 y 5	SM	6.887	0.00473	1456.03
3 y 6	CH	6.183	0.00473	1307.19
7 y 9	CL	6.127	0.00473	1295.35
8	SM	6.201	0.00473	1310.99
10	CL-ML	6.146	0.00473	1299.37
11 y 14	ML	6.233	0.00473	1317.76
12	CH	7.001	0.00473	1480.13
13	CL-ML	6.332	0.00473	1338.69
15	CH	5.456	0.00473	1153.49
16	CH	5.825	0.00473	1231.50

8. Valor Relativo de Soporte

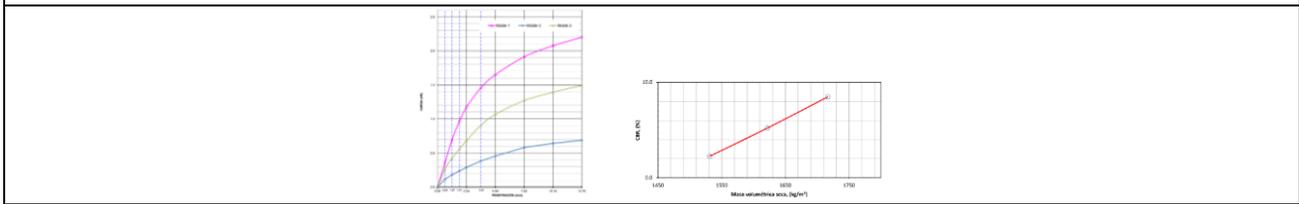
INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)	
SONDEO/PCA: PCA – 2	FECHA: JUNIO 2021



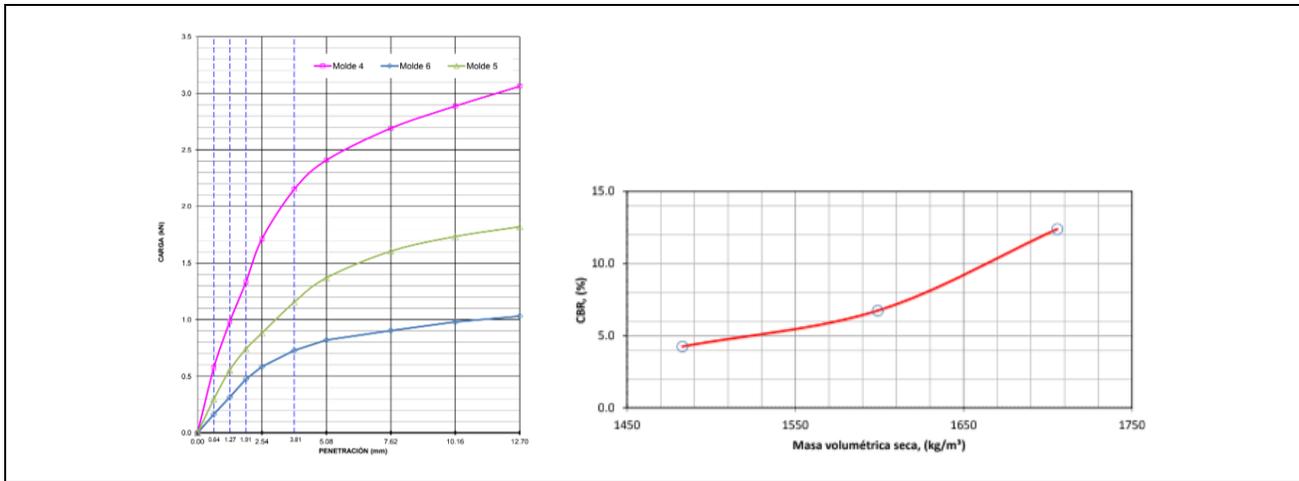
INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)	
SONDEO/PCA: PCA – 3	FECHA: JUNIO 2021



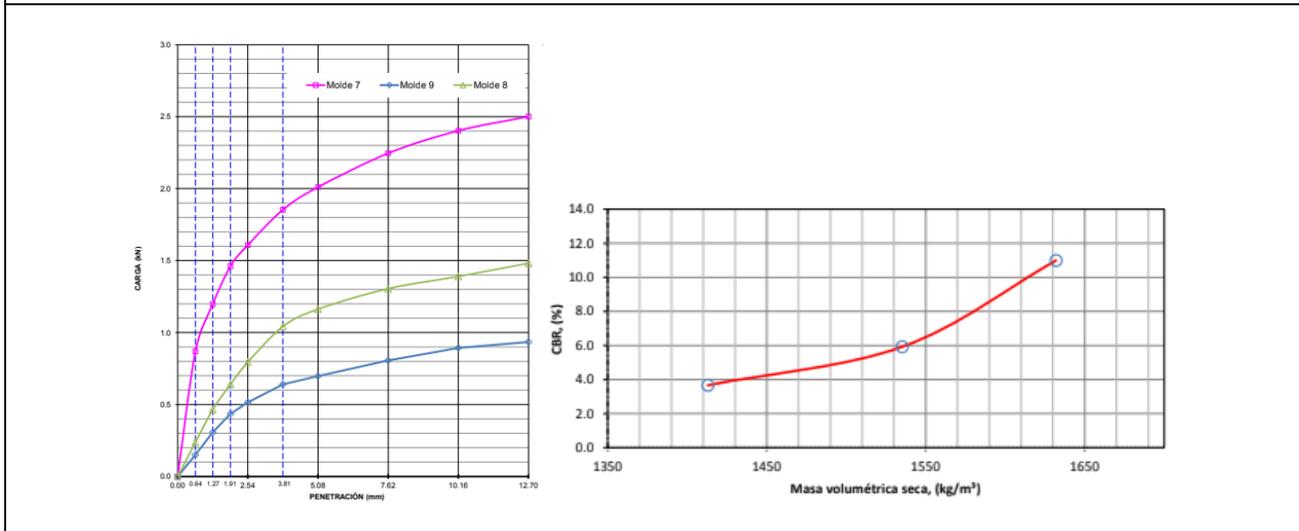
INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)	
SONDEO/PCA: PCA – 8	FECHA: JUNIO 2021



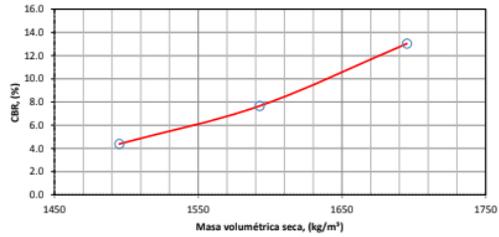
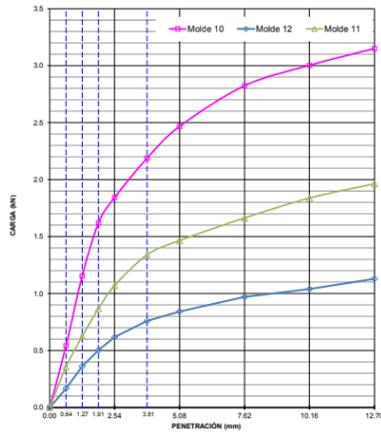
INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)	
SONDEO/PCA: PCA – 10	FECHA: JUNIO 2021



INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)	
SONDEO/PCA: PCA – 11	FECHA: JUNIO 2021



INFORME DE ENSAYO	
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO	
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO	
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000	
ORIGEN: TABASCO	
RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)	
SONDEO/PCA: PCA – 12	FECHA: JUNIO 2021



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

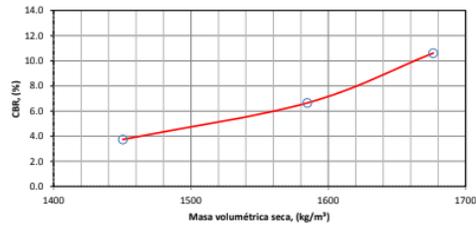
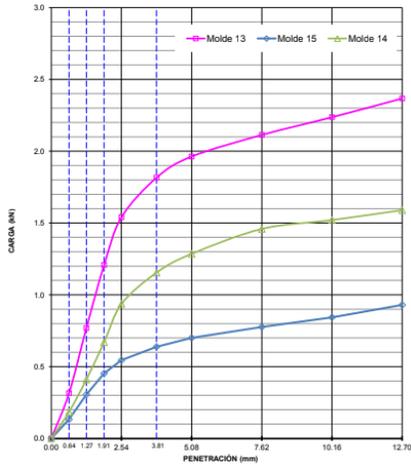
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

SONDEO/PCA: PCA – 13

FECHA: JUNIO 2021



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

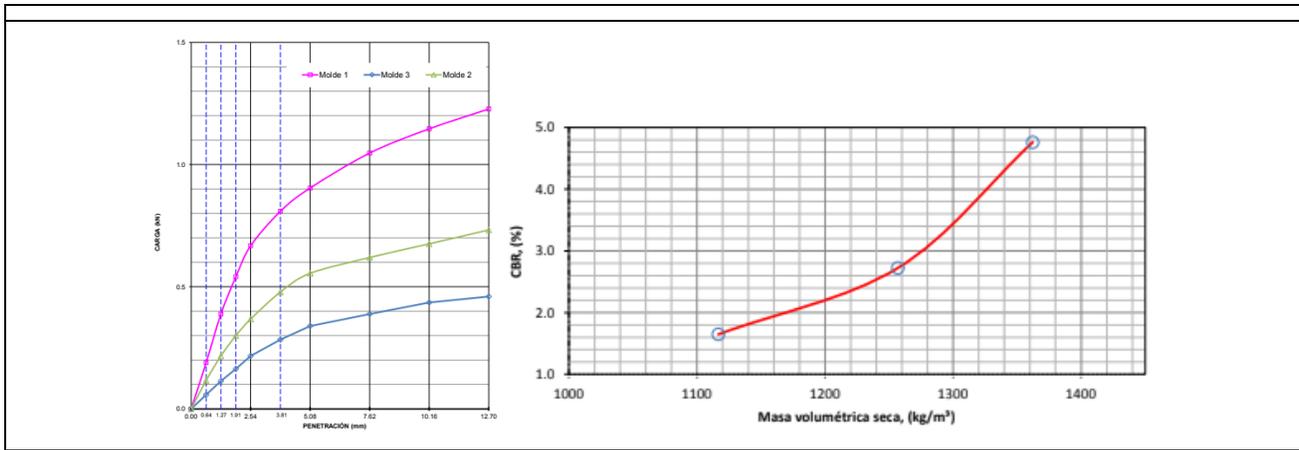
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

SONDEO/PCA: PCA – 15

FECHA: JUNIO 2021



INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

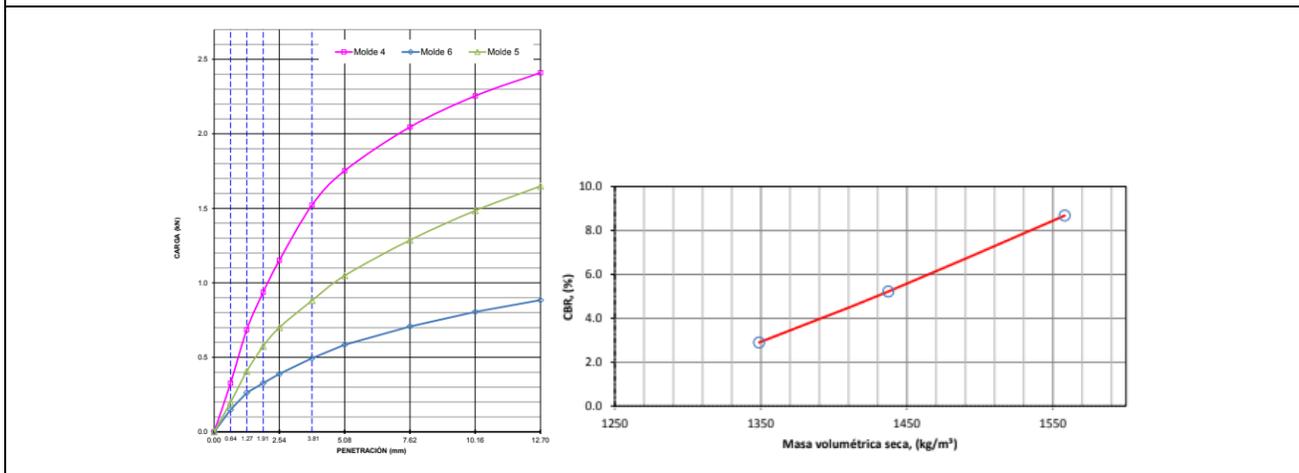
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: PRUEBA DE VALOR DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

SONDEO/PCA: PCA – 16

FECHA: JUNIO 2021



ANEXO E – PREUBAS DE LABORATORIO DE LOS BANCOS DE MATERIALES PARA TERRACERÍAS

1. Absorción

INFORME DE ENSAYO			
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO			
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO			
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000			
ORIGEN: TABASCO			
RESUMEN DE LABORATORIO: ABSORCIÓN			
BANCO: BOCA DEL CERRO		FECHA: JUNIO 2021	
MUESTRA	W _{SECO} (g)	W _{HUMEDO} (g)	ABSORCIÓN (%)
1	494.24	505.50	2.28
2	498.83	507.20	1.68
3	490.88	496.88	1.22
4	491.08	500.42	1.90

INFORME DE ENSAYO			
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO			
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO			
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000			
ORIGEN: TABASCO			
RESUMEN DE LABORATORIO: ABSORCIÓN			
BANCO: EL CORTIJO		FECHA: JUNIO 2021	
MUESTRA	W _{SECO} (g)	W _{HUMEDO} (g)	ABSORCIÓN (%)
1	270.10	276.00	2.14
2	327.90	332.00	1.23
3	242.400	249.40	2.81
4	304.50	312.60	2.59

2. Clasificación SUCS

Banco "Boca del Cerro"

INFORME DE ENSAYO			
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO			
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO			
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000			
ORIGEN: TABASCO			
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN S.U.C.S.			
BANCO: BOCA DEL CERRO		FECHA: JUNIO 2021	
MUESTRA 1	D ₁₀ =	2.0 mm	GRAVAS = 73.28 %
	D ₃₀ =	5.6 mm	ARENAS = 25.87 %
	D ₆₀ =	10 mm	FINOS = 0.84 %

	$C_u = 5.00$	SUCS	GW
	$C_c = 1.57$		

INFORME DE ENSAYO			
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO			
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO			
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000			
ORIGEN: TABASCO			
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN S.U.C.S.			
BANCO: BOCA DEL CERRO		FECHA: JUNIO 2021	
MUESTRA 2	$D_{10} = 2.0$ mm	GRAVAS = 72.76 %	
	$D_{30} = 5.0$ mm	ARENAS = 25.87 %	
	$D_{60} = 10$ mm	FINOS = 0.37 %	
	$C_u = 5.00$	SUCS	GW
	$C_c = 1.25$		

INFORME DE ENSAYO			
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO			
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO			
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000			
ORIGEN: TABASCO			
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN S.U.C.S.			
BANCO: BOCA DEL CERRO		FECHA: JUNIO 2021	
MUESTRA 3	$D_{10} = 2.0$ mm	GRAVAS = 72.32 %	
	$D_{30} = 5.6$ mm	ARENAS = 27.68 %	
	$D_{60} = 9.9$ mm	FINOS = 0.00 %	
	$C_u = 5.00$	SUCS	GW
	$C_c = 1.57$		

INFORME DE ENSAYO			
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO			
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO			
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000			
ORIGEN: TABASCO			
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN S.U.C.S.			
BANCO: BOCA DEL CERRO		FECHA: JUNIO 2021	
MUESTRA 4	$D_{10} = 2.0$ mm	GRAVAS = 76.33 %	
	$D_{30} = 5.6$ mm	ARENAS = 23.26 %	
	$D_{60} = 10$ mm	FINOS = 0.41 %	
	$C_u = 5.00$	SUCS	GW
	$C_c = 1.57$		

Banco "El Cortijo"

INFORME DE ENSAYO			
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO			
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO			
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000			
ORIGEN: TABASCO			
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN S.U.C.S.			
BANCO: EL CORTIJO		FECHA: JUNIO 2021	
MUESTRA 1	D₁₀ = 2.0 mm	GRAVAS = 71.57 %	
	D₃₀ = 5.6 mm	ARENAS = 28.05 %	
	D₆₀ = 10.0 mm	FINOS = 0.37 %	
	C_u = 5.00	SUCS	GW
	C_c = 1.57		

INFORME DE ENSAYO			
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO			
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO			
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000			
ORIGEN: TABASCO			
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN S.U.C.S.			
BANCO: EL CORTIJO		FECHA: JUNIO 2021	
MUESTRA 2	D₁₀ = 2.2 mm	GRAVAS = 72.55 %	
	D₃₀ = 4.9 mm	ARENAS = 27.16 %	
	D₆₀ = 10.0 mm	FINOS = 0.30 %	
	C_u = 5.00	SUCS	GW
	C_c = 1.25		

INFORME DE ENSAYO			
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO			
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO			
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000			
ORIGEN: TABASCO			
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN S.U.C.S.			
BANCO: EL CORTIJO		FECHA: JUNIO 2021	
MUESTRA 3	D₁₀ = 1.8 mm	GRAVAS = 79.04 %	
	D₃₀ = 5.0 mm	ARENAS = 20.96 %	
	D₆₀ = 9.9 mm	FINOS = 0.00 %	
	C_u = 5.00	SUCS	GW
	C_c = 1.57		

INFORME DE ENSAYO				
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO				
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO				
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000				
ORIGEN: TABASCO				
RESUMEN DE LABORATORIO: CLASIFICACIÓN S.U.C.S.				
BANCO: EL CORTIJO		FECHA: JUNIO 2021		
MUESTRA 4	D₁₀ =	2.0 mm	GRAVAS =	88.39 %
	D₃₀ =	5.6 mm	ARENAS =	11.33 %
	D₆₀ =	10.0 mm	FINOS =	0.27 %
	C_u =	5.00	SUCS	GW
	C_c =	1.57		

3. Compresión simple

INFORME DE ENSAYO							
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO							
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO							
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000							
ORIGEN: TABASCO							
RESUMEN DE LABORATORIO: COMPRESIÓN SIMPLE							
BANCO: BOCA DEL CERRO				FECHA: JUNIO 2021			
MUESTRA	DIÁMETRO (cm)			LONGITUD (cm)		CARGA MÁXIMA (kg)	COMPRESIÓN SIMPLE (kg/cm ²)
	f _s	f _m	f _i	L1	L2		
1	3.452	3.452	3.462	7.94	7.94	4600	490.56
2	3.452	3.452	3.460	7.53	7.53	2800	298.71
3	3.454	3.452	3.448	7.88	7.89	3800	406.18
4	3.450	3.452	3.452	7.39	7.39	2200	235.16

INFORME DE ENSAYO							
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO							
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO							
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000							
ORIGEN: TABASCO							
RESUMEN DE LABORATORIO: COMPRESIÓN SIMPLE							
BANCO: EL CORTIJO				FECHA: JUNIO 2021			
MUESTRA	DIÁMETRO (cm)			LONGITUD (cm)		CARGA MÁXIMA (kg)	COMPRESIÓN SIMPLE (kg/cm ²)
	f _s	f _m	f _i	L1	L2		
1	3.318	3.320	3.326	9.230	9.232	5000	577.11
2	3.300	3.296	3.298	9.376	9.378	3600	421.42
3	3.478	3.480	3.484	9.146	9.142	2000	210.19
4	3.474	3.472	3.470	8.892	8.874	4400	464.73

4. Granulometría

Banco "Boca del Cerro"

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 1									
BANCO: BOCA DEL CERRO					FECHA: JUNIO 2021				
Peso inicial de la muestra: 1459.35 g			Peso final de la muestra: 1453.05 g			Error: 0.43%			
MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)	MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)
2"	58.80	0.00	0.00	100.00	10	1.651	261.80	18.02	8.70
1 1/2"	36.10	52.60	3.62	96.38	20	0.833	62.30	4.29	4.41
1"	25.40	77.75	5.35	91.03	40	0.420	26.95	1.85	2.56
3/4"	19.05	68.00	4.68	86.35	60	0.250	10.70	0.74	1.82
1/2"	12.70	187.10	12.88	73.47	100	0.149	8.80	0.61	1.21
3/8"	9.52	235.30	16.19	57.28	200	0.074	5.40	0.37	0.84
N°4	4.75	444.10	30.56	26.72	Pasa N°200	---	12.25	---	---
Pasa N°4	---	388.20	---	---	SUMA	---	388.20	25.87	---
SUMA	---	1064.85	73.28	---	---	---	1453.05	---	---
% Gravas	73.28	OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.							
% Arenas	25.87								
% Finos	0.84								

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 2									
BANCO: BOCA DEL CERRO					FECHA: JUNIO 2021				
Peso inicial de la muestra: 1480.00 g			Peso final de la muestra: 1478.71 g			Error: 0.09%			
MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)	MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)
2"	58.80	0.00	0.00	100.00	10	1.651	278.40	18.83	8.42
1 1/2"	36.10	60.58	4.10	95.90	20	0.833	59.47	4.02	4.39
1"	25.40	80.54	5.45	90.46	40	0.420	30.78	2.08	2.31
3/4"	19.05	70.54	4.77	85.69	60	0.250	11.87	0.80	1.51
1/2"	12.70	198.70	13.44	72.25	100	0.149	9.54	0.65	0.86
3/8"	9.52	240.50	16.26	55.98	200	0.074	7.25	0.49	0.37
N°4	4.75	425.00	28.74	27.24	Pasa N°200	---	5.54	---	---
Pasa N°4	---	402.85	---	---	SUMA	---	402.85	26.87	---
SUMA	---	1075.86	72.76	---	---	---	1478.71	---	---
% Gravas	73.76	OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.							
% Arenas	26.87								
% Finos	0.37								

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 3									
BANCO: BOCA DEL CERRO							FECHA: JUNIO 2021		
Peso inicial de la muestra: 1590.00 g			Peso final de la muestra: 1582.95 g				Error: 0.44%		
MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)	MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)
2"	58.80	0.00	0.00	100.00	10	1.651	305.00	19.27	8.42
1 1/2"	36.10	62.54	3.95	96.05	20	0.833	70.85	4.48	3.94
1"	25.40	98.54	6.23	89.82	40	0.420	30.87	1.95	1.99
3/4"	19.05	89.50	5.65	84.17	60	0.250	11.48	0.73	1.26
1/2"	12.70	198.45	12.54	71.63	100	0.149	8.65	0.55	0.72
3/8"	9.52	298.40	18.85	52.78	200	0.074	4.50	0.28	0.43
N°4	4.75	397.30	25.10	27.68	Pasa N°200	---	6.87	0.43	0.00
Pasa N°4	---	438.22	---	---	SUMA	---	438.22	27.68	---
SUMA	---	1144.73	72.32	---	---	---	1582.95	---	---
% Gravas	72.32	OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.							
% Arenas	27.68								
% Finos	0.00								

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 4									
BANCO: BOCA DEL CERRO							FECHA: JUNIO 2021		
Peso inicial de la muestra: 1260.00 g			Peso final de la muestra: 1254.61 g				Error: 0.43%		
MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)	MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)
2"	58.80	0.00	0.00	100.00	10	1.651	175.00	13.95	9.72
1 1/2"	36.10	45.50	3.63	96.37	20	0.833	58.00	4.62	5.09
1"	25.40	58.30	4.65	91.73	40	0.420	35.40	2.82	2.27
3/4"	19.05	59.40	4.73	86.99	60	0.250	10.50	0.84	1.44
1/2"	12.70	178.50	14.23	72.76	100	0.149	6.50	0.52	0.92
3/8"	9.52	158.00	12.59	60.17	200	0.074	6.40	0.51	0.41
N°4	4.75	458.00	36.51	23.67	Pasa N°200	---	5.11	---	---
Pasa N°4	---	296.91	---	---	SUMA	---	296.91	23.26	---
SUMA	---	957.70	76.33	---	---	---	1254.61	---	---
% Gravas	76.33	OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.							
% Arenas	23.26								
% Finos	0.41								

Banco "El Cortijo"

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 1									
BANCO: EL CORTIJO					FECHA: JUNIO 2021				
Peso inicial de la muestra: 1388.00 g			Peso final de la muestra: 1387.99 g			Error: 0.00%			
MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)	MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)
2"	58.80	0.00	0.00	100.00	10	1.651	258.65	18.63	9.79
1 1/2"	36.10	60.54	4.36	95.64	20	0.833	70.65	5.09	4.70
1"	25.40	75.54	5.44	90.20	40	0.420	30.89	2.23	2.47
3/4"	19.05	50.68	3.65	86.54	60	0.250	11.25	0.81	1.66
1/2"	12.70	175.65	12.65	73.89	100	0.149	10.65	0.77	0.90
3/8"	9.52	265.50	19.13	54.76	200	0.074	7.25	0.52	0.37
N°4	4.75	365.54	26.34	28.43	Pasa N°200	---	5.20	---	---
Pasa N°4	---	394.54	---	---	SUMA	---	394.54	28.05	---
SUMA	---	993.45	71.57	---	---	---	1387.99	---	---
% Gravas	71.57	OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.							
% Arenas	28.05								
% Finos	0.37								

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 2									
BANCO: EL CORTIJO					FECHA: JUNIO 2021				
Peso inicial de la muestra: 1431.00 g			Peso final de la muestra: 1430.25 g			Error: 0.05%			
MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)	MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)
2"	58.80	0.00	0.00	100.00	10	1.651	258.60	18.08	9.37
1 1/2"	36.10	80.65	5.64	94.36	20	0.833	58.65	4.10	5.27
1"	25.40	100.54	7.03	87.33	40	0.420	41.54	2.90	2.37
3/4"	19.05	89.30	6.24	81.09	60	0.250	13.54	0.95	1.42
1/2"	12.70	205.40	14.36	66.73	100	0.149	9.54	0.67	0.75
3/8"	9.52	305.20	21.34	45.39	200	0.074	6.54	0.46	0.30
N°4	4.75	256.50	17.93	27.45	Pasa N°200	---	4.25	---	---
Pasa N°4	---	392.66	---	---	SUMA	---	392.66	27.16	---
SUMA	---	1037.59	72.55	---	---	---	1430.25	---	---
% Gravas	72.55	OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.							
% Arenas	27.16								
% Finos	0.30								

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 3									
BANCO: EL CORTIJO					FECHA: JUNIO 2021				
Peso inicial de la muestra: 1670.00 g			Peso final de la muestra: 1663.54 g			Error: 0.39%			
MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)	MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)
2"	58.80	0.00	0.00	100.00	10	1.651	205.50	12.35	8.61
1 1/2"	36.10	87.50	5.26	94.74	20	0.833	81.50	4.90	3.71
1"	25.40	105.58	6.35	88.39	40	0.420	26.54	1.60	2.11
3/4"	19.05	154.50	9.29	79.11	60	0.250	12.54	0.75	1.36
1/2"	12.70	203.54	12.24	66.87	100	0.149	10.50	0.63	0.73
3/8"	9.52	398.20	23.94	42.93	200	0.074	6.54	0.39	0.34
N°4	4.75	365.50	21.97	20.96	Pasa N°200	---	5.60	0.34	0.00
Pasa N°4	---	348.72	---	---	SUMA	---	348.72	20.96	---
SUMA	---	1314.82	79.04	---	---	---	1663.54	---	---
% Gravas	79.04	OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.							
% Arenas	20.96								
% Finos	0.00								

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 4									
BANCO: EL CORTIJO					FECHA: JUNIO 2021				
Peso inicial de la muestra: 2400.00 g			Peso final de la muestra: 2397.55 g			Error: 0.10%			
MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)	MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO DEL SUELO RETENIDO (g)	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL (%)	PORCIENTO QUE PASA (%)
2"	58.80	0.00	0.00	100.00	10	1.651	145.60	6.07	5.53
1 1/2"	36.10	50.65	2.11	97.89	20	0.833	60.54	2.53	3.01
1"	25.40	48.65	2.03	95.86	40	0.420	28.65	1.19	1.81
3/4"	19.05	60.65	2.53	93.33	60	0.250	15.65	0.65	1.16
1/2"	12.70	205.23	8.56	84.77	100	0.149	11.65	0.49	0.68
3/8"	9.52	1448.60	60.42	24.35	200	0.074	9.65	0.40	0.27
N°4	4.75	305.50	12.74	11.61	Pasa N°200	---	6.54	---	---
Pasa N°4	---	278.28	---	---	SUMA	---	278.28	11.33	---
SUMA	---	2119.28	88.39	---	---	---	2397.56	---	---
% Gravas	88.39	OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.							
% Arenas	11.33								
% Finos	0.27								

5. Peso volumétrico saturado y seco.

INFORME DE ENSAYO					
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO					
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO					
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000					
ORIGEN: TABASCO					
RESUMEN DE LABORATORIO: COMPRESIÓN SIMPLE					
BANCO: BOCA DEL CERRO			FECHA: JUNIO 2021		
Muestra	W _{seco} (g)	W _{humedo} (g)	Volumen (m ³)	Peso específico (t/m ³)	
				Seco	Húmedo
1	494.24	505.50	200.00	2.47	2.53
2	498.83	507.20	195.00	2.56	2.60
3	490.88	496.88	190.00	2.58	2.62
4	491.08	500.42	190.00	2.58	2.63

INFORME DE ENSAYO					
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO					
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO					
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000					
ORIGEN: TABASCO					
RESUMEN DE LABORATORIO: COMPRESIÓN SIMPLE					
BANCO: EL CORTIJO			FECHA: JUNIO 2021		
Muestra	W _{seco} (g)	W _{humedo} (g)	Volumen (m ³)	Peso específico (t/m ³)	
				Seco	Húmedo
1	270.10	276.00	110.00	2.46	2.51
2	327.90	332.00	130.00	2.52	2.55
3	242.40	249.40	100.00	2.42	2.49
4	304.50	312.60	130.00	2.34	2.40

ANEXO F – PRUEBAS DE LABORATORIO DE LOS BANCOS DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS

1. Granulometría

Banco “Boca del Cerro”.

INFORME DE ENSAYO						
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO						
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO						
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000						
ORIGEN: TABASCO						
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 1						
BANCO: BOCA DEL CERRO			FECHA: JUNIO 2021			
Análisis efectuado con la muestra de: 1459.35 gr Análisis efectuado con la muestra de: 1453.05 gr Error: 0.43 %						
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	TOTAL	
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	% Grava : 73.28	
1 ½"	38.10	52.60	3.62	96.38		
1"	25.00	77.75	5.35	91.03	% Arena : 25.87	
¾"	19.00	68.00	4.68	86.35		
½"	12.50	187.10	12.88	73.47	% Finos : 0.84	
⅜"	9.50	235.30	16.19	57.28		
Nº 4	4.75	444.10	30.56	26.72	D ₁₀ : 2.00 mm	
Pasa Nº 4	---	388.20	---	---	D ₃₀ : 5.60 mm	
Suma	---	1064.85	73.28	---	D ₆₀ : 10.00 mm	
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	COEFICIENTES	
10	2.000	261.80	18.02	8.70	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 5.00$	
20	0.850	62.30	4.29	4.41		
40	0.425	26.95	1.85	2.56		
60	0.250	10.70	0.74	1.82		
100	0.150	8.80	0.61	1.21		
200	0.075	5.40	0.37	0.84	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = 1.57$	
Pasa 200	---	12.25	---	---		
Suma	---	388.20	25.87	---		
OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.						

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 2

BANCO: BOCA DEL CERRO

FECHA: JUNIO 2021

Análisis efectuado con la muestra de: 1480.00 gr

Análisis efectuado con la muestra de: 1478.71 gr

Error: 0.09 %

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	TOTAL
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	% Grava : 72.76
1 ½"	38.10	60.58	4.10	95.90	
1"	25.00	80.54	5.45	90.46	% Arena : 26.87
¾"	19.00	70.54	4.77	85.69	
½"	12.50	198.70	13.44	72.25	% Finos : 0.37
⅜"	9.50	240.50	16.26	55.98	
Nº 4	4.75	425.00	28.74	27.24	D ₁₀ : 2.00 mm
Pasa Nº 4	---	402.85	---	---	D ₃₀ : 5.00 mm
Suma	---	1075.86	72.76	---	D ₆₀ : 10.00 mm

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	COEFICIENTES	
10	2.000	278.40	18.83	8.42	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$	5.00
20	0.850	59.47	4.02	4.39		
40	0.425	30.78	2.08	2.31		
60	0.250	11.87	0.80	1.51		
100	0.150	9.54	0.65	0.86		
200	0.075	7.25	0.49	0.37	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} =$	1.25
Pasa 200	---	5.54	---	---		
Suma	---	402.85	26.87	---		

OBSERVACIONES:

La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.

INFORME DE ENSAYO						
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO						
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO						
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000						
ORIGEN: TABASCO						
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 3						
BANCO: BOCA DEL CERRO			FECHA: JUNIO 2021			
Análisis efectuado con la muestra de: 1590.00 gr Análisis efectuado con la muestra de: 1582.95 gr Error: 0.44 %						
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	TOTAL	
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	% Grava : 72.32	
1 ½"	38.10	62.54	3.95	96.05	% Arena : 27.68	
1"	25.00	98.54	6.23	89.82	% Finos : 0.00	
¾"	19.00	89.50	5.65	84.17		
½"	12.50	198.45	12.54	71.63		
⅜"	9.50	298.40	18.85	52.78		
Nº 4	4.75	397.30	25.10	27.68	D ₁₀ : 2.00 mm	
Pasa Nº 4	---	438.22	---	---	D ₃₀ : 5.60 mm	
Suma	---	1144.73	72.32	---	D ₆₀ : 9.90 mm	
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	COEFICIENTES	
10	2.000	305.00	19.27	8.42	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 5.00$	
20	0.850	70.85	4.48	3.94		
40	0.425	30.87	1.95	1.99		
60	0.250	11.48	0.73	1.26		
100	0.150	8.65	0.55	0.72		
200	0.075	4.50	0.28	0.43	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = 1.57$	
Pasa 200	---	6.87	0.43	0.00		
Suma	---	438.22	27.68	---		
OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.						

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 4

BANCO: BOCA DEL CERRO

FECHA: JUNIO 2021

Análisis efectuado con la muestra de: 1260.00 gr

Análisis efectuado con la muestra de: 1254.61 gr

Error: 0.44 %

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	TOTAL
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	% Grava : 76.33
1 ½"	38.10	45.50	3.63	96.37	
1"	25.00	58.30	4.65	91.73	% Arena : 23.26
¾"	19.00	59.40	4.73	86.99	
½"	12.50	178.50	14.23	72.76	% Finos : 0.41
⅜"	9.50	158.00	12.59	60.17	
Nº 4	4.75	458.00	36.51	23.67	D ₁₀ : 2.00 mm
Pasa Nº 4	---	296.91	---	---	D ₃₀ : 5.60 mm
Suma	---	957.70	76.33	---	D ₆₀ : 10.00 mm

MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	COEFICIENTES	
10	2.000	175.00	13.95	9.72	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$	5.00
20	0.850	58.00	4.62	5.09		
40	0.425	35.40	2.82	2.27		
60	0.250	10.50	0.84	1.44		
100	0.150	6.50	0.52	0.92		
200	0.075	6.40	0.51	0.41	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} =$	1.57
Pasa 200	---	5.11	---	---		
Suma	---	296.91	23.26	---		

OBSERVACIONES:

La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.

Banco "El Cortijo"

INFORME DE ENSAYO						
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO						
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO						
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000						
ORIGEN: TABASCO						
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 1						
BANCO: EL CORTIJO				FECHA: JUNIO 2021		
Análisis efectuado con la muestra de: 1388.00 gr Análisis efectuado con la muestra de: 1387.99 gr Error: 0.00 %						
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	TOTAL	
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	% Grava :	71.57
1 ½"	38.10	60.54	4.36	95.64		
1"	25.00	75.54	5.44	90.20	% Arena :	28.05
¾"	19.00	50.68	3.65	86.54		
½"	12.50	175.65	12.65	73.89	% Finos :	0.37
⅜"	9.50	265.50	19.13	54.76		
Nº 4	4.75	365.54	26.34	28.43	D ₁₀ :	2.00 mm
Pasa Nº 4	---	394.54	---	---	D ₃₀ :	5.60 mm
Suma	---	993.45	71.57	---	D ₆₀ :	10.00 mm
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	COEFICIENTES	
10	2.000	258.65	18.63	9.79	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$	5.00
20	0.850	70.65	5.09	4.70		
40	0.425	30.89	2.23	2.47		
60	0.250	11.25	0.81	1.66		
100	0.150	10.65	0.77	0.90		
200	0.075	7.25	0.52	0.37	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} =$	1.57
Pasa 200	---	5.20	---	---		
Suma	---	394.54	28.05	---		
OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.						

INFORME DE ENSAYO						
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO						
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO						
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000						
ORIGEN: TABASCO						
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 2						
BANCO: EL CORTIJO				FECHA: JUNIO 2021		
Análisis efectuado con la muestra de: 1431.00 gr Análisis efectuado con la muestra de: 1430.25 gr Error: 0.05 %						
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	TOTAL	
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	% Grava : 72.55	
1 ½"	38.10	80.65	5.64	94.36		
1"	25.00	100.54	7.03	87.33	% Arena : 27.16	
¾"	19.00	89.30	6.24	81.09		
½"	12.50	205.40	14.36	66.73	% Finos : 0.30	
⅜"	9.50	305.20	21.34	45.39		
Nº 4	4.75	256.50	17.93	27.45	D ₁₀ : 2.00 mm	
Pasa Nº 4	---	392.66	---	---	D ₃₀ : 4.90 mm	
Suma	---	1037.59	72.55	---	D ₆₀ : 10.00 mm	
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	COEFICIENTES	
10	2.000	258.60	18.08	9.37	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 5.00$	
20	0.850	58.65	4.10	5.27		
40	0.425	41.54	2.90	2.37		
60	0.250	13.54	0.95	1.42		
100	0.150	9.54	0.67	0.75		
200	0.075	6.54	0.46	0.30	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = 1.25$	
Pasa 200	---	4.25	-	---		
Suma	---	392.66	27.16	---		
OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.						

INFORME DE ENSAYO						
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO						
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO						
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000						
ORIGEN: TABASCO						
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 3						
BANCO: EL CORTIJO				FECHA: JUNIO 2021		
Análisis efectuado con la muestra de: 1670.00 gr Análisis efectuado con la muestra de: 1663.54 gr Error: 0.39 %						
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	TOTAL	
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	% Grava : 79.04	
1 ½"	38.10	87.50	5.26	94.74	% Arena : 20.96	
1"	25.00	105.58	6.35	88.39	% Finos : 0.00	
¾"	19.00	154.50	9.29	79.11		
½"	12.50	203.54	12.24	66.87		
⅜"	9.50	398.20	23.94	42.93		
Nº 4	4.75	365.50	21.97	20.96	D ₁₀ : 1.80 mm	
Pasa Nº 4	---	348.72	---	---	D ₃₀ : 5.00 mm	
Suma	---	1314.82	79.04	---	D ₆₀ : 9.90 mm	
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	COEFICIENTES	
10	2.000	205.50	12.35	8.61	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$	5.00
20	0.850	81.50	4.90	3.71		
40	0.425	26.54	1.60	2.11		
60	0.250	12.54	0.75	1.36		
100	0.150	10.50	0.63	0.73		
200	0.075	6.54	0.39	0.34	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} =$	1.57
Pasa 200	---	5.60	0.34	0.00		
Suma	---	348.72	20.96	---		
OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.						

INFORME DE ENSAYO						
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO						
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO						
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000						
ORIGEN: TABASCO						
RESUMEN DE LABORATORIO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MUESTRA 4						
BANCO: EL CORTIJO				FECHA: JUNIO 2021		
Análisis efectuado con la muestra de: 2400.00 gr Análisis efectuado con la muestra de: 2397.56 gr Error: 0.10 %						
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	TOTAL	
2"	50.00	0.00	0.00	100.00	% Grava : 88.39	
1 ½"	38.10	50.65	2.11	97.89	% Arena : 11.33	
1"	25.00	48.65	2.03	95.86	% Finos : 0.27	
¾"	19.00	60.65	2.53	93.33	D ₁₀ : 2.00 mm	
½"	12.50	205.23	8.56	84.77	D ₃₀ : 5.60 mm	
⅜"	9.50	1448.60	60.42	24.35	D ₆₀ : 10.00 mm	
Nº 4	4.75	305.50	12.74	11.61		
Pasa Nº 4	---	278.28	---	---		
Suma	---	2119.28	88.39	---		
MALLA Nº	ABERTURA mm	PESO SUELO RETENIDO gr	RETENIDO PARCIAL %	PORCENTAJE QUE PASA %	COEFICIENTES	
10	2.000	145.60	6.07	5.53	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$	5.00
20	0.850	60.54	2.53	3.01		
40	0.425	28.65	1.19	1.81		
60	0.250	15.65	0.65	1.16		
100	0.150	11.65	0.49	0.68		
200	0.075	9.65	0.40	0.27	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} =$	1.57
Pasa 200	---	6.54	---	---		
Suma	---	278.28	11.33	---		
OBSERVACIONES: La prueba se realizó correctamente y el tamizado se realizó de forma manual.						

2. Intemperismo acelerado

Banco "Boca del Cerro"

INFORME DE ENSAYO							
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO							
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO							
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000							
ORIGEN: TABASCO							
RESUMEN DE LABORATORIO: INTEMPERISMO ACELERADO – MUESTRA 1							
BANCO: BOCA DEL CERRO				FECHA: JUNIO 2021			
Agregado grueso.		Peso de la muestra: 1005.3 gr					
MALLANº	PESO REQUERIDO (g)	PARCIAL RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDA DE PESO (B – C)	PORCENTAJE PÉRDIDA (D/Bx100)	PÉRDIDA DE PESO DE LA PORCIÓN (ExA)
3/4" - 1/2"	500 ± 10	50%	501.90	499.2	2.70	0.54%	0.269%
1/2" - 3/8"	300 ± 5	50%	503.4	500.7	2.70	0.54%	0.269%
S =		100%				Pérdida de peso = 0.54%	
Observaciones:							

INFORME DE ENSAYO							
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO							
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO							
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000							
ORIGEN: TABASCO							
RESUMEN DE LABORATORIO: INTEMPERISMO ACELERADO – MUESTRA 2							
BANCO: BOCA DEL CERRO				FECHA: JUNIO 2021			
Agregado grueso.		Peso de la muestra: 600.60 gr					
MALLANº	PESO REQUERIDO (g)	PARCIAL RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDA DE PESO (B – C)	PORCENTAJE PÉRDIDA (D/Bx100)	PÉRDIDA DE PESO DE LA PORCIÓN (ExA)
3/4" - 1/2"	500 ± 10	50%	300.5	274.2	26.30	8.75%	4.379%
1/2" - 3/8"	300 ± 5	50%	300.1	273.8	26.30	8.76%	4.379%
S =		100%				Pérdida de peso = 8.76%	
Observaciones:							

INFORME DE ENSAYO							
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO							
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO							
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000							
ORIGEN: TABASCO							
RESUMEN DE LABORATORIO: INTEMPERISMO ACELERADO – MUESTRA 3							
BANCO: BOCA DEL CERRO				FECHA: JUNIO 2021			
Agregado grueso.		Peso de la muestra: 1504.10 gr					
MALLANº	PESO REQUERIDO (g)	PARCIAL RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDA DE PESO (B – C)	PORCENTAJE PÉRDIDA (D/Bx100)	PÉRDIDA DE PESO DE LA PORCIÓN (ExA)
3/4" - 1/2"	500 ± 10	67%	1003.3	1002.8	0.50	0.05%	0.033%
1/2" - 3/8"	300 ± 5	33%	500.80	485.8	15.00	3.00%	0.997%
S =		100%				Pérdida de peso = 1.03%	
Observaciones:							

INFORME DE ENSAYO							
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO							
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO							
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000							
ORIGEN: TABASCO							
RESUMEN DE LABORATORIO: INTEMPERISMO ACELERADO – MUESTRA 4							
BANCO: BOCA DEL CERRO				FECHA: JUNIO 2021			
Agregado grueso.		Peso de la muestra: 803.30 gr					
MALLANº	PESO REQUERIDO (g)	PARCIAL RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDA DE PESO (B – C)	PORCENTAJE PÉRDIDA (D/Bx100)	PÉRDIDA DE PESO DE LA PORCIÓN (ExA)
3/4" - 1/2"	500 ± 10	63%	502.70	499.9	2.80	0.56%	0.349%
1/2" - 3/8"	300 ± 5	37%	300.6	287.3	13.30	4.42%	1.656%
S =		100%				Pérdida de peso = 2.00%	
Observaciones:							

Banco "El Cortijo"

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: INTEMPERISMO ACELERADO – MUESTRA 1								
BANCO: EL CORTIJO						FECHA: JUNIO 2021		
Agregado grueso.		Peso de la muestra: 1011.60 gr						
MALLANº	PESO REQUERIDO (g)	PARCIAL RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDA DE PESO (B – C)	PORCENTAJE PÉRDIDA (D/Bx100)	PÉRDIDA DE PESO DE LA PORCIÓN (ExA)	
3/4" - 1/2"	500 ± 10	50%	506.00	509.5	-3.50	-0.69%	-0.346%	
1/2" - 3/8"	300 ± 5	50%	505.60	507.2	-1.60	-0.32%	-0.158%	
S =		100%				Pérdida de peso =		-0.50%
Observaciones:								

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: INTEMPERISMO ACELERADO – MUESTRA 2								
BANCO: EL CORTIJO						FECHA: JUNIO 2021		
Agregado grueso.		Peso de la muestra: 804.20 gr						
MALLANº	PESO REQUERIDO (g)	PARCIAL RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDA DE PESO (B – C)	PORCENTAJE PÉRDIDA (D/Bx100)	PÉRDIDA DE PESO DE LA PORCIÓN (ExA)	
3/4" - 1/2"	500 ± 10	62%	500.00	501.8	-1.80	-0.36%	-0.224%	
1/2" - 3/8"	300 ± 5	38%	304.20	305.2	-1.00	-0.33%	-0.124%	
S =		100%				Pérdida de peso =		-0.35%
Observaciones:								

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: INTEMPERISMO ACELERADO – MUESTRA 3								
BANCO: EL CORTIJO						FECHA: JUNIO 2021		
Agregado grueso.		Peso de la muestra: 1507.80 gr						
MALLANº	PESO REQUERIDO (g)	PARCIAL RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDA DE PESO (B – C)	PORCENTAJE PÉRDIDA (D/Bx100)	PÉRDIDA DE PESO DE LA PORCIÓN (ExA)	
3/4" - 1/2"	500 ± 10	66%	999.00	1001.20	-2.20	-0.22%	-0.146%	
1/2" - 3/8"	300 ± 5	34%	508.80	510.10	-1.30	-0.26%	-0.086%	
S =		100%				Pérdida de peso =		-0.23%
Observaciones:								

INFORME DE ENSAYO								
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO								
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO								
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000								
ORIGEN: TABASCO								
RESUMEN DE LABORATORIO: INTEMPERISMO ACELERADO – MUESTRA 4								
BANCO: EL CORTIJO						FECHA: JUNIO 2021		
Agregado grueso.		Peso de la muestra: 809.00 gr						
MALLANº	PESO REQUERIDO (g)	PARCIAL RETENIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PÉRDIDA DE PESO (B – C)	PORCENTAJE PÉRDIDA (D/Bx100)	PÉRDIDA DE PESO DE LA PORCIÓN (ExA)	
3/4" - 1/2"	500 ± 10	63%	508.80	509.70	-0.90	-0.18%	-0.111%	
1/2" - 3/8"	300 ± 5	37%	300.20	300.60	-0.40	-0.13%	-0.049%	
S =		100%				Pérdida de peso =		-0.16%
Observaciones:								

3. Abrasión en máquina tipo Ángeles

Banco "Boca del Cerro"

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ABRASIÓN EN MÁQUINA TIPO ÁNGELES – MUESTRA 1									
BANCO: BOCA DEL CERRO						FECHA: JUNIO 2021			
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA						PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO	
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 100 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	mm	Nº						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5002.40	3392.50	32.2
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA						PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO	
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 500 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5002.00	1871.80	62.6
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ABRASIÓN EN MÁQUINA TIPO ÁNGELES – MUESTRA 2									
BANCO: BOCA DEL CERRO					FECHA: JUNIO 2021				
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO		
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 100 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	mm	Nº						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5002.70	3490.30	30.2
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO		
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 500 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)						

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ABRASIÓN EN MÁQUINA TIPO ÁNGELES – MUESTRA 3									
BANCO: BOCA DEL CERRO					FECHA: JUNIO 2021				
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO		
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 100 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	mm	Nº						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5007.05	3780.30	24.5
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO		

GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 500 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5006.10	2048.40	59.1
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ABRASIÓN EN MÁQUINA TIPO ÁNGELES – MUESTRA 4									
BANCO: BOCA DEL CERRO					FECHA: JUNIO 2021				
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO		
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 100 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	mm	Nº						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5006.30	3740.00	25.3
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO		
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 500 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)						

Banco "El Cortijo"

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ABRASIÓN EN MÁQUINA TIPO ÁNGELES – MUESTRA 1									
BANCO: EL CORTIJO					FECHA: JUNIO 2021				

COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO		
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 100 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	mm	Nº						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5006.00	3705.60	26.0
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					

COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO		
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 500 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5005.10	1817.10	63.7
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO

CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO

TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000

ORIGEN: TABASCO

RESUMEN DE LABORATORIO: ABRASIÓN EN MÁQUINA TIPO ÁNGELES – MUESTRA 2

BANCO: EL CORTIJO

FECHA: JUNIO 2021

COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO		
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 100 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	mm	Nº						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5006.70	3271.50	34.7
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					

COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA		RESULTADO		
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 500 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5007.10	1169.20	76.6

25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ABRASIÓN EN MÁQUINA TIPO ÁNGELES – MUESTRA 3									
BANCO: EL CORTIJO					FECHA: JUNIO 2021				
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA			RESULTADO	
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 100 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	mm	Nº						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5020.90	3952.20	21.3
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA			RESULTADO	
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 500 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5020.10	2148.80	57.2
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					

INFORME DE ENSAYO									
PROYECTO: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERÍA DEL CAMINO CORTIJO NUEVO-NUEVO PROGRESO									
CARRETERA: CORTIJO NUEVO - NUEVO PROGRESO									
TRAMO: KM 0+000 AL KM 8+000									
ORIGEN: TABASCO									
RESUMEN DE LABORATORIO: ABRASIÓN EN MÁQUINA TIPO ÁNGELES – MUESTRA 4									
BANCO: EL CORTIJO					FECHA: JUNIO 2021				
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA					PESOS DE LA PRUEBA			RESULTADO	
GRANULOMETRÍA				PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTREO A 100 RPM (%)
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA			NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
mm	Nº	mm	Nº						
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5018.70	4063.00	19.0

25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA DE PRUEBA									
GRANULOMETRÍA					PESOS DE LA PRUEBA				RESULTADO
PASA POR LA MALLA		RETIENE EN LA MALLA		PESO DE LA MUESTRA (g)	CARGA ABRASIVA		DATOS DE LA PRUEBA		DESGASTE DEL MATERIAL PÉTRICO A 500 RPM (%)
mm	Nº	NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)		NÚMERO DE ESFERAS	PESO TOTAL (g)	PESO INICIAL Wi (g)	PESO FINAL Wf (g)	
37.5	1 1/2"	25.0	1"	1250 ± 25	12	5000 ± 25	5019.80	2232.00	55.5
25.0	1"	19.0	3/4"	1250 ± 25					
19.0	3/4"	12.5	1/2"	1250 ± 10					
12.5	1/2"	9.5	3/8"	1250 ± 10					