



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE. FRACCIONAMIENTO

“LAS GARZAS”; LA PRIMAVERA, HGO.

MEMORIA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

FABIOLA URIBE BARRÓN

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. OCTUBRE 2009.

**BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

ÍNDICE

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	i
OBJETIVO.....	ii
JUSTIFICACIÓN.....	ii
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	1
CAPÍTULO II. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LAS VÍAS TERRESTRES	10
CAPÍTULO III. CALIDAD DE MATERIALES EN SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS	15
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍAS ACTUALES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	21
CAPÍTULO V. DRENAJE EN PAVIMENTOS.....	54
CAPÍTULO VI. EL ESTUDIO FRACCIONAMIENTO “LAS GARZAS”.....	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	117
BIBLIOGRAFÍA	119
ANEXOS I, II	120

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Querétaro.

A mis maestros por darme la oportunidad de hacerme de valiosos conocimientos. Además de su gran amistad.

Al Sr. Juventino García Becerra, por su invaluable y fundamental apoyo para la realización de este trabajo.

Al M. en I. José Antonio Gómez López por su apoyo para el logro de este trabajo.

A Gabriela Pérez, Gisela Morales, Araceli García por su apoyo incondicional a lo largo de este tiempo.

A mis padres, porque cada día de mi vida han sido mi fortaleza para emprender nuevos retos.

A mis hermanos Carlos, Daniel y Julio, por su apoyo desinteresado, por su amor y comprensión. A mis cuñadas Esther, Blanca y Alejandra, también por sus atenciones oportunas.

Dedico especialmente este trabajo, símbolo del esfuerzo a lo largo de mi preparación académica a mi hermano Horacio, que me acompaña aún más cada instante desde el momento en que Dios lo tuvo a su diestra.

A aquellos que se acercan a este trabajo como parte de su formación académica.

Y a todos aquellos que, de algún modo han formado parte de este recorrido académico, a los que han creído en mí, a los que me han permitido compartir sueños y proyectos con ellos; porque hasta con su sonrisa me alentaron a continuar.

RESUMEN

El presente trabajo presenta las metodologías de diseño de pavimentos flexibles más utilizados en México, con la finalidad de tener un conocimiento más detallado de cada una mostrando la aplicación real (una de ellas en específico, metodología del Instituto de investigación de la UNAM) en campo, en la obra del Fraccionamiento "Las Garzas". Es entonces que en el primer capítulo se muestran las generalidades de los pavimentos a manera de introducción al conocimiento de los mismos; en el segundo se habrá de tratar lo relacionado a la clasificación de los suelos, desde el punto de las vías terrestres, para resaltar la importancia que impera en una obra de ese tipo; en el tercero se abordará la calidad de los materiales así como la normatividad de los mismos en los asuntos carreteros, con el afán de hacer notar su relevancia. En el capítulo cuarto se abordarán propiamente las metodologías más usadas para pavimentos flexibles; en un quinto capítulo el imprescindible tema del drenaje. Y por último se muestra el estudio de la obra del Fraccionamiento a manera de ejemplo aplicativo real y práctico en campo.

ABSTRACT

This paper presents the design methodologies used in flexible pavements over Mexico, in order to have more detailed knowledge of each one showing the real implementation (one of them specifically, research methodology of the Institute of UNAM) in field in the work of the Fractionation "Las Garzas". It is then that the first chapter in the generalities of the pavement as an introduction to the knowledge thereof, the second will have to deal with matters relating to the classification of soils, from the point of land routes, to highlight the importance of prevailing in a work of this kind, in the third will address the quality of materials and the regulations thereof on highway issues, in an effort to highlight its importance. In the fourth chapter will address the most common methods used strictly for flexible pavements, in the fifth chapter indispensable item of the draw. And finally it shows the study of the works by way of example Fractionation real applicative and practical field.

OBJETIVOS

- Lograr un conocimiento general de las metodologías y de los elementos a considerar para el mejor diseño que de las bases para el criterio al proporcionar las recomendaciones al cliente, específicamente para el proyecto del Fraccionamiento "Las Garzas".
- La distinción de las Metodologías de diseño de pavimentos flexibles más utilizadas en México. Mostrar la que se adecua mejor a las condiciones que se presentan en el proyecto aquí expuesto, en forma demostrativa de uno de los métodos básicos y más usados, encaminado al mejor criterio para recomendación al cliente.
- Mostrar los diferentes aspectos a considerar en el diseño de un pavimento, específicamente de un pavimento flexible.
- Con todo esto y en base al análisis de las diferentes características de proyecto, en general, tener herramientas para un buen criterio de diseño.

Así también para aquellos que no tuvieron la oportunidad de hacerse de conocimientos académicos acerca del tema; se espera sea una buena herramienta de apoyo, dejando claro que el criterio del mejor diseño con sus elementos respectivos comprende más allá de lo aquí expuesto, implica el criterio obtenido por propia experiencia y conocimiento en el tema y por ello se deja a responsabilidad de quien lo asume a su cargo.

JUSTIFICACIÓN

En cualquier estudio encaminado a la solución de problemáticas ligadas a la ingeniería es necesario realizar análisis oportunos de las características que comprende dicha problemática, y en base a eso se toma la mejor metodología para su óptima solución. En el caso que se aborda aquí se trata de enriquecer o proporcionar los conocimientos de manera general en lo que a pavimentos se refiere, específicamente de pavimentos flexibles. En el presente trabajo solo se hace hincapié en uno de los métodos para diseño de pavimento (Instituto de Ingeniería de la UNAM), por el estudio a que se dedica esta memoria; que, como se dijo antes por el análisis de sus características fue el más adecuado u óptimo para su diseño. No obstante se abordan dos más para enriquecer el conocimiento sobre diseño de pavimentos, además de otras características que es necesario conocer para un buen criterio al atender las necesidades del cliente que solicita una solución para un proyecto dado.

Con todo ello, además, es una herramienta de apoyo a aquellos que se acerquen a este trabajo y deseen involucrarse en el campo de los proyectos carreteros y de manera puntual en proyectos de pavimentos. Así también para aquellos que no tuvieron la oportunidad de hacerse de conocimientos académicos acerca del tema; se espera sea una buena herramienta de apoyo, dejando claro que el criterio del mejor diseño con sus elementos respectivos comprende más allá de lo aquí expuesto, y como ya se dijo antes, implica el criterio obtenido por propia experiencia y conocimiento en el tema y por ello se deja a responsabilidad de quien lo asume a su cargo.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

Para que un pavimento funcione de manera eficiente se deben considerar ciertas condiciones necesarias entre las que destacan:

- Anchura
- Trazo horizontal y vertical
- Resistencia adecuada a las cargas para evitar fallas y los agrietamientos
- Adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento, aún en condiciones críticas (como el caso del pavimento húmedo).

A este mismo respecto, deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Además de una adecuada visibilidad, y algo que tampoco se debe dejar de lado y no menos importante, que posea un paisaje agradable para no provocar fatigas; aunque en definitiva hay que dejar claro que en orden de importancia, si esto se habrá de contraponer a lo arriba mencionado, se habrá de dar prioridad a aquello.

Hablando pues, de los esfuerzos en un pavimento, estos decrecen a medida que se gana profundidad, es decir, son inversamente proporcionales a la profundidad. Por tanto será preciso colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los materiales que se colocan en los terraplenes; además de que son los materiales que comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos. (*Corro y Prado, 1999*).

La forma de dividir en capas, hecho en un pavimento, resulta de un factor económico, pues cuando se determina el espesor de una capa, el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. Así la resistencia de las diferentes capas no solo depende del material que las conforma, también influye el proceso constructivo: siendo dos factores importantes: la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, este se consolida por efecto de cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes. (*Ídem*).

TIPOS DE PAVIMENTOS.

Un pavimento se puede considerar como el conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a las capas inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Bajo esta idea se pueden clasificar de la manera siguiente:

Rígidos. Losas de concreto hidráulico con un armado de acero, con un costo inicial más elevado. Tiene un periodo de vida de entre 20 y 40 años. Su mantenimiento es mínimo y regularmente se realiza en las juntas de las losas.

Flexibles. Es más económico en su construcción inicial. Tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años; pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil, Está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la subbase.

Terracerías. Es un conjunto de obras compuestas de cortes y terraplenes, formadas principalmente por la subrasante y el cuerpo del terraplén, constituido generalmente por materiales no seleccionados y se dice que es la subestructura del pavimento.

FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO.

Conceptos.

Pavimento: Conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Tránsito: Es la sollicitación directa al sistema estructural que constituye el pavimento, es bajo el paso repetido de los vehículos que los pavimentos se deterioran (*Castelán, 1995*).

Tránsito en el carril de proyecto.

Tratándose de tres o más carriles de operación en un sentido, el flujo se asemeja a una corriente hidráulica.

La mayor velocidad y capacidad (en una zona urbana) se encuentra regularmente en carriles centrales; los menores volúmenes con menor capacidad, también menores velocidades se hallan en los carriles laterales en que se presentan fricciones por pasadas de taxis y autobuses; así también en vueltas a la derecha y a la izquierda. El menor flujo, entonces, se encuentra en el carril más cercano a la acera.

No así en carreteras, aquí los carriles laterales están diferenciados; el carril más cercano al separador central para vehículos más rápidos, rebases, mientras que los mayores volúmenes estarán en el carril inmediato al acotamiento con velocidad relativamente baja.

Clasificación de carreteras.

Caminos y carreteras.

Algunos acostumbran denominar CAMINOS a las vías rurales, mientras que el nombre de CARRETERAS se lo aplican a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos.

La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.

Las carreteras se han clasificado de diferentes maneras en diferentes lugares del mundo, ya sea con arreglo al fin que con ellas se persigue o por su transitabilidad.

En la práctica vial mexicana se pueden distinguir varias clasificaciones dadas en otros países. Ellas son: clasificación por transitabilidad, clasificación por su aspecto administrativo y clasificación técnica oficial.

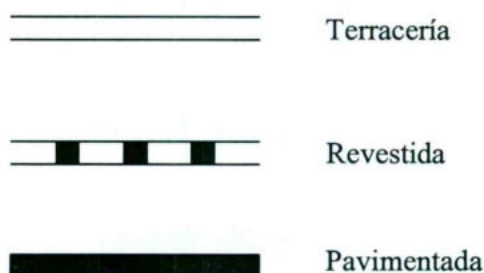
Clasificación por su transitabilidad.

La clasificación por su transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de las carreteras y se divide en:

Terracerías. Cuando se ha construido una sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.

Revestida. Cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.

Pavimentada. Cuando sobre la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento. La clasificación anterior es casi universalmente usada en cartografía y se presenta así:



CLASIFICACION TÉCNICA OFICIAL DE CAMINOS.- esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino al final del periodo económico del mismo (20 años) y las especificaciones geométricas aplicadas.

Tipo especial: para tránsito promedio diario anual superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% de T.P.D.) estos caminos requieren de un estudio especial, pudiendo tener corona de dos o de cuatro carriles en un solo cuerpo, designándoles A2 y A4, respectivamente, o empleando cuatro carriles en dos cuerpos diferentes designándoseles como A4, S.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:

Tipo A: para un tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000 equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12% del T.P.D.).

Tipo B: para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% de T.P.D.)

Tipo C: para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D.)

También puede clasificarse de la siguiente manera:

A2 3000-5000 (T.P.D.A)

A4 5000-20000 (T.P.D.A)

- B 1500-3000 (T.PD.A)
- C 500-1500 (T.PD.A)
- D 100-500 (T.PD.A)
- E 100 (T.PD.A)

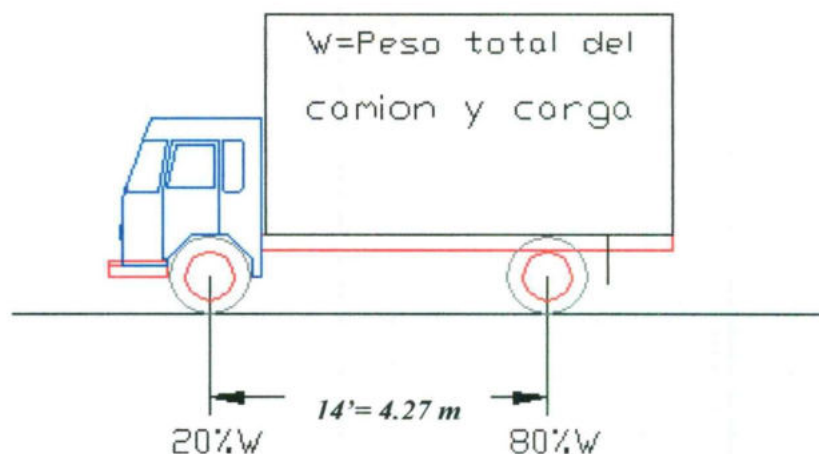
CARGAS DE PROYECTO.

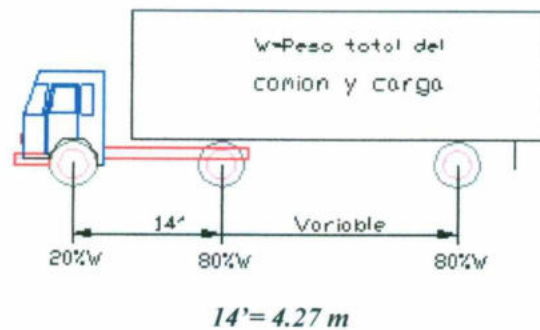
Las cargas de proyecto consideradas para el cálculo de las estructuras son: cargas muertas, cargas vivas, impacto, presión de viento, etc. En lo siguiente estudiaremos las cargas vivas, ya que son de mayor preponderancia en nuestro diseño.

De acuerdo con las especificaciones de la American Association State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.) 1993. Guide for design of pavement structures, Washington, D.C., las cargas se conocen con la designación H y HS.

Un camión de dos ejes es una carga H. A continuación de la letra se coloca un número (10, 15, 20) que indica el peso bruto en toneladas del sistema inglés 2000 lb. (0.907 ton) del camión especificado como carga.

Las cargas HS corresponden a un camión tractor, de dos ejes con un semi remolque de un solo eje. Los números que se colocan a continuación de la H y de la S representan el peso bruto, en toneladas del sistema inglés, del tractor y del semiremolque, respectivamente. El 80% del peso bruto del camión o del camión tractor cae en sus respectivos ejes posteriores. Al eje del semi remolque se le supone siempre una carga igual a la del eje posterior del camión tractor.





De acuerdo con lo anterior tenemos que un camión **H 20**, es un camión de 40,000 lb (18.14 ton). De las cuales el 80%, o sean 32,000 lb (14.51 ton); corresponden al eje trasero y 20%, o sean 8,000 lb (3.63 ton). Corresponden al eje delantero. De igual manera una carga **H 20 S 16** representa un camión tractor de 40,000 lb (18.14 ton); con un semiremolque de 32,000 lb. En este caso la distribución por eje es de 32,000 lb. Para el eje trasero del tractor, 32,000 lb. Para el eje del semiremolque y de 8,000 lb. Para el eje delantero del tractor.

Las cargas anteriores son las llamadas cargas tipo y corresponden a una separación de 14 pies (4.27 m) de distancia entre ejes del camión. La distancia entre el eje posterior del camión tractor y el eje del semiremolque varían entre 14 y 30 pies (9.15 m), calculándose siempre en las condiciones más desfavorables.

Cuando se carga un camión o un remolque, la carga se distribuye entre los ejes en proporciones determinadas que pueden ser calculadas; para ello es necesario conocer:

- a. el peso propio del camión vacío en cada eje
- b. el peso de la carga útil
- c. distancia entre ejes y entre cada eje y el centro de la carga útil.

Si A es la distancia del eje delantero al centro de la carga útil, B la distancia del eje trasero al centro de la carga útil y C la distancia entre ejes, se tendrá:








$$\text{Carga útil sobre el eje trasero} = A/C \times \text{carga útil}$$

$$\text{Carga útil sobre el eje delantero} = B/C \times \text{carga útil}$$

Se resolverá el caso de un camión con uno y con dos ejes posteriores.

SOLICITACIONES DE TRÁNSITO.

El reglamento establece los pesos máximos autorizados de acuerdo a la configuración de ejes que presenta el vehículo de la siguiente manera:

CONFIGURACIÓN DE EJES	TIPO DE CAMINO			
	ET4 Y ET2 A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
 SENCILLO DOS LLANTAS	6,50	6,00	5,50	5,00
 SENCILLO CUATRO LLANTAS	10,00	9,50	8,00	7,00
 MOTRIZ SENCILLO CUATRO LLANTAS	11,00	10,50	9,00	8,00
 MOTRIZ DOBLE O TANDEM SEIS LLANTAS	15,00	13,00	11,50	11,00
 DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS	17,00	15,00	13,50	12,00
 MOTRIZ DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS	18,00	17,00	14,50	13,50
 TRIPLE O TRIDEM DOCE LLANTAS	23,50	22,50	20,00	NA

NA = NO AUTORIZADO

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).

Para un proyecto de carreteras se toma en cuenta que están sujetas a solicitudes y cargadas por volúmenes de tránsito, los cuales poseen características espaciales y temporales. Las primeras resultan de la necesidad de la gente de efectuar viajes entre determinados sitios o destinos. Las segundas por su parte son el producto de los estilos y formas de vida que hacen que la gente siga determinados patrones de viaje basados en el tiempo, realizando sus desplazamientos durante ciertas épocas del año, en determinados días de la semana o en ciertas horas del día. Entonces, al proyectar una carretera, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición. La correcta determinación de estos datos permitirá realizar un adecuado proyecto geométrico, así como un análisis estructural más preciso que resulte en un pavimento que sea capaz de resistir las solicitudes del tránsito de manera satisfactoria durante la vida del proyecto.

El Tránsito Promedio Diario Anual se define como:

El número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo.

$$TPDA = TA / 365$$

Donde:

TA = Número total de vehículos que pasan durante un año.

COMPOSICIÓN VEHICULAR.

La composición vehicular se mide en términos de porcentajes con respecto al volumen total. Es decir conocer la cantidad de vehículos de cada tipo que circulan por las carreteras. En el caso de México es muy común encontrar porcentajes medios del orden del 60% en automóviles, 10% en autobuses y 30% en camiones con variaciones de más menos 10%, dependiendo del tipo de carretera, la hora y el día de la semana.

Sólo para los períodos de los aforos vehiculares, son precisos los volúmenes de tránsito. Como sus variaciones son repetitivas es importante tener conocimiento de sus características para prever el control del tránsito, y las acciones pertinentes para su conservación.

TRÁNSITO EN EL CARRIL DE PROYECTO.

En carreteras de dos carriles, el tránsito en el carril de proyecto se considera la mitad del total que habrá de soportar la carretera.

Si se trata de más de tres carriles, en zona urbana la mayor velocidad y capacidad estará en el centro; las fricciones laterales (paradas de autobuses y taxis) y las vueltas a la izquierda y derechas causan un flujo más lento en los carriles extremos, entonces será menor el volumen en tanto la cercanía con la acera sea mayor. En carreteras ocurre lo contrario, la parte central será para vehículos más rápidos y para rebases, y mayores volúmenes en el carril inmediato al acotamiento. Estimando adecuadamente la proporción de vehículos se tendrán los mejores resultados en el impacto económico y en las condiciones de servicio de la carretera. Si no se cuenta con información confiable se pueden utilizar las siguientes distribuciones (*Garnica, Rico, Téllez; 1998*):

DISTRIBUCIONES DEL TRÁNSITO EN EL CARRIL DE PROYECTO

NUMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN EN EL CARRIL DE PROYECTO (%)
2	50
4	40-50
6	30-40

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN VEHICULAR POR SENTIDO DE CIRCULACIÓN.

En carreteras de dos carriles la distribución direccional del volumen de tránsito es 50/50. Pudiendo variar de 0.30 a 0.7, dependiendo la dirección del tránsito con mayor número de vehículos pesados.

Cabe destacar que para el proyecto que más adelante se detalla, el tránsito se dará probablemente en inicios de la propia obra, en tanto que se presentarán maniobras de trabajo, entradas de camiones con material para la continuación de la construcción, esto, en algunas zonas. Y ya en servicio solo estará expuesta a vehículos de menor peso, y esporádicos vehículos pesados.

VEHÍCULO DE PROYECTO.

En general los vehículos se clasifican como ligeros, pesados y especiales.

Vehículos ligeros: So aquellos de pasajeros o de carga, con dos ejes y cuatro ruedas. Se incluyen automóviles, camionetas y unidades ligeras de pasajeros o de carga.

Vehículos pesados: Aquellos de pasajeros o de carga, de dos o más ejes y de seis o más ruedas. Pueden estar dentro los autobuses, camiones y tractores con semirremolque y combinación de remolques

Vehículos especiales: Son aquellos que eventualmente transitan o cruzan carreteras y calles, que transportan elementos muy pesados y de grandes dimensiones.

Vehículo de proyecto: Es un vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, tales que éstas puedan acomodar vehículos de esta tipo.

Para efectos de proyecto, se consideran dos tipos de vehículos: ligeros y pesados, clasificados en autobuses, camión unitario de carga, combinación de tractor con semirremolque y combinación de tractor con dos remolques. Sus características están basadas en su radio de giro y aquellas que determinan las ampliaciones o sobrecanchos necesarios en curvas horizontales como distancia entre ejes extremos, ancho total del vehículo y vuelo delantero y trasero.

El vehículo ligero de proyecto puede ser utilizado en intersecciones menores en zonas residenciales, donde el número de vehículos que realizan vueltas no es significativo. Aplicado en el proyecto que aquí se presenta.

Por lo general, el vehículo pesado de proyecto se presenta en terminales de pasajeros y de carga, donde se espera una alta circulación de autobuses y camiones, efectuando maniobras de ascenso y descenso de pasajeros y carga y descarga de mercancías.

TASA DE CRECIMIENTO.

El pronóstico de tránsito futuro, deberá basarse, no solamente en volúmenes actuales, sino en los incrementos del tránsito que se esperan utilicen la nueva carretera o la existente. Depende también del desarrollo económico-social, capacidad de vía, etc. Y esto es imprescindible de tomar en cuenta, ya que seguramente al paso del tiempo el tránsito vehicular irá aumentando.

Es conveniente prever el crecimiento del tránsito tomando en consideración una tasa de crecimiento anual. Esta tasa de crecimiento anual debe estimarse mediante un análisis estadístico.

VIDA ÚTIL.

Al diseñar un pavimento se hace para soportar los efectos acumulados del tránsito para cualquier período de tiempo. Cuando este tiempo llegue se espera requiera una rehabilitación importante, como un reencarpetamiento. En este sentido puede considerarse una vida útil extendida indefinidamente a partir de rehabilitaciones, hasta que quede obsoleta a efecto de alineamientos geométricos, cambios significativos en pendientes permisibles y otros más que pudieran ser igualmente relevantes.

CAPÍTULO II. - CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LAS VÍAS TERRESTRES

Dentro de este campo de las vías terrestres, la variedad y complejidad de los suelos se hacen presentes.

La granulometría ofrece un medio sencillo y evidente para clasificar suelos; consistiendo en dividir al suelo en sus fracciones granulométricas. Tan es así que el método ha permitido relacionar los términos grava, arena, limo, arcilla con su tamaño, únicamente. Y ha permanecido en gran parte por su criterio clasificador cualitativo, pues las relaciones cuantitativas resultarían más complicadas.

Sin embargo éste método es pobre para la cuestión de propiedades fundamentales (resistencia, compresibilidad, relaciones de esfuerzo-deformación, permeabilidad, etc.). Hoy día, el sistema más utilizado a este respecto es el aplicado por A. Casagrande (conocido también como sistema S.U.C.S.), que clasifica a los suelos finos principalmente con base a las características de plasticidad, cuya correlación con las propiedades mecánicas básicas es consistente y confiable. Realmente el S.U.C.S. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) nació para clasificar los suelos finos (menores a la malla N° 200, con 0.074 mm de abertura), luego se extendió para gravas y arenas. Sin embargo, para el fin de vías terrestres tiene como defecto, el incluir fragmentos de roca de tamaño más o menos grande, que quedan fuera del sistema original. (*Del Castillo y Rico; 1995*).

Con el tiempo, expertos en la materia, han mejorado y complementado dicho sistema, de tal manera que han incluido un "sistema" para clasificar los fragmentos de roca (mayores de 7.6 mm) que son manejados con frecuencia en las vías terrestres.

SUELO	Partículas menores de 7.6 cm (3'')	finos (suelos orgánicos, <N°200 Turba (M,C). Gruesos (mayor N°200 y menor 3''), grava, arena (entre ellos hace la diferencia la N° 4).
FRAGMENTOS DE ROCA	Fragmentos mayores de 3'' que no forman parte de una formación rocosa masiva.	Chicos (retenido en malla 3'' y dimensiones máximas de 30 cm. Medianos (30 cm-1m). Grandes (Dim. Mayores de 1m)
ROCA	Formaciones rocosas más o menos Continuas o masivas.	

De acuerdo al sistema SUCS, un suelo se considera grueso, si más del 50% de sus partículas son gruesas; y fino, si más de la mitad de sus partículas en peso son finas.

Simbología.

Gravas y suelos en que predominan aquellas	G
Arenas y suelos arenosos	S

Subdivisión de gravas y arenas.

- 1.- Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo W (well graded). En combinación con los símbolos genéricos, se obtienen GW y SW.
- 2.- Material prácticamente limpio de finos, mal graduado. Símbolo P (poorly graded). En combinación con los símbolos genéricos dan lugar a los símbolos GP y SP.
- 3.- Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo M (del suelo Mo y mjala). En combinación con los símbolos genéricos da lugar a los símbolos GM y SM.
- 4.- Material con cantidad apreciable de finos plásticos. Símbolo C (Clay). En combinación con los símbolos genéricos, dan lugar a los grupos GC y SC.

GW y SW

Partículas finas no mayores a 5% en peso.
Coeficiente de uniformidad en gravas (Cu) = 4
Coeficiente de curvatura (Cc). $1 < Cc < 3$
En arenas Cu > 6
 $1 < Cc < 3$

GP y SP

Tienen predominio de un tamaño
(Mismos requisitos que en GW y SW).
Con partículas finas menores a 5% pero no cumplen con la graduación.

GM y SM

Afectan características de resistencia y esfuerzo-deformación, y capacidad de drenaje libre de fracción gruesa. Porcentajes mayores a 12% en peso.
Es requisito que los límites de plasticidad localicen a la fracción que pase la malla N° 40 debajo de la línea A de la carta de plasticidad, o su índice de plasticidad menor a 6%.
Casagrande considera para $5\% < \% \text{ de finos} < 12\%$ el símbolo doble GW-SM.

GC y SC

Finos mayores de 12%, es requisito que los límites de plasticidad sitúen a la fracción que pase la malla N° 40 arriba de la línea A. $IP > 6\%$. Para Casagrande (Casagrande, 1938) es un 7%.

Cuando un material no se ubique claramente dentro de un grupo deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a casos de fronteras. Como GW-SW es para un material bien graduado con menos del 5% de finos y hay igual proporción de grava y arena.

SUELOS FINOS.

La principal base de criterio para identificar suelos finos en el campo es la investigación de las características de dilatancia, tenacidad y resistencia en estado seco. Su olor y color pueden auxiliar en la identificación.

Dilatancia. Arenas limpias muy finas no plásticas (SP y SM) dan una reacción más rápida y distintiva, mientras que las arcillas plásticas no tienen reacción. Limos inorgánicos (como el polvo de roca), dan una reacción rápida moderada.

Con la disminución de la uniformidad, la reacción es más rápida.

Reacción lenta: ML, OL; CL-ML; ML, ML-CL, MH y MH, CH.

Reacción extremadamente lenta o nula: CL, CH, arcillas orgánicas de alta plasticidad.

El fenómeno de la aparición de agua en la superficie de las muestras es debido a la compactación de suelos limosos, o más aún, de los arenosos. Aumenta la relación de vacíos y el agua restituye a esos vacíos.

Los suelos arcillosos, no sufren esos efectos bajo cargas dinámicas por lo cual no producen reacción.

Tenacidad. Potencialidad de la fracción coloidal arcillosa. Cuanta más alta sea la posición del suelo respecto a la línea A (CL, CH) más rígido y tenaz será el rollito cerca del límite plástico, y también más rígida se notará la muestra al romperse entre los dedos, abajo del límite plástico.

Los rollitos (CL, CH) como arcillas y glaciares son de mediana tenacidad, cerca de su límite plástico, comienzan a desmoronarse y bajar su contenido de agua.

Los rollitos (ML, MH, OL y OH), producen rollitos poco tenaces cerca del límite plástico; todos los suelos bajo la línea A, excepto OH próximos, se muestran sueltos y se desmoronan fácilmente, cuando el contenido de agua es menor que el correspondiente al límite plástico.

Resistencia en estado seco. Es característica de las arcillas de grupos CH, una alta resistencia en estado seco. El limo tiene baja resistencia en estado seco, se caracteriza por pulverizarse. La arena fina se siente granular, y el limo típico es semejante a la harina.

Las resistencias medias. CL ó CH, MH (arcillas tipo caolín).

Las resistencias altas. La mayoría de las arcillas CH, CL arriba de "A". Los OH, con altos límites líquidos.

Las resistencias muy altas. Arcillas inorgánicas (CH) con posiciones muy elevadas respecto de "A".

Color. Se refiere a la identificación del tipo de suelo en campo, sirve para diferenciar estratos como primera apreciación. Los colores orgánicos dan muestra de materia orgánica coloidal y los claros y brillantes son más propios de los orgánicos.

Olor. OH, OL (suelos orgánicos); sirve igualmente para identificar en campo el tipo de suelo olor distintivo, un olor intenso indica que el suelo está húmedo, el olor disminuye con la exposición al aire, aumenta, con calentamiento de la muestra húmeda.

CLASIFICACIÓN DE LOS FRAGMENTOS DE ROCA.

Tamaños mayores a 3'', no son parte de una formación rocosa.

- 1) Fragmentos chicos: 3'' - 30 cm.
- 2) Fragmentos medianos: 30cm - 1m
- 3) Fragmentos grandes: mayores a 1m.

Características generales: Clasificación petrográfica, características granulométricas, tamaño máximo de fragmentos, forma, características de la superficie, grado de alteración y cualquier otra información, descripción pertinente.

In situ: estructura, estratificación, compacidad, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje.

- 1) Características Petrográficas: Especificar de qué roca se trata.
- 2) Características granulométricas: Indicar si los fragmentos son de tamaño uniforme o si comprende varios tamaños, si es mal graduado o bien graduado, tamaño máximo de fragmento.
- 3) Forma: Acicular (forma de aguja), Laminar (forma de lámina), Equidimensional (tres dimensiones, mismo orden y magnitud) Entre estos últimos: Angulosos, Subangulosos, Subredondeados, Redondeados.
- 4) Características de la superficie: Lisa, ligeramente rugosa, medianamente rugosa o muy rugosa.
- 5) Grado de alteración: Sanos, poco alterados, medianamente alterados, y muy alterados. Falta de lustre, manchas locales, sonido. Habrá desintegración gradual cuando sean sanos.

Contenido de humedad de la subrasante.

La resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que ellos presenten. Para propósitos del dimensionamiento del pavimento, se recomienda determinar la resistencia de la subrasante bajo la condición más húmeda que se ha de esperar una vez el pavimento haya sido puesto en servicio. Al efecto, Del Castillo y Rico (1995), establecen las tres categorías que se describen a continuación.

Categoría 1: Comprende aquellas situaciones donde el nivel freático se encuentra lo suficientemente cerca de la superficie como para controlar la humedad de la subrasante. Se considera que en este caso se encuentran los suelos no plásticos si el nivel de las aguas internas se puede elevar hasta encontrarse a menos de un metro bajo la superficie del terreno, arcillas arenosas ($IP < 20$) cuando el nivel freático se halla en los 3 metros superiores y arcillas plásticas ($IP > 40$) si se encuentra dentro de los primeros 7 metros bajo la superficie del terreno.

Categoría 2: Incluye subrasantes con tablas de agua a profundidades superiores a las indicadas en el caso anterior, pero donde la lluvia es suficiente para producir cambios significativos en la humedad bajo los pavimentos. Estas condiciones ocurren cuando la lluvia excede la evapotranspiración cuando menos 2 meses por año. Ello suele suceder

en áreas donde las precipitaciones son estacionales y superan los 250 milímetros por año.

Categoría 3: Abarca subrasantes con niveles de agua profundos y donde el clima es seco la mayor parte del año y la precipitación anual no excede de 250 milímetros.

La condición de humedad con la cual se recomienda determinar la resistencia de las subrasantes para cada una de estas categorías, es la siguiente:

Categoría 1: Midiendo la humedad de la subrasante bajo pavimentos existentes en similares situaciones y en una época del año en que las aguas subterráneas se encuentren en su más alto nivel. Estos pavimentos deberán tener un ancho no menor de 3 metros y más de 2 años de construidos. Las muestras para determinar la humedad se deberán tomar bajo la calzada y cuando menos a 50 centímetros del borde de ella.

Determinada la humedad bajo el pavimento existente, se calculará la esperada bajo la nueva subrasante a partir del hecho de que la relación humedad / límite plástico es constante para diferentes suelos cuando el nivel freático y las condiciones climáticas son similares.

Si no existen carreteras pavimentadas en las cercanías, el contenido de humedad bajo la futura subrasante deberá estimarse a partir de la profundidad de la tabla de agua y de la relación entre succión y humedad del suelo de subrasante.

Categoría 2: Para los suelos ubicados en esta categoría, se puede tomar como humedad de diseño la óptima del ensayo normal de compactación o Proctor estándar (Norma de Ensayo INV E - 141).

Categoría 3 : En este caso, la humedad de la subrasante para propósitos de diseño se puede tomar como el 80 % de la óptima del ensayo normal de compactación.

Las anteriores recomendaciones parten de la premisa de que el pavimento será prácticamente impermeable y que la subrasante no verá incrementada su humedad por infiltración proveniente de la parte superior. En caso de que el proyectista juzgue que sea imposible evitar la entrada de agua de dicha procedencia, conviene determinar la resistencia de los suelos en condición saturada cuando correspondan a las categorías 1 y 2, y con una humedad igual a la óptima del ensayo normal de compactación cuando correspondan a la categoría 3.

CAPÍTULO III.- CALIDAD DE MATERIALES EN SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS

Bancos de préstamo.

En general, el material que se emplea en el terraplén es el más cercano a la ruta; producto de cortes o préstamos laterales. Los bancos deberán contar con un mínimo de 10 000 m³ de material para ser explotable. Los bancos para la subrasante deberán ser homogéneos, y de ésta manera evitar que los espesores de pavimento varíen con demasiada frecuencia, se pueden encontrar en formaciones de roca muy alterada o en bancos arenosos estratificados.

Tipos de banco de préstamo	}	Longitudinales: Producto de los cortes
		Laterales: Distancia al eje del camino de hasta 20 m.
		Banco de préstamo: distancia al eje del camino de hasta 100 m. Más de 10 Km. No es costeable.

Clasificación de los materiales gruesos según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Se llama roca toda formación que tenga un diámetro mayor de 2 m.

FRGf < 2.00 > 0.75 m

FRM f < 0.75 > 0.20 m

FRCH f < 0.20 < 0.075 m que es el f de la malla #3

Todo lo que pasa la malla 3" se considera suelo

FRG= Fragmento de roca grande

FRM= Fragmento De roca mediana

FRCH= Fragmento de roca chica

Características de bases y subbases.

De acuerdo con el criterio usado hoy en día se tiene que para carreteras con un tránsito menor a 1000 vehículos pesados, se recomienda que el espesor de la base sea de 12 cm. Y cuando el tránsito sea mayor, se recomienda que como mínimo sean 15 cm. Para las subbases la SCT (1981) recomienda un espesor mínimo de 10 cm.

Funciones de las capas de pavimento.

SUBBASE: Su función es principalmente económica, al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de subbase, aunque no siempre se una en un pavimento. Además impide que el agua de las terracerías ascienda

por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la subrasante. Deberá también transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías.

BASE: Esta capa es la que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa requiere de una estabilización para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico.

Materiales para Subbase y Base.

Los materiales para sub-base y base estarán sujetos a los tratamientos mecánicos que lleguen a requerir para cumplir con las especificaciones adecuadas, siendo los más usuales: la eliminación de desperdicios, el disgregado, el cribado, la trituración y en algunas ocasiones el lavado, los podemos encontrar en cauces de arroyos de tipo torrencial, en las partes cercanas al nacimiento de un río y en los cerros constituidos por rocas andesíticas, basálticas y calizas. Es de gran importancia conocer el tipo de terreno con el que se va a trabajar ya que en base a esto se elige el tipo de maquinaria y el personal suficiente para trabajar en forma adecuada. El material que se manda del banco para efectuar el análisis correspondiente, deberá traer las etiquetas adecuadas y al llegar a laboratorio se le efectuará un secado, una disgregación y se le cuarteará. En pavimentos se realizan básicamente **3 tipos de ensayos** que serán para clasificar el suelo, para controlar la obra y para proyectar el espesor y los porcentajes óptimos de aglutinante de las diferentes **capas que se enlistan a continuación:**

Terraplén

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Peso volumétrico seco máximo y grado de compactación

Subrasante

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg.
- Control. Peso volumétrico seco máximo y grado de compactación.
- Diseño. VRS, cuerpo de ingenieros de los EU y prueba de placa.

Base y Subbase

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Valor cementante, índice de durabilidad, PVSM, GC, equivalente de arena y expansión, adherencia con asfalto.
- Diseño. Prueba de placa, VRS, y cuerpo de ingenieros.

Carpeta asfáltica

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Adherencia con asfalto, equivalente de arena, intemperismo, forma de la partícula, desgaste, densidad y absorción. Todas las pruebas que se realizan a los asfaltos.
- Diseño. Marshall, HVEEM, compresión simple.

FUNCIONES DE LOS MATERIALES.

Subrasante

La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son: máximo de 3", expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30 cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA > de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la sub-rasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

Terraplén

La finalidad del cuerpo del terraplén es proporcionar la altura necesaria para cumplir con el proyecto, deberá resistir las cargas de las capas superiores y distribuirlas adecuadamente en el terreno natural. Por normatividad no se acepta material del tipo MH, OH, y CH cuando su límite líquido sea mayor del 80%, deberá tener un VRS mínimo de 5%. Si esta compuesto de rocas, se recomienda formar capas del espesor del tamaño máximo y se pasará un tractor de oruga en tres ocasiones por cada lugar con un movimiento de zig-zag que se conoce como bandeado, el grado de compactación mínima será del 90% y si es necesario realizar modelos en barrancas donde no es fácil el empleo del equipo, se permite que el material se coloque a volteo hasta una altura donde ya pueda operar la maquinaria. Se recomienda el compactador pata de cabra con equipo de vibrado y un peso aproximado de 20 a 30 toneladas.

Procedimiento constructivo de base y Subbase.

El primer paso consiste en ubicar el banco de préstamo, de donde se traerá el material, pudiendo emplearse en estas capas gravas, arenas de río, depósitos de roca (aglomerados) o materiales ligeramente o fuertemente cementados (conglomerados), se recomienda no usar tezontles ya que estos materiales tienden a desmoronarse y pueden provocar cambios volumétricos, en caso de que sea necesario su empleo deberán mezclarse con algún tipo de material fino como los tepetates (60% tepetate y 40% tezontle); en algunos casos se deberán aplicar tratamientos previos y estos podrán ser: el cribado, la trituración y en algunas ocasiones se les estabiliza en planta con cemento o con cal para darle mayor resistencia. Estos materiales son llevados a la obra, donde se acamellonan para poder llevar a cabo el cálculo del volumen y ver si existe algún faltante.

Cuando el material de banco tiene cierta humedad, ésta se calcula para saber si estamos por debajo o por encima de la humedad óptima de compactación, con ello logramos saber qué cantidad de agua debemos adicionarle, o bien, voltear el material para que por evaporación pierda el agua sobrante. El material acamellonado se abre parcialmente y se

humedece con una cantidad de agua cercana a la óptima, siendo para los caminos una humedad menor a la obtenida en laboratorio. El agua no se riega de una sola vez, sino que, se distribuye en varias pasadas, se hace un primer riego y la moto-niveladora abre una nueva cantidad de material, el cual coloca sobre el húmedo para que vuelva a pasar la pipa; esto se hace comúnmente en tres etapas, para después con la misma maquinaria, homogenizar la humedad. Cuando se llega a esto se distribuye el material en toda la corona para formar la capa con el espesor suelto necesario, debiendo cuidar que no se separe el material fino del grueso. Ya extendido se compacta con un rodillo liso o de neumáticos, o con una combinación de ambos hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto.

Cuando en las bases se alcanza la compactación de proyecto, ésta se deja secar superficialmente, se barre para retirar basura y partículas sueltas. Después de esto se le aplica un riego de emulsión asfáltica de fraguado lento o superestable que se conoce como riego de impregnación. Este elemento sirve para impermeabilizar y estabilizar la base y le ayudará a protegerla de la intemperie cuando no se va a colocar una carpeta en poco tiempo, además favorece la adherencia entre la base y la futura carpeta. La cantidad por regar variará de acuerdo con la abertura de poro que presente la base, para conocer cual es la cantidad adecuada se recomienda efectuar mosaicos de prueba, los cuales variarán de 0.6 a 1.2 lts/m² de emulsión. La SCT recomienda que este asfalto penetre dentro de la base de 3 a 5 mm, no debiendo quedar charcos o natas de asfalto que puedan desestabilizar la capa superior. "se recomienda no efectuar este tratamiento cuando amenace lluvia, cuando la temperatura sea menor de 5 ° C o bien, cuando exista mucho viento. La base impregnada puede abrirse al tránsito con un tiempo de reposo de 24 horas como mínimo, pero si lo ordena la Secretaría se abrirá antes. Esta capa se puede cubrir con arena para evitar que los vehículos se lleven la película de asfalto.

Compuestos de una carpeta asfáltica.

Esta compuesta de:

- Material asfáltico. Puede ser cemento asfáltico (AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30 y AC-40. los AC-5 normalmente son emulsiones.
- Emulsión asfáltica. Aniónicas (-), catiónicas (+) y de rompimiento rápido, medio y lento.
- Agregados pétreos.

Regionalización de los productos asfálticos.

El asfalto es un material bituminoso, sólido o semisólido con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse, se obtiene de la destilación del petróleo. En México este tipo de producto se emplea para la construcción de carpetas desde aproximadamente 1920; anteriormente se le clasificaba de acuerdo a su dureza, siendo el cemento asfáltico más usado el que tenía una dureza media (CA-6). Con la entrada de México al TLC se tuvieron que adecuar las normas Mexicanas a las de la ASTM y a las especificaciones del SHRP (Programa Estratégico de Investigación de Carreteras.) de la ASTM (American Standard Test Materials) de ese tiempo a la fecha, los materiales asfálticos se clasifican de acuerdo a la viscosidad que presentan. A continuación se anotarán las recomendaciones generales para cada uno de los productos asfálticos con la finalidad de darles un mejor uso.

**CAPÍTULO III.- CALIDAD DE MATERIALES EN SECCIONES
ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS**

ASFALTO	REGION RECOMENDADA
AC-5	Sirve para elaborar emulsiones y concretos asfálticos que se utilicen en la zona de la sierra madre occidental, en Durango o Chihuahua, y en algunas regiones altas de los estados de México, Morelos y Puebla.
AC-10	Se recomienda para la región central y el altiplano de la república mexicana.
AC-20	Para el sureste de la república y las regiones costeras del golfo y el pacífico, pasando por Sinaloa e inclusive hasta Baja California.
AC-30	Norte y noreste del país, excluido el estado de Tamaulipas.

Esta distribución se basa en condiciones climáticas y no incluye otras variables importantes como el tipo de agregado pétreo, la intensidad del tránsito y otros factores como el NAF. Por lo que para realizar un concreto asfáltico de calidad deberán tomarse en cuenta las siguientes características: a) enviar pétreos sanos, limpios y bien graduados, b) utilizar procedimientos constructivos adecuados y c) aplicar las temperaturas recomendadas. En algunas ocasiones será necesario adicionar algún aditivo.

Aplicación de los productos asfálticos.

Cemento asfáltico o emulsión.	Trabajos recomendados en forma general.
AC-5, AC-10, AC-20, y AC-30 (solos o modificados)	Para realizar concretos asfálticos en las regiones señaladas y sobre todo en carreteras de alta circulación con alta intensidad de tránsito y con un elevado número de carga por eje.
Emulsiones asfálticas catiónicas de fraguado lento o superestable.	Para riego de impregnación de bases hidráulicas.
Emulsiones asfálticas catiónicas de fraguado medio	Para carpetas asfálticas mezcladas en frío, para carreteras con tránsito máximo de 2000 vehículos, también se emplea en trabajos de bacheo, re-nivelación y sobre-carpetas.
Emulsiones de fraguado rápido.	Se utiliza para riegos de liga, carpetas asfálticas de riego y riegos de sello convencionales.

Tipos de carpeta.

- Realizadas en planta o en caliente con tránsito de hasta 2000 vehículos (AC-20, material pétreo y temperatura de 140 a 160° C.)
- Carpetas de riegos (emulsión y material pétreo.)
- Carpetas asfálticas en frío o en el lugar.
- Revestimientos. Se puede circular todo el año (espesor de 15cm) con material seleccionado (en desiertos arenas con emulsión asfáltica en una cantidad de 6 l/m³ de pétreo; después de compactado se debe efectuar un poreo para tapan oquedades.) (en la costa arena con 100 l/m³ y sin poreo), para un régimen pluvial alto se recomienda estabilizar con cemento la terracería y colocar fragmentos de roca chica.)

CAPÍTULO IV. – METODOLOGÍAS ACTUALES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los pavimentos en su diseño estructural requieren de la determinación de las variables a las que ha de estar sujeto o de las cuales intervienen en su comportamiento futuro, tales son: propiedades de los materiales, tipo de tránsito y volumen, y condiciones ambientales. Es de destacar que la primera variable es considerada uno de los factores más importante en el diseño estructural de pavimentos, y lo sigue siendo durante su vida útil. Cabe destacar que en épocas pasadas un diseño de pavimento se determinaba a partir de la observación de los materiales de campo, de ahí que ha involucrado correlaciones empíricas en su diseño basadas en ello.

Dentro de las variables que intervienen en el diseño de un pavimento podemos encontrar:

- i) **Estructurales.** Incluyen características relativas a cada una de las capas que constituyen la carretera, como espesores, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio.
- ii) **De carga.** Considera los efectos producidos por el tránsito mezclado al circular por la carretera. En este caso son importantes los datos relacionados con el TPDA, tasa de crecimiento anual, cargas por eje, distribución de tránsito en la sección transversal de la vía terrestre y vida de proyecto del pavimento.
- iii) **De clima y condiciones regionales.** Las características reológicas de los materiales que constituyen la carretera dependen de las condiciones ambientales, geológicas y topográficas de la región.
- iv) **De conservación.** Un mantenimiento adecuado garantiza que las variaciones en las características constructivas de los materiales sean mínimas aunque implique un costo excesivo. Por otro lado la ausencia de conservación implica un deterioro acelerado del camino.
- v) **Comportamiento.** Un pavimento adecuado es el que llega a la falla funcional después de haber resistido el tránsito de proyecto.
- vi) **Criterios de decisión.** Incluye factores que van desde la disponibilidad de fondos, costos, confiabilidad y economía de la obra, seguridad y calidad de operación, hasta tipos de conservación deseables.

Tabla 4. Métodos de diseño

Método	<i>Empírico</i>	<i>Equilibrio límite</i>	<i>Deflexión límite</i>	<i>Regresión</i>	<i>Mecanicistas</i>
Diseño en función de	Tipo de suelo (granulometría y plasticidad) y de un índice de resistencia, VRS generalmente.	La resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.	La deflexión permisible en la superficie del pavimento.	Resultados obtenidos en tramos de prueba.	La mecánica de los materiales que conforman el pavimento (Módulo de resiliencia).
Desventajas del método	Válido solo para ciertas condiciones ambientales, ciertos tipos de materiales y niveles de carga.	Los pavimentos fallan primero por pérdida de funcionalidad.	Falla por esfuerzos excesivos, y no por deflexiones excesivas.	Solo es aplicable para las condiciones particulares de prueba.	Necesita de una calibración en función del comportamiento real observado.

A.- MÉTODOS DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM (EMPÍRICO)

En el método de diseño se relacionan resistencias críticas en el lugar contra aplicaciones de carga estándar esperadas en la vida de proyecto de la carretera.

El criterio de diseño está limitado al caso de estructuras donde el espesor de proyecto de las carpetas de concreto asfáltico rara vez excede de 7.5 cm y las demás capas de la carretera están constituidas por materiales granulares o suelos finos estabilizados mecánicamente por compactación.

El criterio de diseño permite considerar explícitamente tres variables: resistencia esperada en el campo (VRS_z), número de aplicaciones de carga producidas por el tránsito ($\sum L$) y el nivel de confianza (Q_U) deseado por el analista; al fijarse este nivel de confianza, queda definido el valor de VRS_0 . Al estimar la resistencia de campo de los materiales se toman en cuenta de manera implícita otras variables como el clima, condiciones topográficas, geotécnicas y de conservación.

Este método considera como datos de entrada básicos, el tipo de carretera, el número de carriles, la vida de proyecto, el tránsito promedio anual (TPDA), tasa de crecimiento y variables adicionales sobre características del terreno y materiales, así como de climas, nivel freático y precipitación pluvial. Como guía para el proyectista, se recomienda la estimación de un valor relativo crítico (VRS) para las condiciones previamente dadas, Tabla 4.1. (*Garnica, et. al; 1998*).

Tabla 4.1 Valor relativo de soporte crítico estimado para el diseño de pavimentos, sobre subrasantes compactadas al 95% del peso volumétrico seco máximo proctor.

Profundidad del nivel freático con relación al nivel de la capa considerada (en m).	VRS _z , en porcentaje mínimo probable					
	Arena no plástica	Arcilla arenosa IP=10	Arcilla Arenosa IP=20	Arena limosa IP=30	Arena Limosa IP≥ 40	Limo
0.6	8-10	5-6	4-5	3-4	2-3	1
1.0	25	6-8	5-6	4-5	3-4	2-3
2.5	25	8-10	8-10	6-8	4-5	Se
3.0	25	25	8-10	7-9	4-5	requieren
3.5	25	25	8-10	8-10	4-5	pruebas de
5.0	25	25	8-10	8-10	5-6	laboratorio
7.0	25	25	8-10	8-10	7-9	

En esta tabla se muestran valores estimados de VRS exclusivamente para materiales de subrasante, dependiendo de algunos tipos de materiales, sus índices plásticos y diferentes profundidades del nivel freático.

Se requieren, además, pruebas de laboratorio confiables; para mejor comprensión del comportamiento de las terracerías y demás capas a diseñar, debiendo realizarse para

cada material propuesto y disponible, pruebas con tres diferentes energías de compactación; esto es, baja (AASHTO estándar), compactación intermedia y alta energía (AASHTO modificada).

Encontrando la humedad óptima y teniendo normado el porcentaje de compactación que se especifique en el proyecto y dependiendo del control de la construcción, se indicará un rango de variación de humedad respecto al óptimo. Paralelamente el laboratorio deberá reportar los valores de resistencia en VRS para cada tipo de material a utilizar.

Con el conjunto anterior, se encontrará una zona que reflejará las condiciones esperadas para la subrasante, encontrándose, en función de la humedad crítica esperada, el valor crítico de VRS de diseño. A continuación se presenta la gráfica peso volumétrico seco-contenido de agua- VRS para un suelo arcilloso. Figura 4.1.

En función del VRS crítico obtenido para la subrasante, se asignará un valor menor para el cuerpo del terraplén, del orden del 60% obtenido para la subrasante.

Para obtener el VRS crítico de las capas restantes, esto es la subbase y base, el método emplea la siguiente ecuación, en donde intervienen un coeficiente de variación estimado (v) entre 0.2 y 0.3, debido a cambios posibles del material, procedimiento constructivo, etc. Lo anterior, siempre tenderá a disminuir el VRS de campo promedio, que como ya se dijo, cubrirá incertidumbres tanto de la prueba de valor relativo de soporte como de los materiales, redundando en lo que se conoce como factor de seguridad.

$$\underline{VRS} = \underline{VRS} (1-0.84v)$$

El segundo paso contemplado en el método, consiste en la información y procesamiento de los datos de tránsito, partiendo del TPDA inicial, su tasa de crecimiento en porcentaje anual y la composición vehicular detallada, considerando desde los automóviles y vehículos ligeros hasta los vehículos más pesados de carga. El método contempla en este análisis los porcentajes de vehículos pesados, tanto cargados con carga legal, como totalmente vacíos (Tabla 4.2).

Figura 4.1. EJEMPLO RELACIONES PESO VOLUMÉTRICO SECO - CONTENIDO DE AGUA - VRS, PARA UN SUELO ARCILLOSO. (Corro y Prado, 1999)

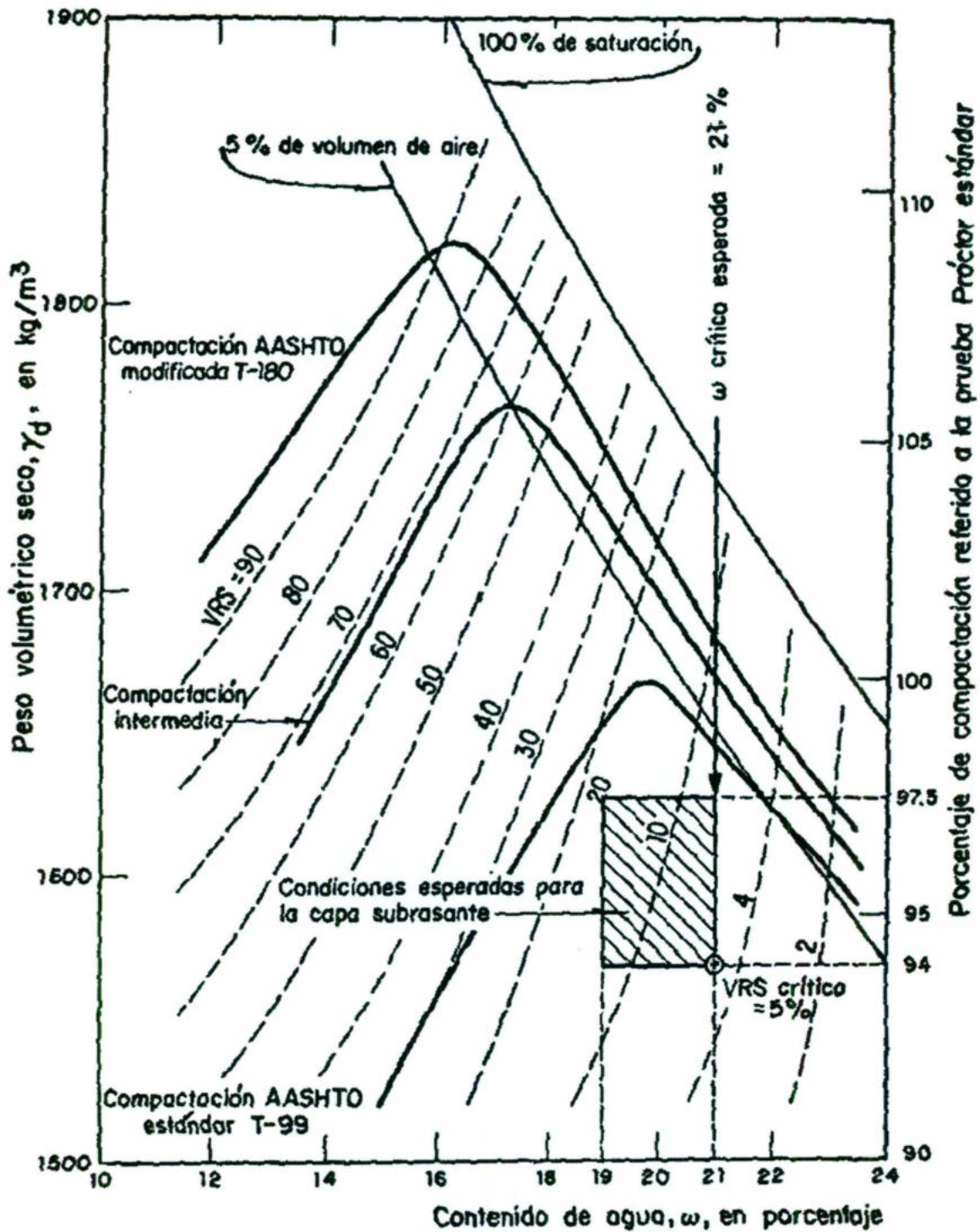


Tabla 4.2. Ejemplo de una composición vehicular con porcentajes de cargados y vacíos.

TIPO DE VEHÍCULO	COMPOSICIÓN	PROPORCIÓN	
		CARGADOS	VACÍOS
Automóviles			
Camiones ligeros (C2)			
Autobuses (B2)			
Camiones de tres ejes (C3)			
Tractor con remolque de 2 ejes (T3-S2)			
Tractor con remolque de 3 ejes (T3-S3)			
Tractor con doble remolque (T3-S2-R4)			

Para el análisis del tránsito equivalente acumulado (ΣL), El método inicia el cálculo de los coeficientes de daño a diferentes profundidades de la estructura del pavimento, lo cual podrá procesarse con las tablas del anexo del método de diseño original del Instituto de Ingeniería, reporte No. 444 o con la ecuación que a continuación se presenta. Se deberá calcular el coeficiente de daño de cada vehículo tanto en condiciones de carga reglamentada y 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.

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

Donde:

d_i = Coeficiente de daño equivalente en la capa i.

σ_z = Esfuerzo en la profundidad z, en Kg/cm^2

p = Peso del eje, en Kg.

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

A = Constante experimental.

z = Profundidad en cm.

5.8 = Presión de contacto de la llanta en kg/cm^2

Al obtenerse los coeficientes de daño para todos y cada uno de los vehículos vacíos y cargados a las profundidades $Z=0$ y $Z=30$, el proyectista 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 mostrada abajo) y por el valor del TPDA inicial, se obtendrá el tránsito equivalente acumulado $\sum L$ para las capas de carpeta y base, y subbase y terracerías respectivamente (Tabla 4.3).

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

Donde:

C_T = Coeficiente de acumulación del tránsito.

n = Años de servicio.

r = Tasa de crecimiento vehicular.

Finalmente el método presenta un procedimiento para obtener los espesores equivalentes de diseño de la sección estructural del pavimento, procedimiento que incluye varios nomogramas que están en función del nivel de confianza Q_U que se elija, el valor relativo de soporte crítico de cada capa y el tránsito equivalente acumulado en ejes sencillos de 8.2 ton en el carril de proyecto, Figuras 4.2 y 4.3.

La carga estándar o eje equivalente se define como la sollicitación de un eje sencillo de 8.2 ton y llantas con presión de contacto de 5.8 Kg/cm² (82.5 lb/in²). Generalmente el tránsito mezclado se transforma en tránsito equivalente en ejes sencillos, mediante factores teóricos o empíricos.

Con los nomogramas citados, el proyectista podrá obtener los espesores equivalentes para cada capa a las profundidades Z_N , tomando en cuenta coeficientes de resistencia estructural recomendados a_i , que considera 1 cm de asfalto equivalente a 2 cm de grava.

$a_1 D_1$ = Carpeta, D_1 espesor en cm, a_1 coeficiente de equivalencia.

$a_2 D_2$ = base, D_2 , espesor en cm, a_2 coeficiente de equivalencia.

$a_n D_n$ = base, D_n , espesor en cm, a_n coeficiente de equivalencia.

Con lo anterior, el proyectista estará en posibilidades de determinar el espesor de cada capa de la sección estructural del pavimento diseñado, interviniendo para ello los diferentes criterios que adopte para una mejor estructuración de la sección carretera, tomando en cuenta ciertos arreglos de capas, ciertas clases de materiales y mínimos espesores que se tienen especificados por la dependencia o autoridad responsable.

Tabla 4.3. Tránsito equivalente

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICIÓN DEL TRANSITO	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN DE VEHICULOS CARGADOS O VACÍOS	COMPOSICIÓN DEL TRANSITO CARGADOS O VACÍOS		COEFICIENTES DE DAÑO		UNMERO DE EJES SENCILLOS EQUIVALENTES	
			CARGADOS	VACÍOS	CARPETA Y BASE Z=0	SUB-BASE Y TERRACERIAS Z=30	CARPETA Y BASE	SUB-BASE Y TERRACERIAS
A		CARGADOS						
		VACÍOS						
B3		CARGADOS						
		VACÍOS						
C2		CARGADOS						
		VACÍOS						
C3		CARGADOS						
		VACÍOS						
T3S2		CARGADOS						
		VACÍOS						
T3S3		CARGADOS						
		VACÍOS						
T3S2R4		CARGADOS						
		VACÍOS						
T3S2R2		CARGADOS						
		VACÍOS						
SUMA	1							
					EJES EQUIVALENTES			
					TPDA			
					CT			
					ΣL			

Figura 4.2. GRÁFICA PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE.
(Garnica, et al; 1998)

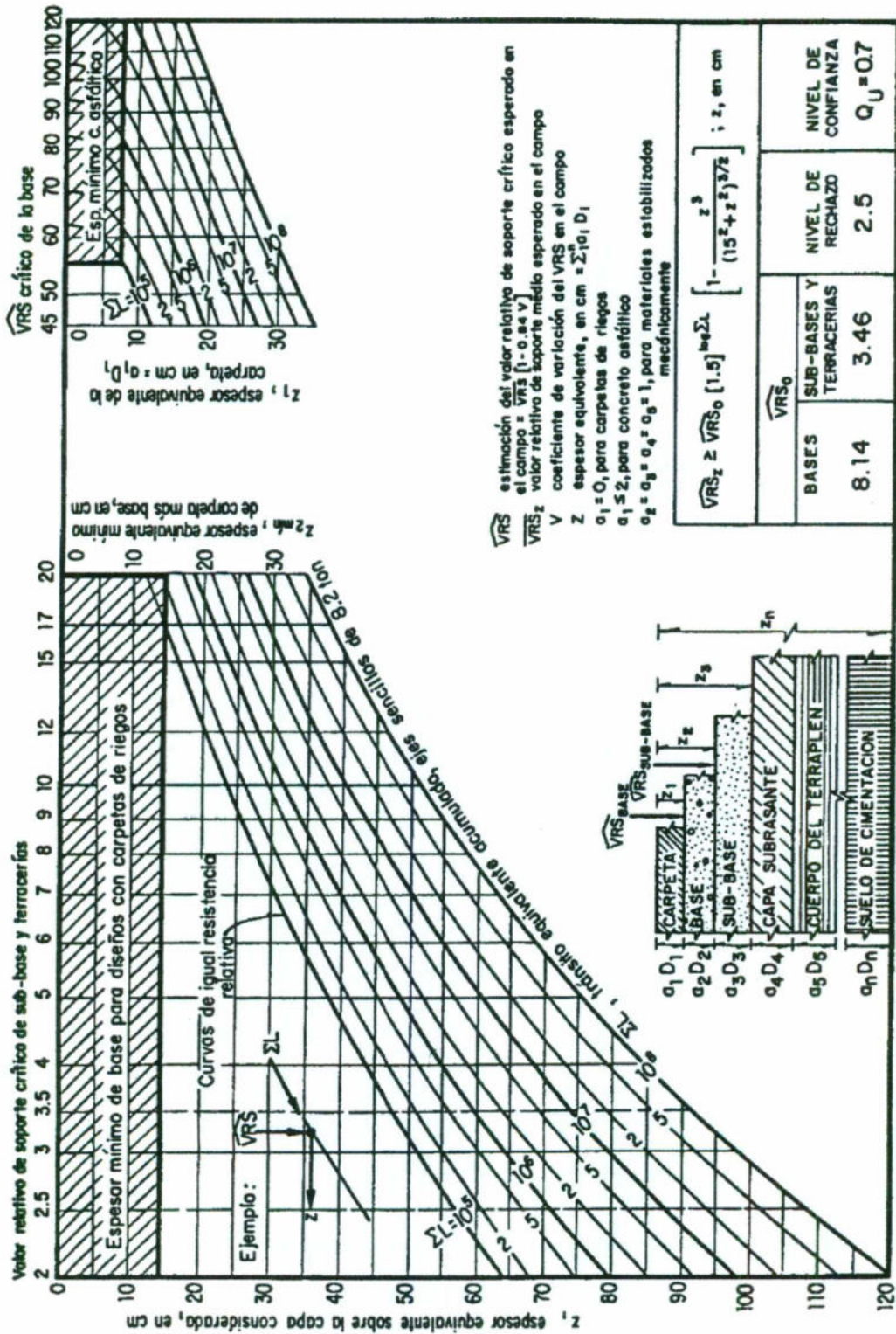
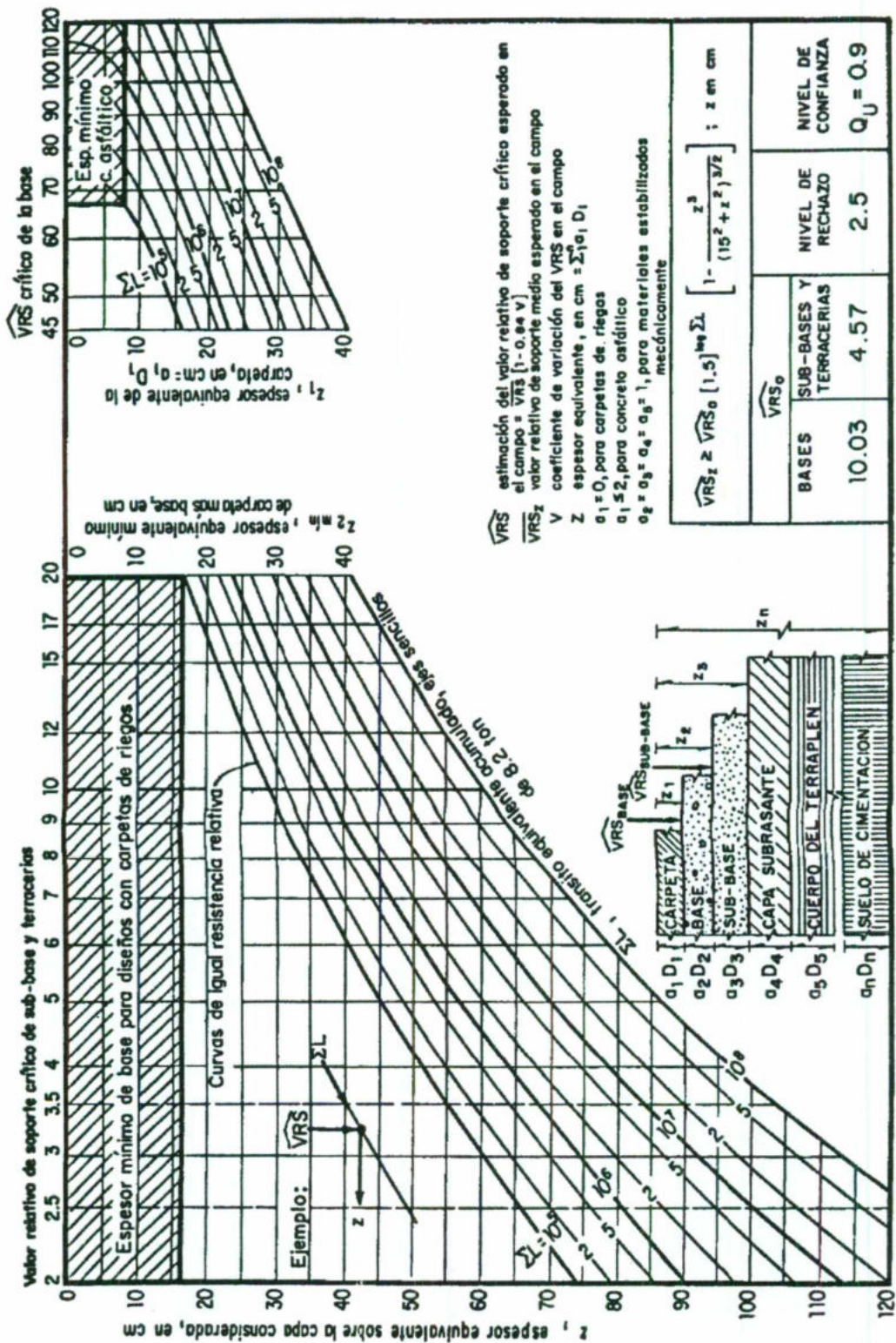


Figura 4.3. GRÁFICA PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE.
(Garnica, et al; 1998)



B.- MÉTODO DE DISEÑO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO DE LOS E.U.A.

El método se basa principalmente en la aplicación de la teoría elástica en multicapas. (Garnica, et al; 1998).

El método presenta un procedimiento de diseño para obtener los espesores de la sección estructural de pavimentos, donde se utilizan el cemento asfáltico y las emulsiones asfálticas, bases asfálticas en toda la sección o en parte de ellas. Se incluyen varias combinaciones de superficies de rodamiento con concreto asfáltico, carpetas elaboradas con emulsiones asfálticas, bases asfálticas y bases o sub-bases granulares naturales.

Estimación del tránsito

El método distingue el periodo de diseño del análisis, de la siguiente manera:

Un pavimento debe ser diseñado para soportar los efectos acumulados del tránsito para cualquier periodo de tiempo; el periodo seleccionado, en años, se define como periodo de diseño. Al término de éste, se espera que el pavimento requiera alguna acción de rehabilitación mayor, como puede ser una sobrecarpeta de refuerzo para restaurar su condición original. La vida útil del pavimento, o periodo de análisis, puede ser extendida indefinidamente, a través de sobre carpetas u otras acciones de rehabilitación, hasta que la carretera sea obsoleta por cambios significativos en pendientes, alineamiento geométrico y otros factores. El método considera periodos de diseño de uno a 35 años y tasas de crecimiento del tránsito del 2 al 10% anual.

Tabla 4.4. TASA ANUAL DE CRECIMIENTO DEL TRÁNSITO

Período de diseño, años (n)	Tasa anual de crecimiento (%)						
	2	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Para el cálculo del porcentaje de camiones en el flujo vehicular sobre el carril de diseño. El método recomienda los siguientes valores:

PORCENTAJES DE CAMIONES EN EL CARRIL DE DISEÑO

No DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	% DE CAMIONES EN EL CARRIL DE DISEÑO
2	50
4	45
6 ó más	40

Un punto importante que se hace notar, es que para el cálculo de los ejes equivalentes, el método recomienda utilizar la metodología AASTHO. Para lo anterior, el método proporciona en la siguiente tabla, factores de equivalencia de la carga o coeficientes de daño para ejes sencillos, dobles o triples, incluyendo cargas sobre el eje desde 0.5 toneladas (1,000 libras) hasta 41 toneladas (90,000 libras), lo que se considera cubre sobradamente cualquier condición de peso de vehículos de carga en cualquier red de carreteras, desde rurales hasta autopistas.

Habiéndose obtenido los coeficientes por cada eje o conjunto de ejes, la suma proporcionará el coeficiente total de equivalencia del vehículo. Utilizando el factor o tasa anual de crecimiento del tránsito señalado en la Tabla 4.4, y multiplicándolo por los coeficientes totales de equivalencia y por el número de vehículos del aforo del tránsito promedio anual, se obtienen los ejes equivalentes acumulados reales para el período de diseño considerado.

Tabla 4.5. FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA.

Carga total por eje o conjunto de ejes		Factores de equivalencia de carga		
Kn	Lb	Eje sencillo	Ejes dobles	Ejes triples
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.0001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.7	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249.0	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
267.0	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320.0	72,000		19.16	5.03
329.0	74,000		21.32	5.57
338.0	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
356.0	80,000		29.00	7.45
364.7	82,000		32.00	8.2
373.6	84,000		35.30	8.9
382.5	86,000		38.80	9.8
391.4	88,000		42.60	10.6
400.3	90,000		46.80	11.6

El método incorpora factores de ajuste de los ejes equivalentes de diseño, para diferentes presiones de contacto de las llantas sobre el pavimento, en función de su presión de inflado y de los espesores de la carpeta asfáltica, donde contempla desde cuatro hasta diez pulgadas de espesor (10 y 25 cm respectivamente). Como puede verse en la siguiente figura 4.4.

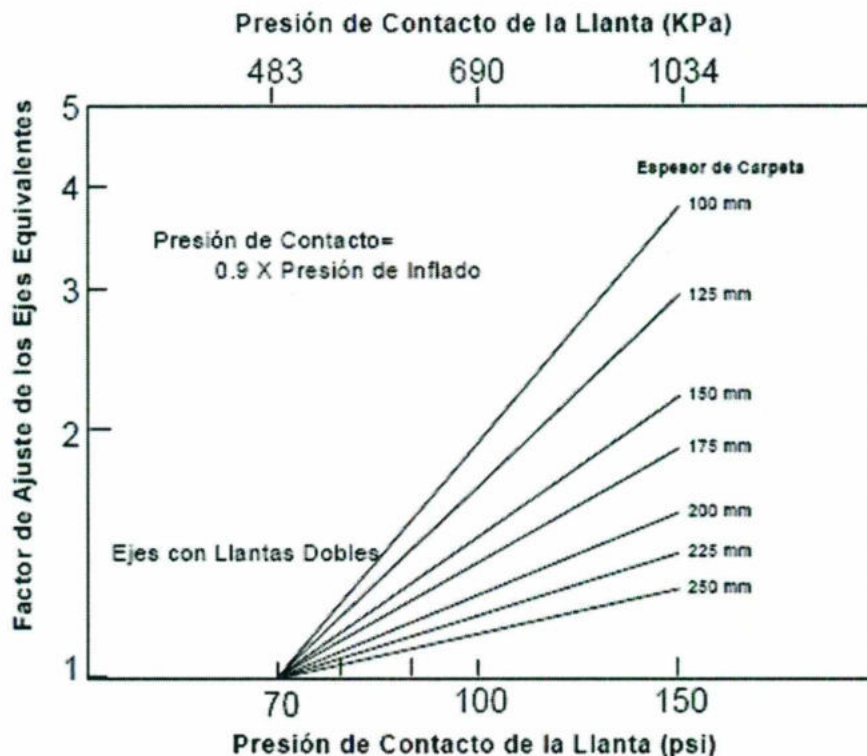


Figura 4.4. FACTOR DE AJUSTE DE LOS EJES EQUIVALENTES POR PRESIÓN DE LA LLANTA. (Garnica, et al; 1998).

Evaluación de los Materiales.

Para el diseño de los espesores de una sección estructural del pavimento flexible, el método del Instituto del Asfalto, considera dentro de la evaluación de los materiales fundamentalmente el parámetro para la obtención del módulo de resiliencia (M_r), con recomendaciones del método de prueba descrito en el manual de suelos MS-10 del propio instituto. Ante la falta de equipo adecuado para llevar a cabo la prueba, se han establecido factores de correlación entre M_r y la prueba de Valor Relativo de Soporte (T - 193 de AASHTO) que señalan que los resultados son bastante aproximados; sin embargo, para un diseño preciso, se recomienda llevar a cabo la prueba del Módulo de Resiliencia para la capa subrasante.

Factores Recomendados de Correlación

$$M_r \text{ (Mpa)} = 10.3 \text{ CBR}$$

M_r (psi) = 1500 CBR

Se hace notar que tales correlaciones solo se aplican a materiales de la capa subrasante, no sirviendo para materiales granulares que se pretendan emplear en las capas de sub-base o de la base.

En función del tránsito esperado sobre el pavimento en estudio, el método del Instituto del Asfalto recomienda los siguientes valores percentiles para calcular el Módulo de Resiliencia de diseño de la capa subrasante.

VALOR PERCENTIL PARA DISEÑO DE SUBRASANTE, DE ACUERDO AL NIVEL DEL TRÁNSITO.

NIVEL DE TRÁNSITO	VALOR PERCENTIL PARA DISEÑO DE SUBRASANTE
Menor de 10,000 ejes equivalentes	60
Entre 10,000 y 1,000,000 de ejes equivalentes	75
Mayores de 1,000,000 de ejes equivalentes	87.5

Con las muestras de material obtenidas en el campo, y con los resultados obtenidos en el laboratorio para determinar sus Módulos de Resiliencia, el diseñador deberá diseñar el M_r de diseño de la capa subrasante, con los percentiles sugeridos en la tabla anteriormente presentada.

Para los requerimientos de compactación en las capas de base y sub-base, el método proporciona las siguientes recomendaciones.

Capas de base y sub-base formadas con materiales granulares sin tratamiento, esto es, no estabilizadas, deberán compactarse con un contenido de humedad óptimo de $\pm 15\%$, para alcanzar una densidad mínima del 100% de la densidad máxima de laboratorio, sugiriendo se utilice el método AASHTO T180 o el ASTM D1557.

Así mismo recomienda los siguientes valores para las diferentes pruebas a realizarse con materiales de bases y subbases:

VALORES REQUERIDOS PARA MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

PRUEBA	SUB-BASE	BASE
VRS, mínimo	20	80
Valor R, mínimo	55	78
Límite líquido, máximo	25	25
Índice plástico, máximo	6	NP
Equivalente de arena, mínimo	25	35
Material que pasa la malla 200, máximo, (finos)	12	7

El método también contempla factores de medio ambiente y varios tipos o clases de asfalto según las necesidades de los usuarios. Esto es, tres diferentes temperaturas,

según la región donde se pretenda construir el pavimento, climas fríos, templados y calientes, 7°C, 15.5°C y 24°C, respectivamente, recomendándose la clasificación siguiente:

GRADOS DE ACUERDO AL TIPO DE ASFALTO

CLIMA	TEMPERATURA	GRADOS DE ASFALTO
Frío	Menor o igual a 7°C	AC-5, AC-10
Templado	Entre 7 y 24°C	AC-10, AC-20
Caliente	Mayor de 24°C	AC-20, AC-40

El grado o tipo de asfalto a seleccionarse, dependerá principalmente de su habilidad para cubrir sus agregados, además como factores como la disponibilidad de agua en el sitio de trabajo, clima durante la construcción, procedimiento de mezclado y curado del material.

En cuanto a requerimientos de espesores mínimos, en función del nivel de tránsito en ejes equivalentes, el método recomienda los siguientes valores:

- i. Para superficies de concreto asfáltico construidas sobre bases emulsificadas:

ESPESORES MÍNIMOS DE CARPETA ASFÁLTICA DE ACUERDO AL NIVEL DE TRÁNSITO

NIVEL DE TRÁNSITO EN EJES EQUIVALENTES	ESPEOR MÍNIMO DE CARPETA ASFÁLTICA EN cm (a)
10,000	5.0
100,000	5.0
1,000,000	7.5
10,000,000	10.0
Mayor de 10,000,000	13.0

(a) Podrá usarse concreto asfáltico o mezclas asfálticas emulsificadas Tipo I con un tratamiento superficial, sobre bases asfálticas Tipo II o Tipo III.

Tipo I: Mezclas elaboradas con agregados, textura cerrada.

Tipo II: Mezclas elaboradas con agregados semi-procesados.

Tipo II: Mezclas elaboradas con arenas o arenas limosas.

- ii. Para superficies de concreto asfáltico construidas sobre bases granulares sin estabilizar:

ESPEORES DE SUPERFICE DE CONCRETO ASFÁLTICO SOBRE BASES
GRANULARES SIN ESTABILIZAR

NIVEL DE TRÁNSITO EN EJES EQUIVALENTES	CONDICIÓN TRÁNSITO	ESPEOR MÍNIMO DE CRAPETA ASFÁLTICA EN cm
Hasta 10,000	Ligero	7.5 (b)
Entre 10,000 y 1,000,000	Mediano	10.0
Mayor de 1,000,000	Pesado	12.5 ó más

(b) Para pavimentos de una sola capa formada con concreto asfáltico (full-depth) o pavimentos con emulsiones asfálticas, se requiere un mínimo de 10 cm.

CÁLCULO DE ESPEORES DE DISEÑO

El método proporciona para el diseño final de los espesores de la sección estructural del pavimento flexible, 18 cartas o gráficas de diseño en sistema métrico y 18 en sistema inglés, las cuales cubren todas las variables involucradas en anteriores párrafos.

En el método se presentan gráficas con escalas logarítmicas para las tres condiciones climáticas consideradas, con el total de ejes equivalentes de sencillos acumulados en el periodo de diseño y el Módulo de Resiliencia de diseño de la capa subrasante, para obtener los espesores finales de pavimentos de una sola capa formada con concreto asfáltico (full-depth), pavimentos elaborados con emulsiones asfálticas Tipos I, II, III y bases granulares sin tratamiento con espesores de 15 y 30 cm. Las gráficas 7°C deberán emplearse para temperaturas menores o iguales a 7°C, las correspondientes a 24°C para temperaturas de 24°C o mayores y las gráficas 15.5°C para temperaturas intermedias.

Aquí se presentan tres cartas en sistema métrico (Figuras 4.5, 4.6, 4.7) Obteniendo el espesor total de la estructura de concreto asfáltica, mismo que podrá convertirse en una estructura multicapa formada por la carpeta de rodamiento, base y sub-base, empleando los coeficientes estructurales recomendados por la AASHTO para esas capas, o los coeficientes de equivalencia sugeridos por el mismo Instituto del Asfalto o los Métodos de California.

Figura 4.5. GRÁFICA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO DE UNA SOLA CAPA (7°C). (Garnica, et al; 1998).

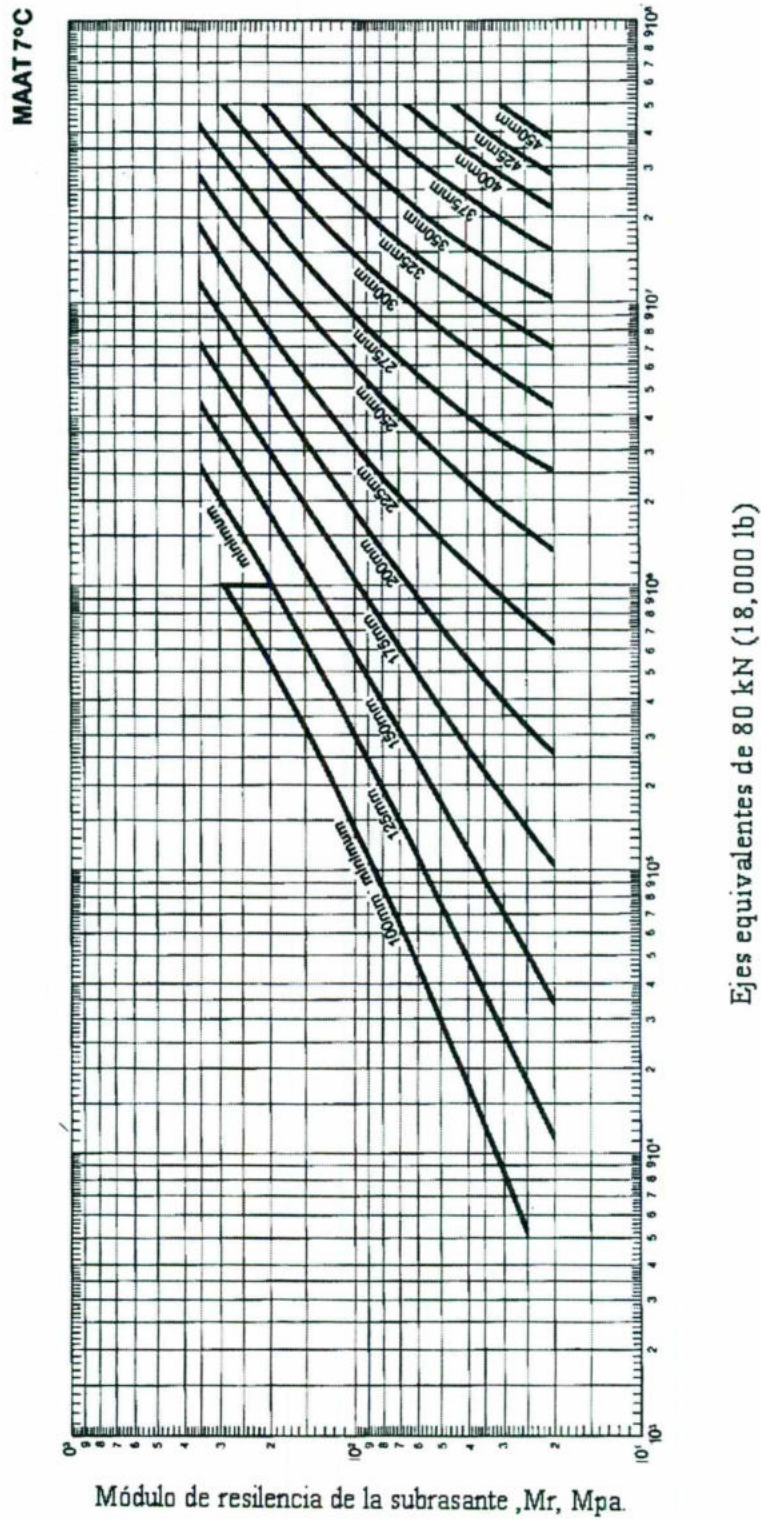


Figura 4.6. GRÁFICA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO DE UNA SOLA CAPA (15.5°C). (Garnica, et al; 1998).

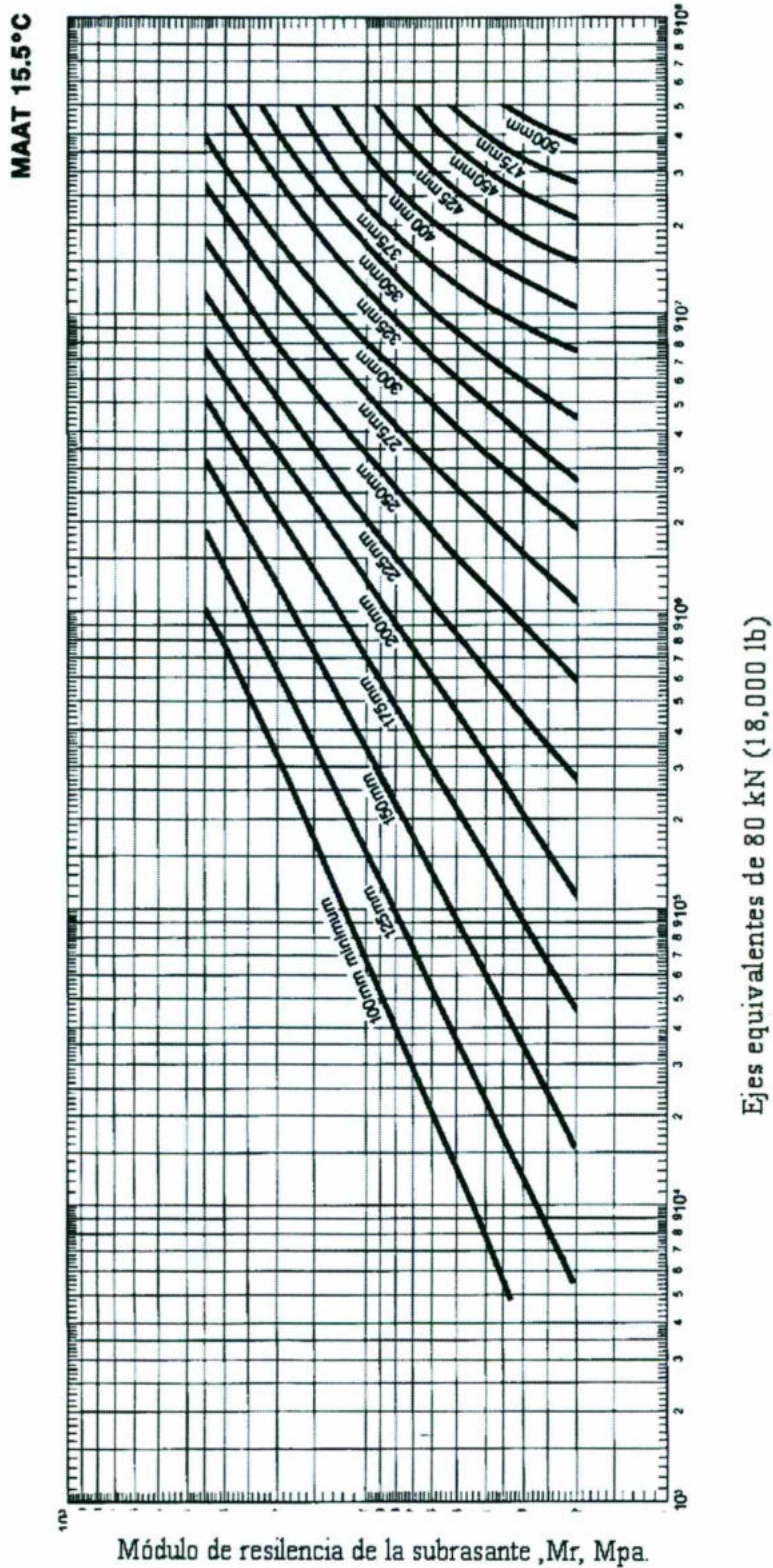
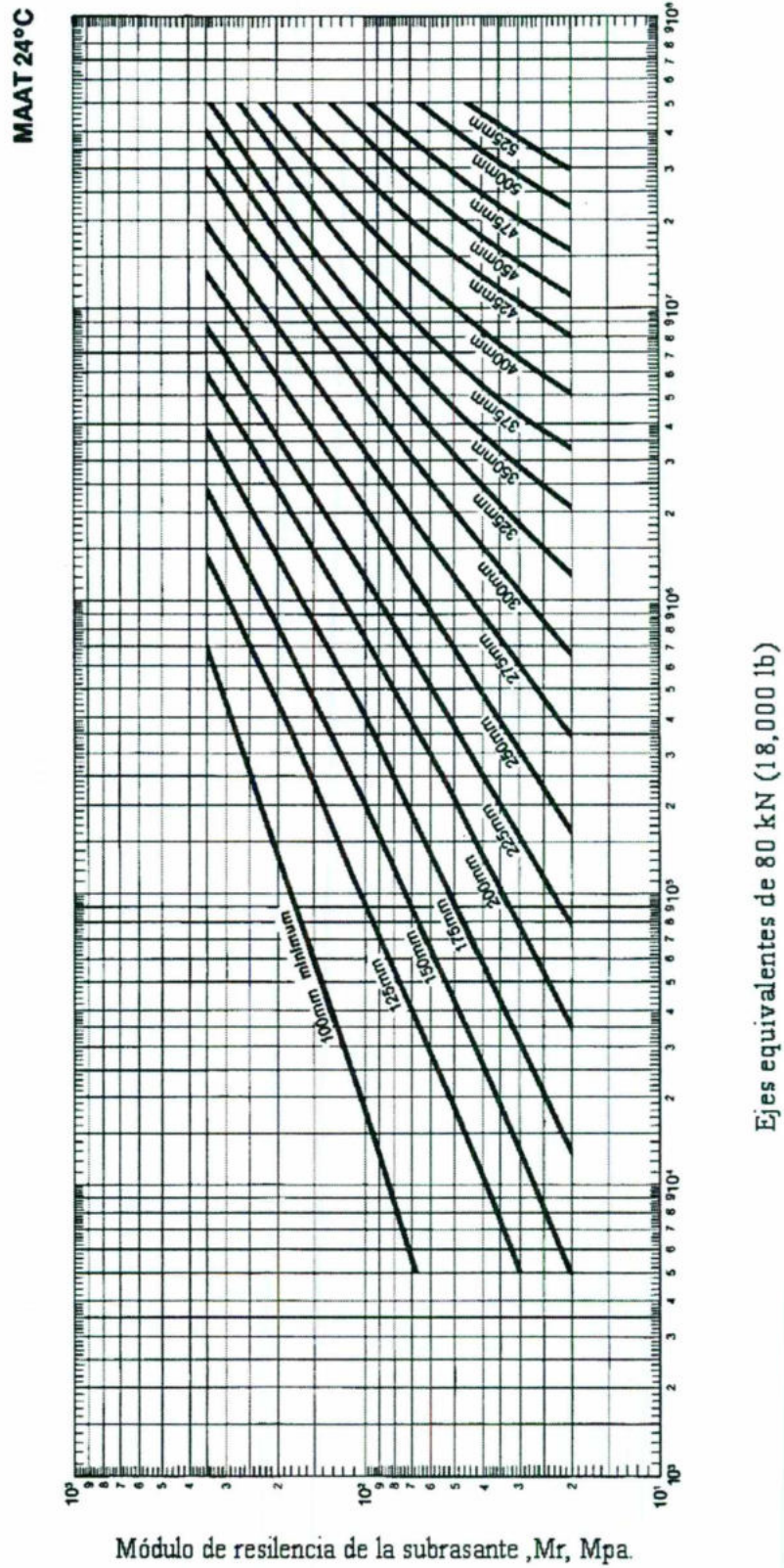


Figura 4.7. GRÁFICA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO DE UNA SOLA CAPA (24°C). (Garnica, et al; 1998).



C.- MÉTODO DE LA AASTHO PARA EL DISEÑO DE LA SECCIÓN ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS

El método de la AASHTO (American Association Standards Highway Transportation Officials) describe los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos de carreteras. En el caso de los pavimentos flexibles, el método establece que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, pues asume que tales estructuras soportarán niveles significativos de tránsito (mayores de 50,000 ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton durante el periodo de diseño), dejando fuera pavimentos ligeros para tránsitos menores al citado, como son los caminos revestidos o de terracería. (AASHTO, 1993).

El método

Los procedimientos se basan en tramos de prueba a escala natural y para todo tipo de pavimentos. Actualmente esta versión incluye factores de parámetros de diseño tanto de la versión del 1961 y la versión más reciente, además de otras experiencias de dependencias y consultores independientes.

El diseño, entonces, está basado principalmente en identificar o encontrar un “número estructural SN” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para el número SN, el método proporciona la ecuación general y la gráfica de la fig. 4.15, que incluye los parámetros que continúan:

- El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño seleccionado, “ W_{18} ”.
- El parámetro de confiabilidad, “R”.
- La desviación estándar global, “So”.
- El módulo de resiliencia efectivo, “Mr” del material utilizado para la subrasante.
- La pérdida o diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados, “ ΔPSI ”.

Tránsito

Para el cálculo del tránsito, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb (8.2 ton) acumulados durante el período de diseño. Se aconseja que para fines de diseño en etapas o fases se dibuje una gráfica donde se muestre año con año, el crecimiento de los ejes acumulados (ESAL) vs tiempo, en años, hasta llegar al fin del período de diseño o primera vida útil del pavimento. La siguiente ecuación puede ser usada para calcular el parámetro del tránsito W_{18} en el carril de diseño.

$$W_{18} = D_D * D_L * \bar{W}_{18}$$

Donde:

W_{18} = Tránsito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8.2 ton, en el carril de diseño.

D_D = Factor de distribución direccional; se recomienda 50% para la mayoría de las carreteras, pudiendo variar de 0.3 a 0.7, dependiendo de en qué dirección va el tránsito con mayor porcentaje de vehículos pesados.

D_L = Factor de distribución por carril, cuando se tengan dos o más carriles por sentido se recomiendan los valores presentados en la tabla 4.6

–

W_{18} = Ejes equivalentes acumulados en ambas direcciones.

Tabla 4.6. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL

Nº DE CARRILES EN CADA SENTIDO	PORCENTAJE DE W_{18} EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4 ó mas	50 -75

Una vez calculados los ejes equivalentes acumulados en el primer año, el diseñador deberá estimar con base a la tasa de crecimiento anual y el período de diseño en años, el total de ejes equivalentes acumulados y así contar con un parámetro de entrada para la ecuación general o para el nomograma de la Figura 4.15.

Tabla 4.7. PERIODOS DE DISEÑO DE FUNCIÓN DEL TIPO DE CARRETERA.

TIPO DE CARRETERA	PERÍODO DE DISEÑO, (AÑOS)
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30 – 50
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20 – 50
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15 – 25
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito	10 - 20

Confiabilidad “R”

Con este parámetro, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, durarán como mínimo el período de diseño. Se consideran posibles variaciones en las predicciones del tránsito en ejes acumulados y en el comportamiento de la sección deseada.

Para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles el método recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más altos corresponden a obras que estarán sujetas a un uso intensivo, mientras que los niveles más bajos corresponden a obras o caminos locales y secundarios.

Tabla 4.8. VALORES DE “R” DE CONFIABILIDAD, CON DIFERENTES CLASIFICACIONES FUNCIONALES.

NIVELES DE CONFIABILIDAD	
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	NIVEL RECOMENDADO POR AASHTO PARA CARRETERAS
Carretera interestatal	80 – 99.9
Red principal o federal	75 – 95
Red secundaria o estatal	75 – 95
Red rural o local	50 - 80

Desviación estándar global “So”

Este parámetro está ligado directamente con la confiabilidad (R); habiéndolo determinado, en este paso deberá seleccionarse un valor S_o “Desviación Estándar Global”, representativo de condiciones locales, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

Valores de “ S_o ” en los tramos de prueba de AASHTO no incluyeron errores en la estimación del tránsito; sin embargo el error en la predicción del comportamiento de las secciones en los tramos en tales tramos de prueba, fue de 0.25 para pavimentos rígidos y 0.35 para flexibles, lo que corresponde a valores en la desviación estándar total debidos al tránsito de 0.35 y 0.45 para pavimentos rígidos y flexibles respectivamente.

Módulo de resiliencia efectivo.

En el método de la AASHTO, la parte fundamental para caracterizar debidamente a los materiales consiste en la obtención del módulo de resiliencia con base en pruebas de laboratorio, realizadas en materiales a usar en la capa subrasante (Método AASTHO T-274), con muestras representativas (esfuerzo y humedad) que simulen las estaciones del año respectivas. El módulo de resiliencia estacional será obtenido alternadamente por correlaciones con propiedades del suelo, tales como el contenido de arcilla, humedad, índice plástico, etc.

Entonces, deberá obtenerse un módulo de resiliencia efectivo, que es equivalente al efecto combinado de todos los valores de módulos estacionales.

Para la obtención del módulo estacional o variaciones del M_r a lo largo de todas las estaciones del año se ofrecen dos procedimientos: el primero, en el laboratorio obteniendo la relación entre el módulo de resiliencia y el contenido de humedad de diferentes muestras en diferentes estaciones del año, y el segundo, utilizando algún equipo para medición de deflexiones sobre carreteras en servicio durante varias estaciones del año.

Sin embargo, para el diseño de pavimentos flexibles, únicamente se recomienda convertir los datos estacionales en módulo de resiliencia efectivo de la capa subrasante, con el auxilio de la Figura 4.20 que proporciona un valor calculado en función del “daño equivalente anual” obtenido para cada estación en particular. También puede usarse la siguiente ecuación:

$$U_f = 1.18 \times 10^8 * M_R^{-2.32} \quad (1)$$

Donde:

U_f = Daño relativo en cada estación (por mes o quincenal).

M_R = Módulo de resiliencia de la capa subrasante, obtenido en el laboratorio o con deflexiones cada quincena o mes.

Y por último:

$$U_f = \text{promedio de daño relativo} = \sum U_f / n$$

Por lo que el M_R efectivo, será el que corresponda al U_f promedio (1).

Pérdida o diferencia entre índices de servicio inicial y terminal.

El cambio o pérdida en la calidad de servicio que la carretera proporciona al usuario, se define en el método con la siguiente ecuación:

PSI = Índice de Servicio Presente

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t \quad (2)$$

Donde:

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final o Terminal deseado.

P_o = Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles).

P_t = Índice de servicio Terminal, se manejan valores de 3.0, 2.5 y 2.0, recomendando 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

El método AASHTO presenta una escala de servicio original de 0 a 5 para caminos intransitables para carreteras perfectas, respectivamente. Sin embargo se sugiere que el criterio para definir el índice de servicio Terminal o mínimo de rechazo (menor índice tolerado antes de realizar alguna operación de rehabilitación, reencarpetao o reconstrucción) esté en función de la aceptación de los usuarios de la carretera.

Para el caso de diseño de pavimentos en climas muy extremos, en especial los fríos, la guía de diseño recomienda evaluar adicionalmente la pérdida de servicio original y Terminal debida a factores ambientales por congelamiento y deshielo, que producen cambios volumétricos notables en la capa subrasante y capas superiores de la estructura del pavimento.

Determinación de los espesores de capa

Una vez obtenido el Número Estructural SN para la sección estructural del pavimento, utilizando el gráfico o la ecuación general básica de diseño, (Fig. 4.15) donde se involucraron los parámetros anteriormente descritos (tránsito, R, S_o , M_R , ΔPSI), se requiere ahora determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño estructural de diseño original. La siguiente ecuación puede utilizarse para obtener los espesores de cada capa,

para la superficie de rodamiento o carpeta, base y subbase, haciéndose notar que el método, involucra coeficientes de drenaje particulares para la base y subbase.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Donde:

a_1 , a_2 y a_3 = Coeficientes de capa representativos de carpeta, base y subbase respectivamente.

D_1 , D_2 y D_3 = Espesor de la carpeta, base y sub-base respectivamente, en pulgadas.

m_2 y m_3 = Coeficiente de drenaje para base y sub-base, respectivamente.

Para la obtención de los coeficientes de capa deberán utilizarse las Fig. 4.9 a 4.13, en donde se representan valores de correlaciones hasta de cinco diferentes pruebas de laboratorio: Módulo elástico, Texas Triaxial, R – valor, VRS y Estabilidad Marshall.

Para carpeta asfáltica (a₁) Fig. 4.16

Para bases granulares (a₂) Fig. 4.17

Para sub-bases granulares (a₃) Fig. 4.18

Para bases estabilizadas con cemento

Para bases estabilizadas con asfalto Fig. 4.19

Para la obtención de los coeficientes de drenaje, correspondientes a las capas de base y sub-base respectivamente, el método AASHTO se basa en la capacidad del drenaje para remover la humedad interna del pavimento, definiendo lo siguiente:

CAPACIDAD DEL DRENAJE PARA REMOVER LA HUMEDAD

CALIDAD DEL DRENAJE	AGUA REMOVIDA EN:
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	Agua no drenada

En la siguiente tabla se presentan los valores recomendados para m_2 y m_3 (bases y sub-base granulares sin estabilizar) en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento pueda estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 4.9. VALORES m_i RECOMENDADOS PARA MODIFICAR LOS COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA DE BASES Y SUBBASES SIN TRATAMIENTO

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad próxima a la saturación			
	Menor del 1%	1 – 5%	5 – 25%	Mayor del 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	1.00-0.80	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

Para capas estabilizadas con cemento o asfalto y para la superficie de rodamiento elaborada con concreto asfáltico, el método no considera un posible efecto por el drenaje, por lo que en la ecuación de diseño solo intervienen valores de m_2 y m_3 y no se asigna valor para m_1 correspondiente a la carpeta.

Para el cálculo de los espesores D_1 , D_2 y D_3 (en pulgadas), el método sugiere respetar los valores mínimos, en función del tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados.

Tabla 4.10. ESPESORES MÍNIMOS (EN PULGADAS) EN FUNCIÓN DE LOS EJES EQUIVALENTES

TRÁNSITO (ESAL's) EN EJES EQUIVALENTES	CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO	BASES GRANULARES
Menor de 50,000	1.0 ó T:S.	4.0
50,001 -150,000	2.0	4.0
150,001 -500,000	2.5	4.0
500,001 -2'000,000	3.0	6.0
2'000,001 -7'000,000	3.5	6.0
Mayor de 7'000,000	4.0	6.0

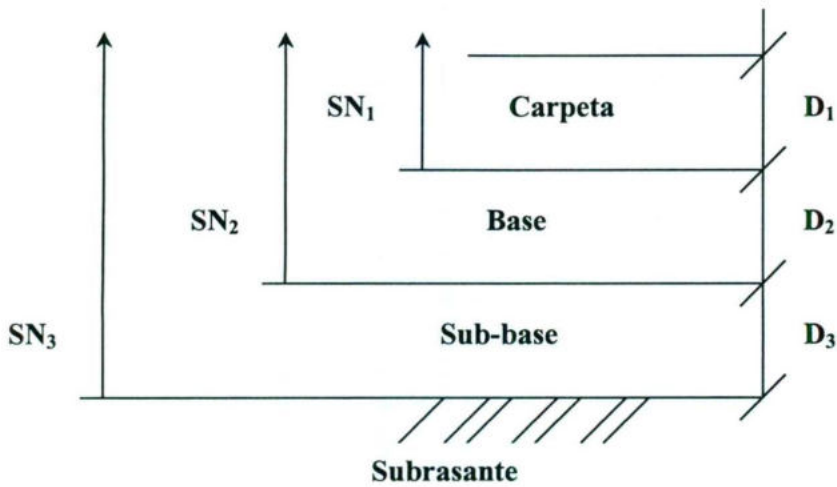
T:S = Tratamiento superficial de sellos.

Análisis del diseño final con sistema multicapa

Para pavimentos flexibles, la estructura es un sistema de varias capas y por ello deberá diseñarse de acuerdo a ello. Como se ha descrito, el SN sobre la capa sub-rasante o cuerpo del terraplén, es lo primero que debe calcularse, del mismo modo debe obtenerse el número estructural requerido sobre las capas de la subbase y base, utilizando los valores de resistencia aplicables para cada uno. Trabajando con las diferencias entre los números estructurales que se requieren sobre cada capa, el espesor máximo permitido de cualquier capa puede ser calculado. Por ejemplo, el número estructural máximo permitido para material de la capa de subbase, debe ser igual al número estructural requerido sobre la subbase restado del SN requerido sobre la subrasante.

El método AASHTO recomienda el empleo de la figura y ecuaciones siguientes:

Figura 4.14.



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D_1 \geq SN_1$$

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

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - [SN^*_1 + SN^*_2]}{a_3 m_3}$$

NOTAS:

- a) a, D, m y SN, corresponden a valores mínimos requeridos.
- b) D* y SN*, representan valores finales del diseño.

Con todo lo anterior queda configurada la sección estructural de proyecto para pavimento flexible.

Figura 4.15. GRÁFICA DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

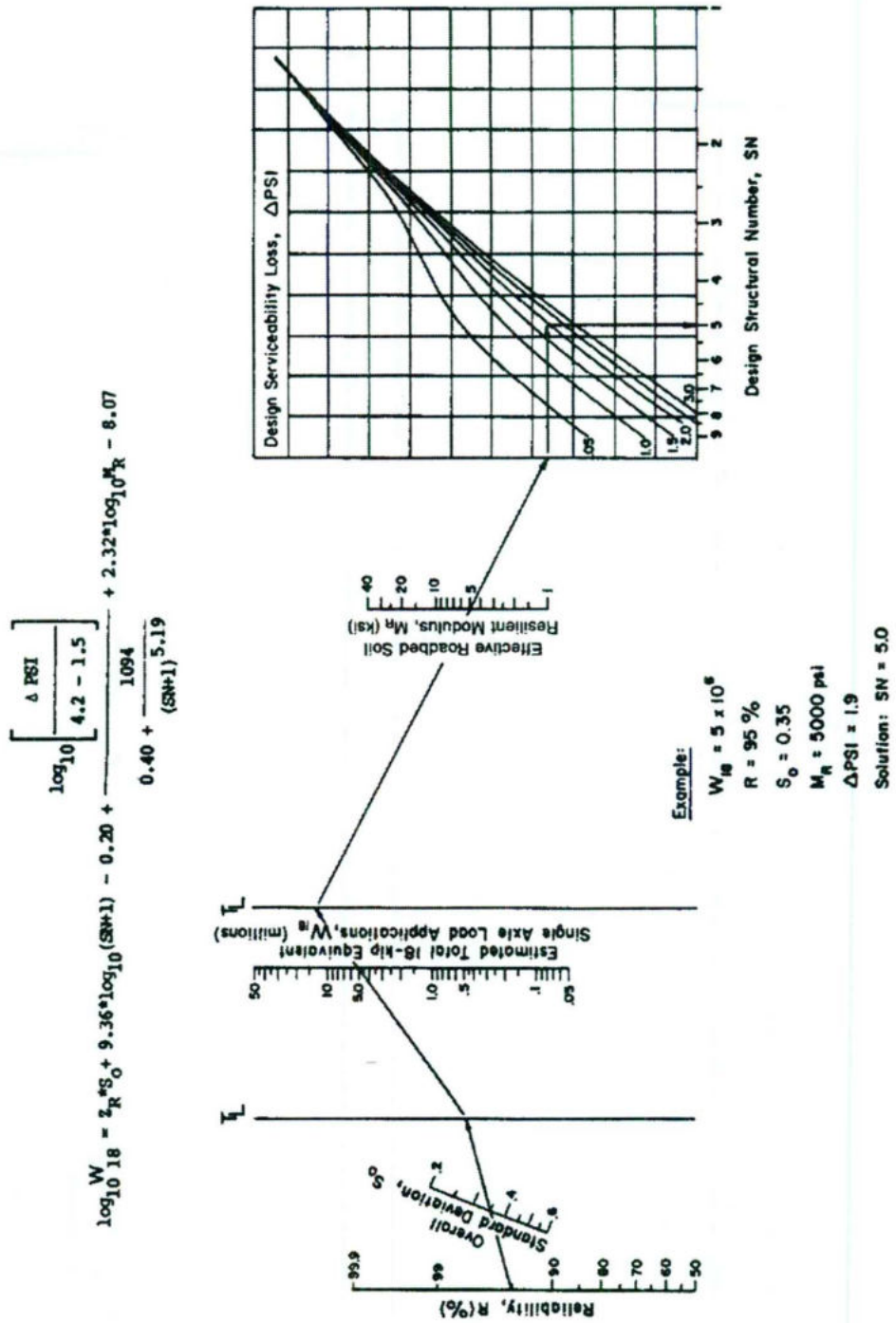


Figura 4.16. GRÁFICA PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE CAPA "a1" EN FUNCIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO ASFÁLTICO.

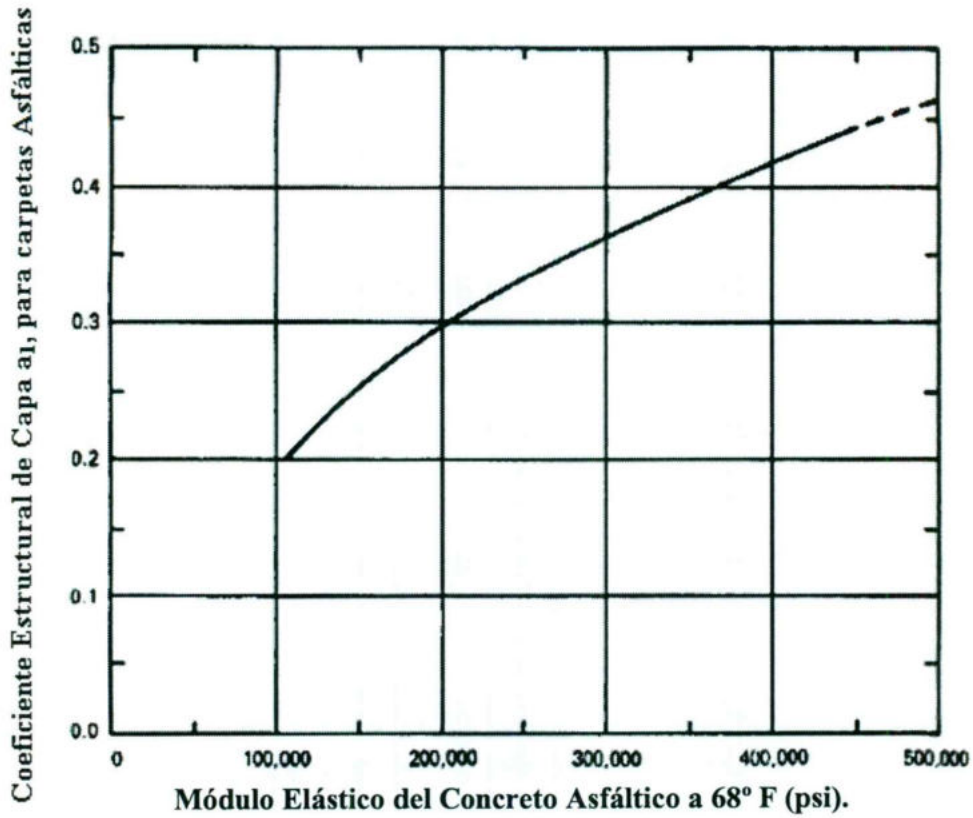
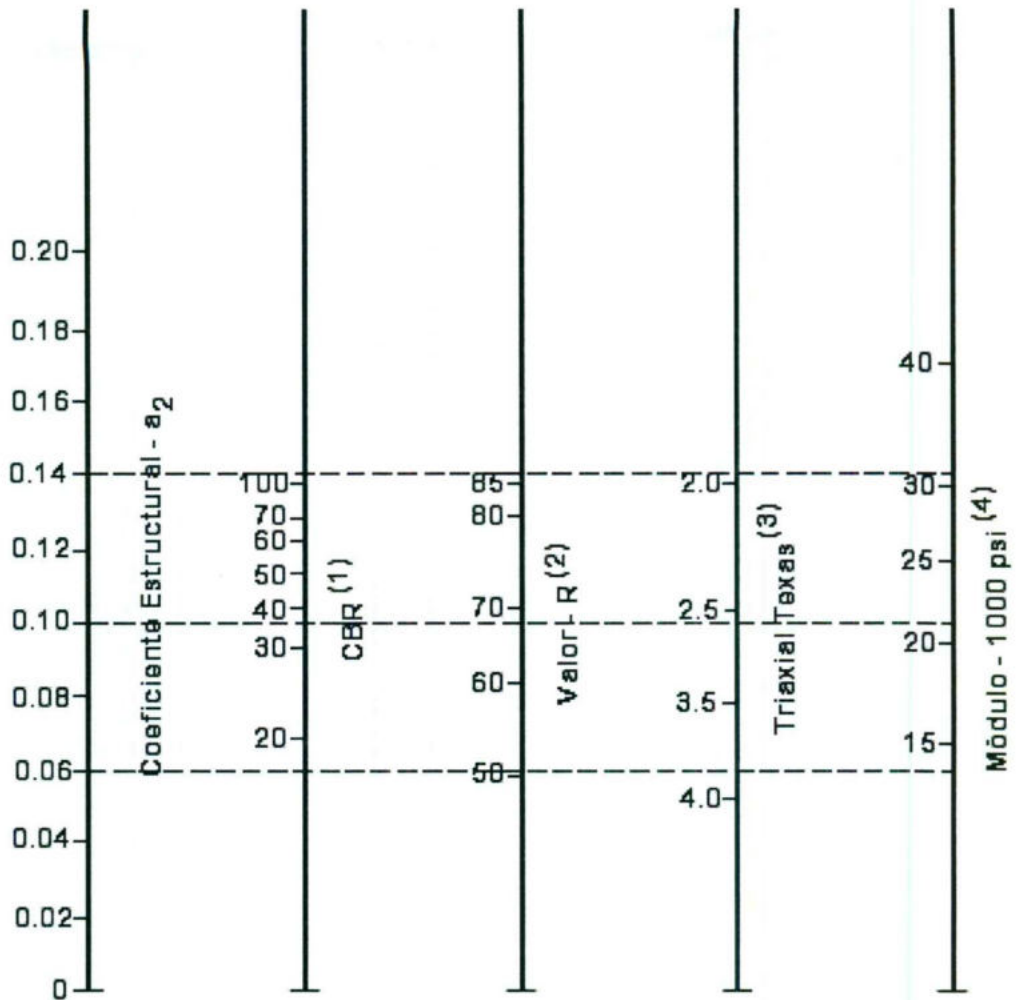
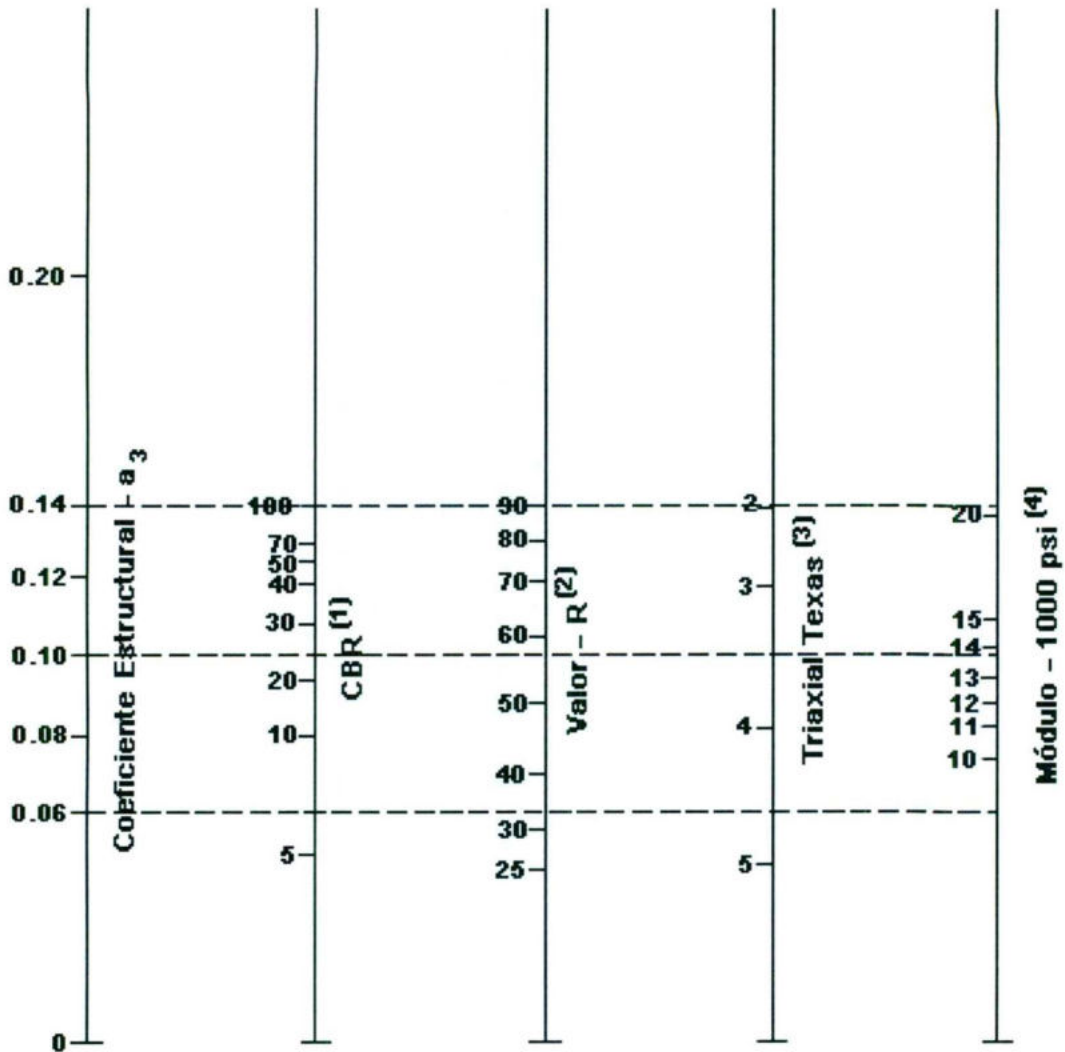


Figura 4.17. VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a2", EN BASES GRANULARES.



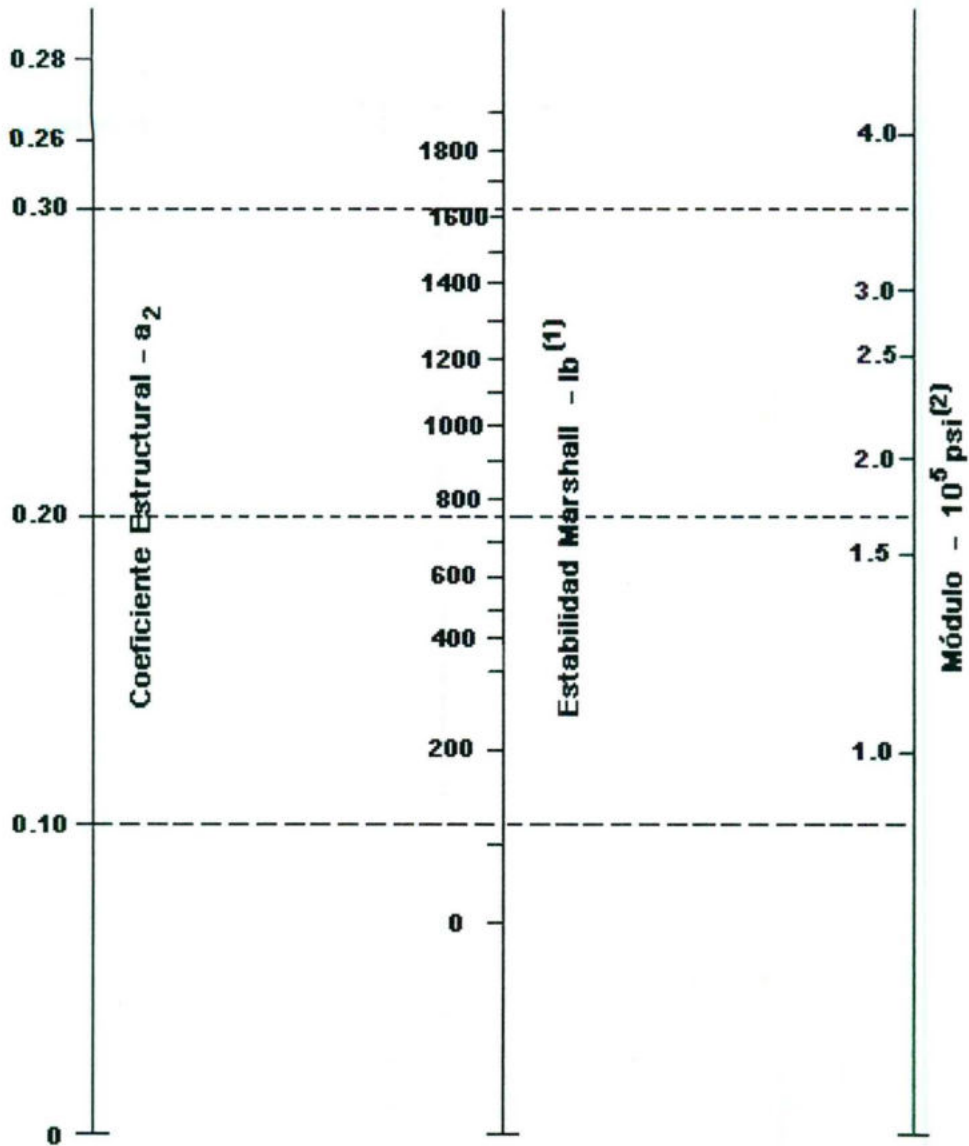
- 1) Escala derivada de correlaciones de Illinois
- 2) Escala derivada de correlaciones obtenidas del Instituto del Asfalto, California, Nuevo México y Wyoming.
- 3) Escala derivada de correlaciones obtenidas de Texas
- 4) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

Figura 4.18. VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a3", EN SUBBASES GRANULARES.



- 5) Escala derivada de correlaciones de Illinois
- 6) Escala derivada de correlaciones obtenidas del Instituto del Asfalto. California, Nuevo México y Wyoming.
- 7) Escala derivada de correlaciones obtenidas de Texas
- 8) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP.

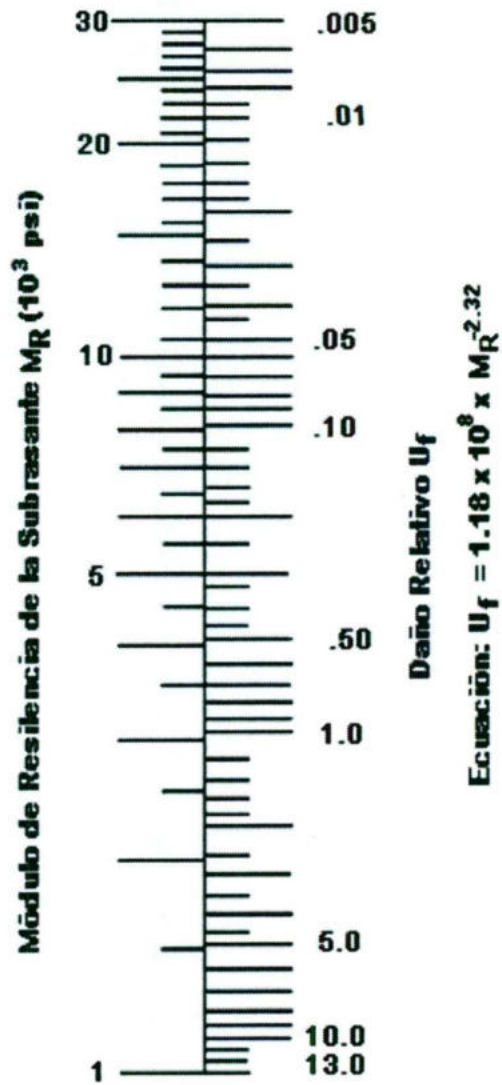
Figura 4.19. VARIACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CAPA "a₂", EN BASES ESTABILIZADAS CON ASFALTO.



- 1) Escala derivada de correlaciones de Illinois
- 2) Escala derivada del proyecto (3) del NCHRP

Figura 4.20. FORMATO PARA CALCULAR EL MÓDULO DE RESILIENCIA EFECTIVO DE LA SUBRASANTE EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Mes	Módulo de Resiliencia de la Subrasante M_R (psi)	Daño Relativo U_f
Ene.		
Feb.		
Mar.		
Abr.		
May.		
Jun.		
Jul.		
Ago.		
Sept.		
Oct.		
Nov.		
Dic.		
Sumatoria: $\Sigma U_f =$		



CAPÍTULO V. - DRENAJE EN PAVIMENTOS

Uno de los causantes mayores de los problemas en vías terrestres, es en general, el agua; pues disminuye la resistencia de los suelos, presentándose así fallas en terraplenes y cortes o asentamientos en la superficie de rodamiento. Lo anterior obliga a construir el drenaje de tal forma que el agua se aleje a la mayor brevedad posible de la obra.

El drenaje es un conjunto de obra que sirve, en general, para conducir, captar y retirar de las vías terrestres o el camino el agua que puede causar problemas.

Al caer sobre la superficie terrestre, el agua de lluvia tiene destinos diversos: escurre superficialmente, se infiltra al subsuelo o se evapotranspira.

En el momento que se construye un camino se modifican las condiciones del escurrimiento en las zonas que la vía atravesará, cambia su destino de drenaje, causando problemas como inundaciones o erosiones.

Las características de las cuencas se alteran cuando se construye un camino, pues éste ocasiona modificaciones en el uso de la tierra al propiciar el desarrollo económico en su zona de influencia. Entonces en un área boscosa, si hay depredación altera la concentración de agua, aumentando la erosión de la cuenca y propicia la acumulación de azolves agua abajo, que al final modifican el régimen pluviométrico.

Así pues, cuando se construye una vía del tipo terrestre, al agua se infiltra al subsuelo y aflora por los taludes y la cama del camino, dañando la estabilidad; será entonces necesario obstruir esos fluidos o desviarlos, o también profundizar el nivel de aguas freáticas (N.A.F.).

El estudio de drenaje debe iniciar desde la elección de la línea que irá a seguir, es entonces que se elige la ruta con menos problemas de escurrimiento. Por ello es que se presentarán problemas, y serán incluso persistentes, si desde el principio no se elige la zona mas adecuada, esto propiciará que aumente de manera innecesaria los costos de conservación.

Estudio Hidrológico aplicable al proyecto de drenaje.

Los factores de afectación en el escurrimiento serán:

- Tamaño de la cuenca
- Tipo de precipitación
- Cantidad de precipitación
- Permeabilidad de suelos y rocas
- Declive superficial
- Cantidad y tipo de vegetación
- Condiciones de saturación

Respecto a la cantidad y el tipo de precipitación, se debe tener en cuenta la cantidad anual de agua que cae y si ocurriera en forma de "aguacero" o de lluvia fina en periodos largos.

Por otro lado habrá que tener muy en cuenta el área de la cual hay que drenar, pues un "aguacero" pudiera abarcar la totalidad de una cuenca pequeña. Sin embargo, si la cuenca es muy grande, la lluvia pudiera caer solo en una parte y se infiltre más al escurrir sobre la zona que no se mojó. De igual modo la pendiente o declive superficial de la cuenca es vital, ya el agua se concentrará más rápidamente si la pendiente es más fuerte y la topografía cooperará con cauces más directos.

En cuanto a la permeabilidad de suelos y rocas, será preciso tener en cuenta si es alta a causa de su formación geológica (fracturación, estratigrafía, etc.), el escurrimiento es menor, pues gran parte del escurrimiento se infiltra. No así en suelos con saturación alta o con cubierta de pastizales muy cerrada, el escurrimiento será mayor aunque lento.

DRENAJE SUPERFICIAL

En vías terrestres, el drenaje se puede clasificar en superficial y subdrenaje, dependiendo si el agua escurre o no por las capas de la corteza terrestre. En cuanto al superficial se puede considerar longitudinal o transversal, según la que tengan las obras respecto del camino.

DRENAJE LONGITUDINAL

Tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanezcan en él y entonces causen problemas. Se le llama drenaje longitudinal porque se sitúan más o menos paralelos al eje del camino.

Cunetas. Las cunetas son canales en los cortes que se hacen a los lados de la cama del camino y su función es interceptar el agua que escurre de la corona, del talud del corte y del terreno natural adyacente, para conducirla hacia una corriente natural o una obra transversal y así dejarla lo más pronto posible de la zona que ocupa el camino.

Contracunetas. Las contracunetas son zanjas construidas aguas arriba del cero de los cortes y su finalidad es interceptar el agua que escurre por las laderas y conducirla hacia una parte baja del terreno, así se evita que al escurrir el agua por los taludes los erosione y aumente el caudal de las cunetas.

Canales de encauzamiento. Son canales que interceptan el agua antes de que llegue al camino y la conduce a sitios previamente elegidos, en los que se pueda construir una obra transversal y efectuar el cruzamiento. Esto se realiza en terrenos sensiblemente planos, en los que el escurrimiento es del tipo torrencial y no existen cauces definidos.

Bombeo. El bombeo es la pendiente transversal que se da en las carreteras y aeropistas para permitir que el agua escurra hacia los hombros. En caminos de dos bandas de circulación y en secciones en tangente es común que el bombeo se disponga en un 2% de pendiente desde el eje del camino hasta el hombro correspondiente; en las secciones en curva, el bombeo se superpone con la sobreelevación necesaria de manera que según se entra a la curva, ésta última domina rápidamente, así la pendiente transversal ocurre sin discontinuidades, desde el hombro más elevado al más bajo.

Bordillos. Son estructuras que se colocan en el lado exterior del acotamiento en las secciones en tangente, en el borde opuesto al corte en las secciones en balcón o en la

parte interior de las secciones de terraplén en curva, son pequeños bordos que forma una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos y las bajadas, evitando erosiones en los taludes.

DRENAJE TRANSVERSAL

Lavaderos. Los lavaderos son canales que se conectan con los bordillos y bajan de manera transversal por los taludes, conduciendo el agua de lluvia que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes, en donde ya no cause problemas.

Bajadas. Son estructuras semejantes a los lavaderos, pero formadas por un tubo apoyado en la superficie inclinada del terreno o encerrado en él.

Vados. Los vados son estructuras superficiales del camino en el cruce de un escurrimiento de agua efímero o permanente de tirante pequeño. Se usa frecuentemente cuando hay régimen torrencial permitiendo el paso de vehículos la mayor parte del año y donde el tránsito se interrumpa de dos a cuatro horas aproximadamente.

Alcantarillas. Son estructuras transversales de forma diversa cuya función es conducir y desalojar, con la mayor rapidez posible, el agua de las hondonadas y las partes bajas del terreno que atraviesan el camino. Por la forma de su sección y el material de que están construidas, se clasifican en tubos, bóvedas, losas de estribos y cajones. Las alcantarillas están siempre alojadas en el cuerpo del terraplén.

SUBDRENAJE

Este subdrenaje puede tener su origen en vapores arrojados por actividad volcánica, o puede tratarse de agua atrapada como residuo de antiguos lagos u océanos.

La cantidad de agua que penetra a la tierra está determinada por:

- Cantidad y tipo de precipitación
- Ritmo de precipitación. Cuando más rápidamente cae la lluvia, menos agua penetra, pues se satura la superficie del terreno.
- Declive superficial. La infiltración es mayor en terrenos más planos, a los que corresponden velocidades de escurrimiento superficial menores.
- La porosidad de los suelos y las rocas.
- La permeabilidad de los suelos y las rocas.
- La estructuración de los suelos y las rocas, especialmente a lo que se refiere a fracturación, estratigrafía y a la secuencia de los estratos permeables y los impermeables.
- Cantidad y tipo de vegetación.
- Humedad atmosférica. Si la humedad es baja, gran parte del agua caída se evapora antes de penetrar al terreno.

El agua subterránea puede almacenarse de varias maneras. La mayor parte se halla en los vacíos entre las partículas de suelo o en las cavidades, fracturas y fallas de las rocas; una parte menor puede formar ríos o lagos subterráneos.

Capas permeables en pavimentos

Es frecuente que en las camas de los cortes aparezca agua; en estos casos puede ser útil la colocación de capas permeables bajo el pavimento para su protección. Están constituidas por material de filtro, de manera que con ayuda de una pendiente transversal adecuada y de unas correctas instalaciones de salida puedan drenar el agua que se infiltre desde el pavimento, que provenga de los acotamientos de la vía o que ascienda por subpresión.

Muchas veces estas capas drenantes se integran al pavimento, aprovechando que la naturaleza granular de los materiales de filtro los hace muy apropiados para la función, estructuralmente hablando.

CAPÍTULO VI. - EL ESTUDIO



Vista aérea del predio

ESTUDIO GEOLÓGICO.

Este trabajo estuvo orientado a la propuesta geotécnica para urbanización y edificación de vivienda de interés social en un predio de 55 Ha, compuesto por fracciones de la ex hacienda Las Garzas.

Otro objetivo, es el mejor aprovechamiento de los materiales locales para la urbanización.

El predio tiene hacia el poniente, al límite con la carretera y el derecho de vía de la misma, roca andesítica muy fracturada, que en el peor de los casos puede servir como terraplén y superficie de rodamiento provisional en el boulevard de acceso.

La zona 2 al sur del predio tiene suelo areno limoso con fragmentos de roca que pueden servir para terraplén, capa subrasante y subbase.

La capa delgada de arcilla debe ser almacenada para jardín y área recreativa.

La estratigrafía.

La estratigrafía del subsuelo es heterogénea, la mayor parte está compuesta de roca andesítica fracturada en bloques; triturada y clasificarla sería importante para obtener recursos extras como un negocio rentable.

En la parte sur, al límite del rancho de La Cantina, el suelo es arena limosa con grava y fragmentos chicos de roca, llamado tepetate.

La exploración profunda para evaluar el potencial es independiente.

Entre éstas dos, hay una formación de limo arcilloso, color rosado, con fragmentos de roca redondeados, cubierta con arcilla color oscuro de espesor muy variable; los límites de la formación están indefinidos.

También, en la franja que limita al sureste se ha acumulado sedimento de suelo arcilloso, de plasticidad alta, color negro, con potencial expansivo alto.

Esta franja está determinada con pozos a cielo abierto y su espesor comprobado.

ANTECEDENTES

- i.) El proyecto ejecutivo para la urbanización del predio, requiere un estudio geotécnico.
- ii) El predio está ubicado al noroeste del municipio, en las coordenadas UTM: 34970 m E, 2297830 m N, 2000m SNM
- iii) El predio está en el flanco sur del lomerío; tiene un buen drenaje.
- iv) La región es la provincia Fisiográfica "Franja Volcánica Transmexicana"; subprovincia "Sierras y Valles de Querétaro e Hidalgo".
- v) En el predio la formación es andesítica intemperizada en diferente grado, desde suelo hasta fragmentos grandes y el "pie de talud" son clastos empacados en limo arcilloso o arena limosa, cubiertos con suelo arcilloso retransportado.
- vi) Hidalgo tiene característica sísmica media a baja; en la regionalización sísmica de la República Mexicana CFE (1994) está en la zona "B".
- vii) El clima en esa zona es templado semiseco, clasificado en Copen-Geiger-Pohl (cwa); temperatura promedio anual 17°, temperatura máxima de 25°, que ocurre en mayo y junio; y la temperatura mínima es de 0°C que ocurre en Diciembre y Enero.
- viii) La precipitación pluvial promedio anual es de 550 mm. Los meses más lluviosos son junio y septiembre.
- ix) La vegetación es igualmente importante destacarla; se propone aprovechar los árboles que pueden ser trasplantados y colocados en los camellones de la vialidad principal y en el canal recolector pluvial de la zona límite sur.

EXPLORACIÓN Y MUESTREO.

En un área pequeña que está sembrada de maíz y otra donde pastan los caballos no se permitió el muestreo. Sólo importa el área sembrada pues parece que el suelo es areno limoso "tepetate"; el área de pastoreo es roca.

En la práctica se excavaron 71 (PCA), se usó retroexcavadora pues, en general, el suelo está muy duro; la profundidad máxima de muestreo fue de 3.00 m y la mayoría de los (PCA) quedó a nivel de la roca.

Es posible que la época en que se realizó el muestreo (agosto) no sea la mejor para muestrear suelos con plasticidad alta pues el contenido de agua alto inhibe la expansión en el consolidómetro; pero por el corto tiempo se tuvo que juzgar por la plasticidad.

BANCOS DE MATERIAL.

La roca andesítica se muestreó del corte en el frente que da a la carretera, se llevó a triturar en camión de volteo a la máquina de impacto horizontal; la calidad que se obtuvo es suficiente para usarla como agregado pétreo en carpetas asfálticas, bases hidráulicas, concreto hidráulico, etc.

La arena limosa con grava y fragmentos chicos de roca, "tepetate", se ensayó para terraplén, superficie temporal de rodamiento y capa subrasante.

En la región se sobreexplotó el material para terraplenes y algunos depósitos se cubrieron con vivienda. El muestreo de las zonas cercanas requiere permiso del ejido; pero más importante es asegurar el volumen del material necesario.

ENSAYES DE LABORATORIO.

A todas las muestras se les ensayó para conocer sus propiedades índices.

A las muestras de arcilla negra de los PCA 5, 7, 8 se les ensayó la expansión en muestra remoldeada por si se usan para terraplén; para evitar la expansión se ensayaron mezclados con cal.

Al material de los PCA-28, 29, 30, 31; 62, 63, 64, por el contenido de agua grande no se registra presión y el por ciento de expansión.

A las muestras de material de los PCA-1, 2, 3, 4, 6 y PCA-65, 66, 67 se les ensayó para conocer su calidad para terraplén y capa subrasante.

Por si fuera conveniente al proyecto ejecutivo, se ensayó la calidad del material triturado del corte oriente.

Con la metodología de ensaye vigente se obtuvieron las características:

W	= Humedad natural,	en %
Ll	= Límite líquido,	en %
Lp	= Límite plástico,	en %
Ip	= Índice plástico,	---
G	= Retenido en malla 4.750 mm,	en %

A	= Retenido en malla 0.075 mm,	en %
F	= Pasando en malla 0.075 mm,	en %
Cs	= Sistema unificado clasificación de suelos,	----
Ss	= Densidad de Sólidos,	----
c, φ	= Compresión triaxial,	en kg/cm ²
σ_v	= Presión de expansión,	en kg/cm ²
ex	= Por ciento de expansión,	en %
CBR	= Valor de Soporte de California,	en %

ESTRATIGRAFÍA.

El predio se puede dividir en cuatro zonas importantes:

La primera; que es más amplia cerca del 80% de la superficie, tiene una capa pequeña de arcilla con materia orgánica, entre 0.2 y 0.5 m., subyace roca andesítica muy fracturada y con las fracturas más cerradas en la zona alta.

En algunos sondeos, como en los PCA-43 y 44 las fracturas están unidas con carbonatos. En los PCA-12, 13, 14 las fracturas están rellenas con fino plástico.

La segunda; tiene la capa arcillosa más gruesa, entre 0.5 – 1.0 m, arcilla con materia orgánica, color oscuro, muy húmeda por la temporada, plasticidad alta, considerada muy dura y potencial expansivo muy alto. Humedad 38.6 y 44.2 %, pasa por malla 4.75 mm entre 91 – 80%, límite líquido entre 56- 61%, índice plástico entre 26 -33; se clasifica como (CH).

Subyace hasta la profundidad muestreada “tepetate” suelo areno limoso con fragmentos de roca pequeños, color gris claro, plasticidad baja, contenido de agua bajo, muy compacto: Humedad 28.5 – 48.7 %, pasa malla 4.75 mm entre 16-13%, límite líquido entre 40 – 48%, índice plástico entre 6-11 (SM).

La tercera; comprende el pie de talud del lado suroeste y sureste, sin definir su contacto entre zonas 1 y 2; comprende, de poniente a oriente, los PCA-5, 7, 8, 61 al 64; tiene como superficie arcilla negra, orgánica, plasticidad alta, espesor entre 0.70 m y 1.80 m. Humedad 48.1 – 53.1 pasa malla 4.75 mm entre 83 – 94%, límite líquido entre 74 – 76%, índice plástico entre 41 – 43; (CH).

Le subyace un estrato de limo arcilloso, color rosado, con fragmentos de roca chicos redondeados; plasticidad media alta; contenido de agua alto. El espesor del estrato es

mayor que tres metros: Humedad 38.2 -39.8 pasa malla 4.75 mm entre 48 – 80, límite líquido entre 43 – 46, índice plástico entre 10 – 30; (CH) y (ML).

La cuarta; es suelo aluvial transportado por el drenaje normal hasta el límite del predio donde lo retiene la cerca de piedra y un lomo de tierra; comprende los suelos de PCA-28-31 y 35 al 38, 49 al 60.

Caso especial es la franja colindante al sur, PCA28-31, aquí quedó depositada la arcilla negra, que está agrietada, tiene plasticidad alta, contenido de humedad alto, consistencia dura, espesor entre 1.0m y 2.50 m. Humedad 38.9 – 42.4, pasa malla 4.75 mm entre 86 – 94%, límite líquido entre 62 -81%, índice plástico entre 22 -45; (CH). El Potencial de expansión es alto en el estrato.

Subyace la roca andesítica fracturada.

DISEÑO DE PAVIMENTO.

Para diseño de pavimento, específicamente flexible, hay tres casos: acceso en el derecho de vía de la carretera, vialidad principal y vialidad secundaria.

En los pavimentos flexibles la superficie de rodamiento es una carpeta asfáltica y la capa resistente es la base; cuando es necesario, bajo esta se coloca la capa subbase, que tiene menor o igual calidad que la base; también forma parte la capa subrasante, así como el terraplén.

SCT requiere que el diseño en el derecho de vía se haga con dos métodos mínimo; pero para la vialidad interior el diseño de la sección estructural se hizo con el Instructivo (444), Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Los parámetros para el diseño se consideran así:

El periodo de diseño, 15 años, se propone para que la estructura de pavimento funcione con la conservación normal, sin reconstrucción.

La tasa de crecimiento, 1.0%, se considera que el tránsito pesado será importante y que el tránsito ligero para zonas industriales es ilimitado.

El nivel de confianza propuesto, 0.08, considera condiciones de construcción normales: variables de calidad, compactación, disponibilidad de materiales y equipo de construcción.

Las variables, el clima y drenaje, tienen pequeño rango de variación; pero mucho efecto en el desarrollo durante el periodo de diseño del pavimento.

El valor de soporte de California crítico se calculó con los valores obtenidos en muestras tomadas en campo con molde porter; en material de banco para base triturado en el laboratorio, de acuerdo con la expresión:

$$CBR_z = CBR_p (1 - 0.84 V)$$

CBR_z = Valor de soporte de California crítico, en %

CBR_p = Valor de soporte de California estándar promedio, en %

V = Coeficiente de variación (0.20 para base, subrasante y terreno natural)

Con los datos de ensaye:

Base	83.20%
Subrasante	23.68%
Terreno natural	4.23%

Tránsito tipo esperado en la vialidad

La masa de los ejes se tomó de: PROY – NOM-012-SCT-2-2003

El tránsito promedio diario anual es una variable difícil de predecir; el tránsito inducido se intentó visualizar con la propuesta siguiente:

Automóvil	A2	dos ejes sencillos	(04 llantas) = 3080
Camioneta	A'2	dos ejes sencillos	(04 llantas) = 343
Autobús	B2	dos ejes sencillos	(06 llantas) = 264
Camión	C2	dos ejes sencillos	(06 llantas) = 264
Camión	C3	eje sencillo + eje tandem	(10 llantas) = 352
Trailer	T3-S2	eje sencillo + dos ejes tandem	(22 llantas) = 53
Trailer	T3-S3	eje sencillo + eje tandem + eje tridem	(22 llantas) = 44

Un vehículo por vivienda, el daño mayor será de los autobuses urbanos; = 4400

El cálculo de tránsito acumulado, $-\sum L$, en ejes equivalentes a 8.2 t (18000 lb), está en el siguiente cuadro; se consideran los vehículos cargados y en un carril:

Tránsito		Coeficiente de daño			Número de ejes equivalentes		
Tipo	Unitario	Z=0.05m	Z=0.15 m	Z=0.60m	Z=0.05m	Z=0.15m	Z=0.60m
A2	0.76	0.004	0	0	0.0030		
A'2	0.06	0.536	0.064	0.015	0.0322	0.0038	0.0009
B2	0.10	2.400	2.730	2.990	0.2400	0.2730	0.2990
C2	0.03	2.400	2.730	4.520	0.0720	0.0819	0.1356
C3	0.03	3.490	2.990	2.600	0.1047	0.0897	0.0780
T3-S2	0.01	4.700	4.230	4.540	0.0470	0.0423	0.0454
T3-S3	0.01	5.880	5.100	4.140	0.0588	0.0510	0.0414
SUMA	1.00	Ejes equivalentes, tránsito unitario			0.2825	0.2649	0.3004
Tránsito inicial carril de proyecto					2.200	2.200	2.200
Coeficiente de acumulación de tránsito					5.875	5.875	5.875
Tránsito acumulado ejes equivalentes πL					3651313	3423833	3882670

Para diseño de espesores de las capas se siguió procedimiento analítico:

$$F_z = CBR_z / CBR_0 [A]^{log \sum L}$$

$$z = 15 / (((1-Fz)^{-2/3} - 1)^{0.5})$$

Nivel de rechazo 2.5, agrietamiento mediano y deformación máxima 1.2 cm a final del periodo de diseño y con el módulo elástico de carpeta 30,000 Kg / cm², a partir del espesor de capas obtenido se propone estructurar en espesor real:

Capa	Espesor	Material	Tratamiento
Carpeta	0.05 m	Concreto asfáltico	Compacto 95% Marshal
Base *	0.20 m	Grava triturada	Compacta 95% SCT 002-k.06
Subrasante	0.30 m	Arena limosa	Compacta 95% SCT 002-k.04
Terraplén	variable	Arena limosa	Compacta 95% SCT 002-k.04

Procedimiento de construcción.

a.- La urbanización del predio se realizó por etapas.

La excavación del suelo arcilloso, color negro es la primera actividad; si el nivel de proyecto geométrico requiere, se excavará lo necesario para alojar la estructura (0.55 m) formada por capas de material de banco seleccionado.

El material de excavación puede ser colocado en el área verde o acarreado a un banco de tiro autorizado.

b.- El terraplén tendrá espesor variable de acuerdo al proyecto de rasante, se hará con material de banco, colocado en capas menores que 0.20 m, a humedad óptima, y se compactará al 95% de la masa volumétrica seca máxima obtenida en el ensaye SCT 002-k.04.

c.- La capa subrasante, los 0.30 m superiores del terraplén, requiere que la característica del material sea igual o mejor que la del terraplén; colocado en dos capas, a la humedad óptima y se compactará al 95% de la masa volumétrica seca máxima obtenida en el ensaye SCT 002- k.04.

d.- Estructuralmente la capa base de un pavimento flexible es muy importante, porque es el elemento resistente que transmite al terraplén y el terreno natural, en una intensidad apropiada, los esfuerzos producidos por el tránsito.

La grava triturada se llevará a la obra en camiones, se acamellonará en seco, se muestreará y ensayará; si la calidad es aceptable seguirá el proceso, si no es aceptable se harán las correcciones o la sustitución del material de calidad baja.

Se incrementará la humedad del material hasta el contenido de agua óptimo.

Se tenderá la capa abundada para que al ser compactada tenga de espesor 0.20 m. La compactación se hará hasta que la capa alcance el 95% de la masa volumétrica seca máxima obtenida con el método de prueba SCT 002-k.06.

Se verificará también el espesor de la capa con tolerancia de 1 cm.

e.- Si la verificación resulta positiva, entonces se procede al riego de impregnación.

Como es asfalto emulsificado no hay penetración solo impregnación.

La emulsión se muestreará y ensayará para identificar sus características de calidad: ECI -60 (emulsión catiónica modificada para impregnación).

Si es aceptada se hará el riego; si no, se rechazará el lote de emulsión completo.

Se cerrará la calle 72 h al tránsito, hasta que fragüe el cemento asfáltico.

f.- Desde el punto de vista funcional, el elemento más importante es la carpeta asfáltica, hecha con mezcla de agregado pétreo y cemento asfáltico en caliente, y colocada en obra con un espesor homogéneo. Sirve como superficie de rodamiento adecuada y resistente a los efectos abrasivos del tránsito.

Para la colocación de la carpeta asfáltica hará el barrido la base impregnada: basura, tierra, piedras.

Estará en obra y verificado el equipo de tendido, el de compactación y el concreto asfáltico tendrá la calidad especificada.

Se hará el riego de liga sobre la base, éste es un riego ligero de emulsión catiónica de rompimiento rápido en proporción cercana 0.7 l/m^2 , esto depende de contenido de cemento asfáltico de la emulsión.

g.- Durante la colocación de la carpeta estará el laboratorio de control, y cuando llegue la mezcla asfáltica a la obra se hará el muestreo: viaje a viaje para el control de la temperatura, y cada hora para la obtención de la masa volumétrica Marshall, el contenido de cemento asfáltico y la granulometría del pétreo.

Se tenderá la capa abundada de mezcla asfáltica (concreto asfáltico) para tener espesor de capa compacta 0.05 m.

Se controlará que la temperatura de tendido sea mínimo 140° C y que, atrás de la extendidora vaya el equipo de compactación; la compactación se terminará antes que la temperatura de la mezcla asfáltica baje a 120° C .

Cuando haya terminado la compactación, el laboratorio de control extraerá núcleos de carpeta, cada 200 m lineales, para obtener la masa volumétrica de campo y calcular el por ciento de compactación; adjunta se hará la prueba de permeabilidad para verificar esta característica, que debe ser cero.

h.- El cuerpo izquierdo de la avenida principal requiere subdrén para cortar el flujo de agua en la roca fracturada. Esto es muy importante.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.

La superficie del predio está cubierta con una capa de arcilla orgánica, de espesor variable, plasticidad alta, consistencia dura.

En la mayor parte del predio el subsuelo está formado por roca andesítica, color morado gris, en parte intemperizada o muy fragmentada, en el subsuelo de la zona oriente las diaclasas están llenas de carbonatos.

La zona limítrofe a la fábrica tiene material limo-arenoso útil para terraplén.

La zona más baja, al poniente del predio, tiene suelo arcilloso color rosado; que modificado con cal puede ser útil para terraplén.

En la zona oriente por drenaje se almacenó suelo arcilloso con fragmentos de roca, tiene plasticidad de media a alta y sobre él se puede hacer el terraplén.

Caso especial es la franja, 20m de ancho, al límite sur en coordenadas UTM: (4353308mE, 2238265mN) – (4354001mE, 2238435mN) tiene espesor profundo de arcilla negra con plasticidad alta, expansiva.

Se propone pavimento flexible con la sección siguiente:

Capa	Espesor	Material	Tratamiento
Carpeta	0.05 m	Concreto asfáltico	Compacto 95% Marshall
Base*	0.20m	Grava triturada	Compacta 95% SCT 002-k.06
Subrasante	0.30m	Arena limosa	Compacta 95% SCT 002-k.04
Terraplén	Variable	Arena limosa	Compacta 95% SCT 002-k.04

* Para calles interiores: Carpeta 0.04 y base hidráulica 0.12.

El drenaje Pluvial es tan importante para el pavimento como la calidad de los materiales; del buen funcionamiento de ambos depende el comportamiento del pavimento durante el periodo de diseño.

En el cuerpo izquierdo de la vialidad principal se requiere un subdren porque la roca está muy fracturada y el agua puede viajar libre en los huecos, esto afectaría a las capas de pavimento de modo dramático.

Se propone que la calidad de los materiales para las capas de pavimento cumplan con la normativa SCT vigente, que es del dominio público.

Se juzga conveniente lo anterior u otra calidad y procedimiento de construcción debe estar especificado en el contrato.

Si se desea tener banco de material propio, dentro o fuera del predio, para no depender de los proveedores, conviene tener disponible la información del material necesario,

para efectuar la exploración profunda, así los bancos de material tendrán el volumen comprobado.

En la parte más baja, al poniente del predio, donde probablemente se requiera excavar para alojar la planta de tratamiento y otras estructuras, el suelo es arcilloso, color rosado, tiene fragmentos de roca chicos y redondeados. Este material puede ser usado para terraplenes de las plataformas para cimentación de vivienda si se modifica con cal al 2% del peso seco del suelo.

Respecto a la propuesta de los bancos de material, debido a la adecuada calidad de los materiales para ello. Se llevan a cabo, siendo tres los bancos: El banco "El Bordo", El banco "Satisfacción", y el banco "La Providencia". En donde se extraerán materiales para base, sub-base y subrasante.

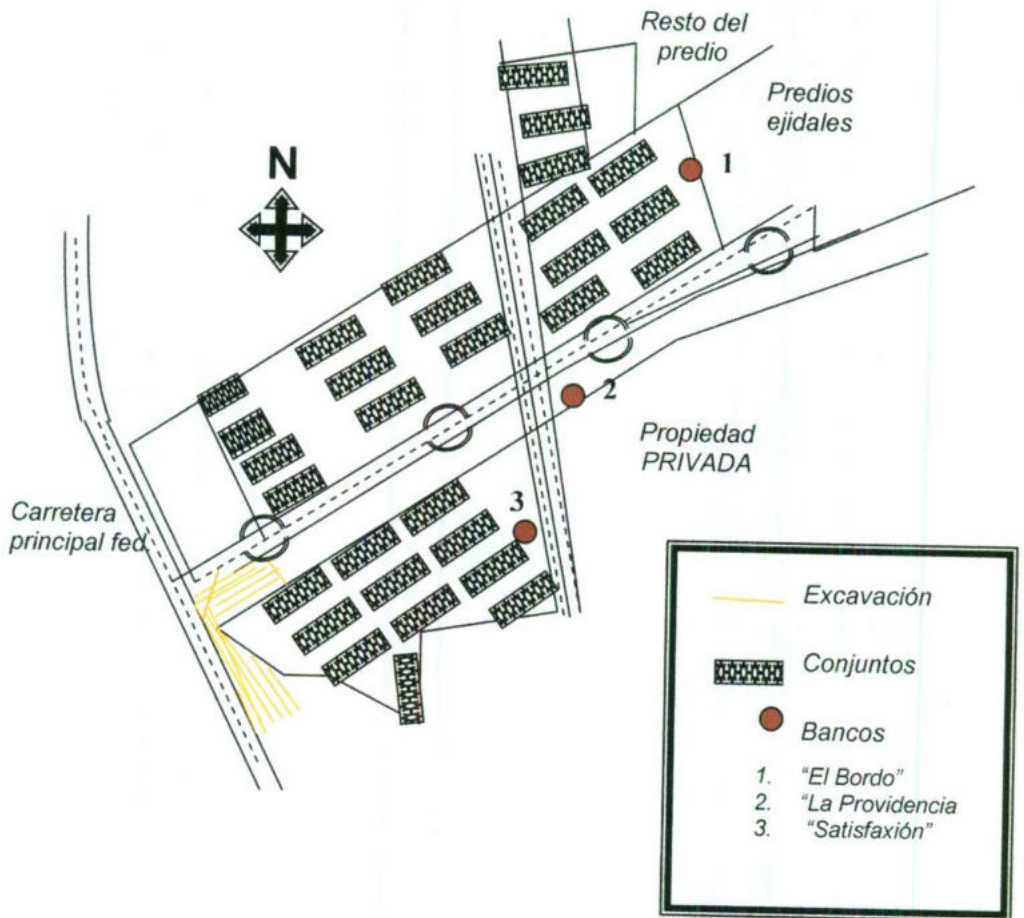


Figura 4.21. Croquis de Localización

UBICACION DE SONDEOS (PCA)

Figura 4.22. Croquis de Localización de Pozos a Cielo Abierto.



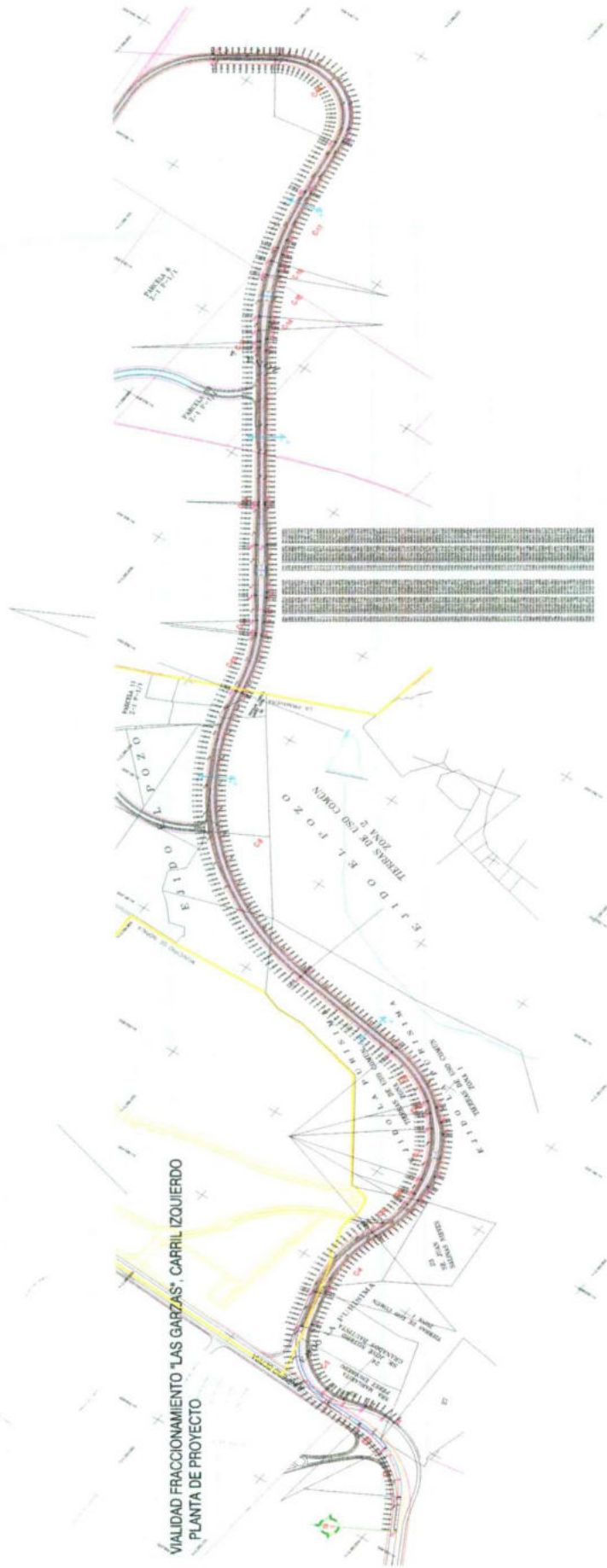
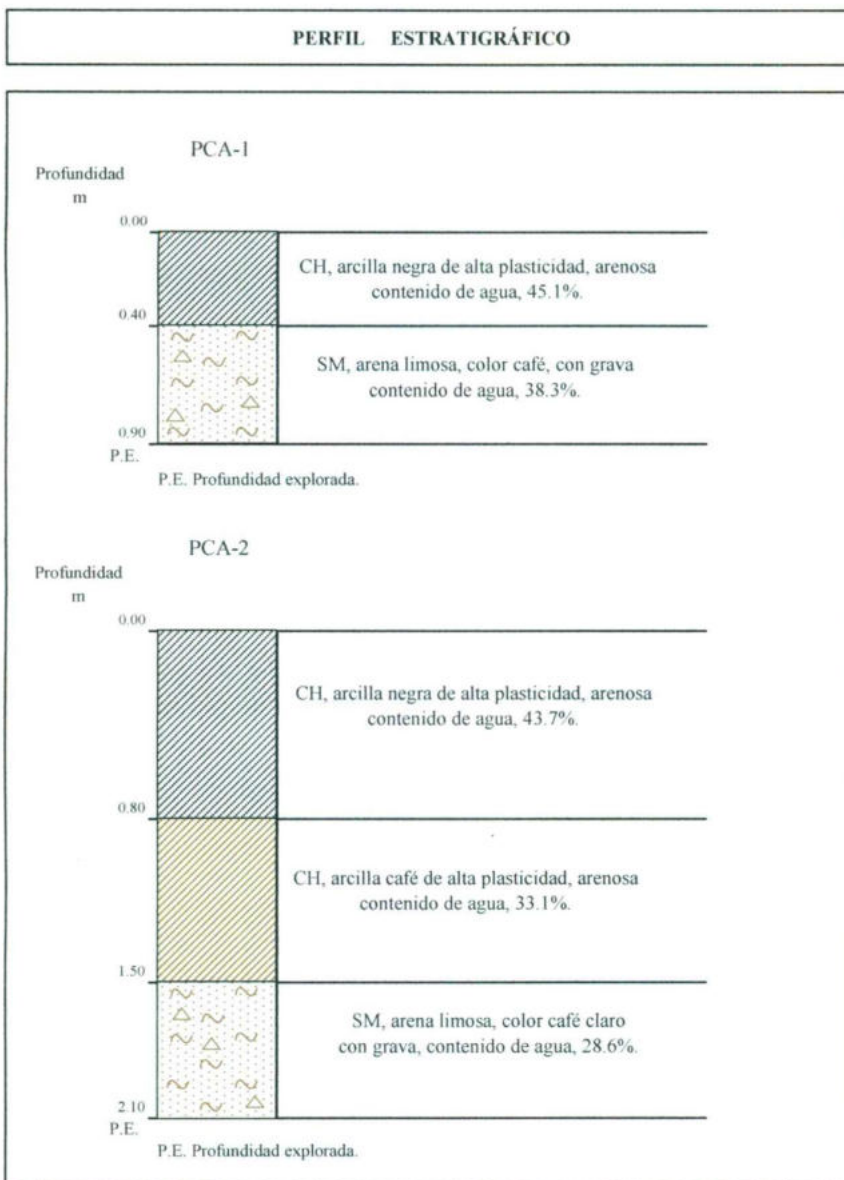
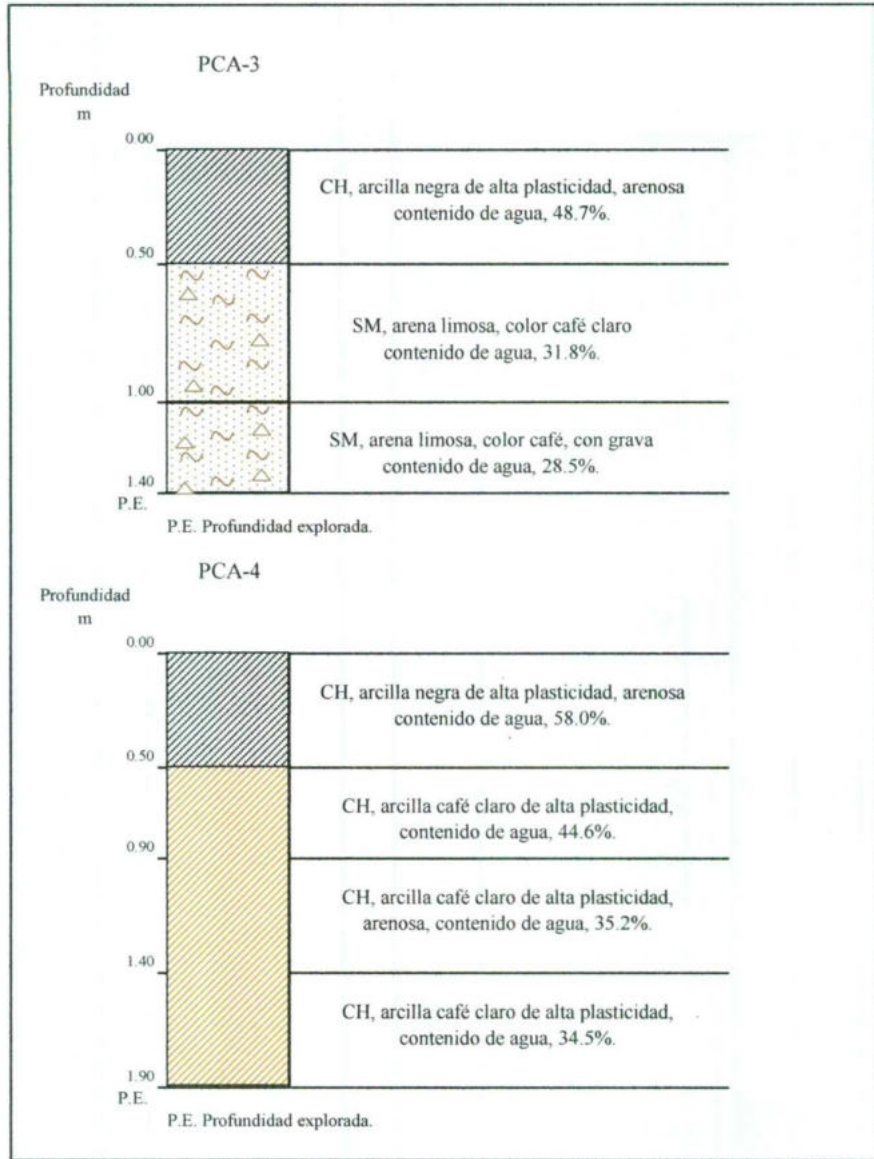


Figura 4.23. Planta de Proyecto

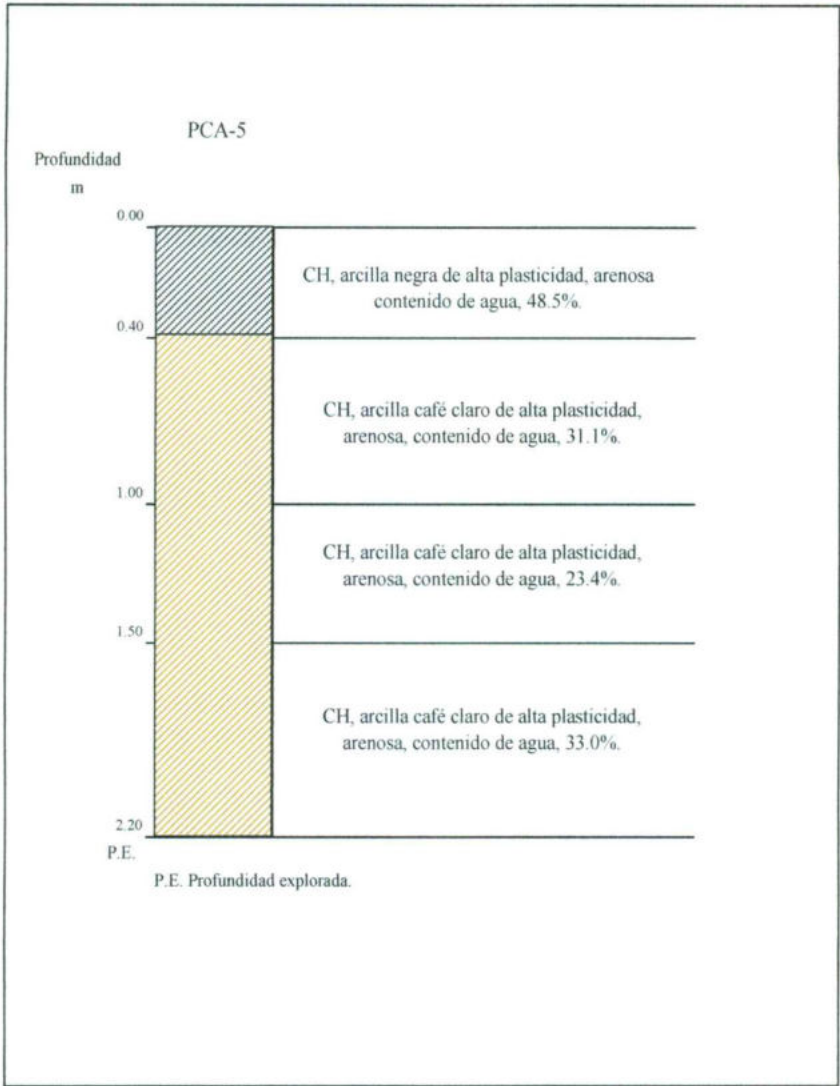
ANEXO PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

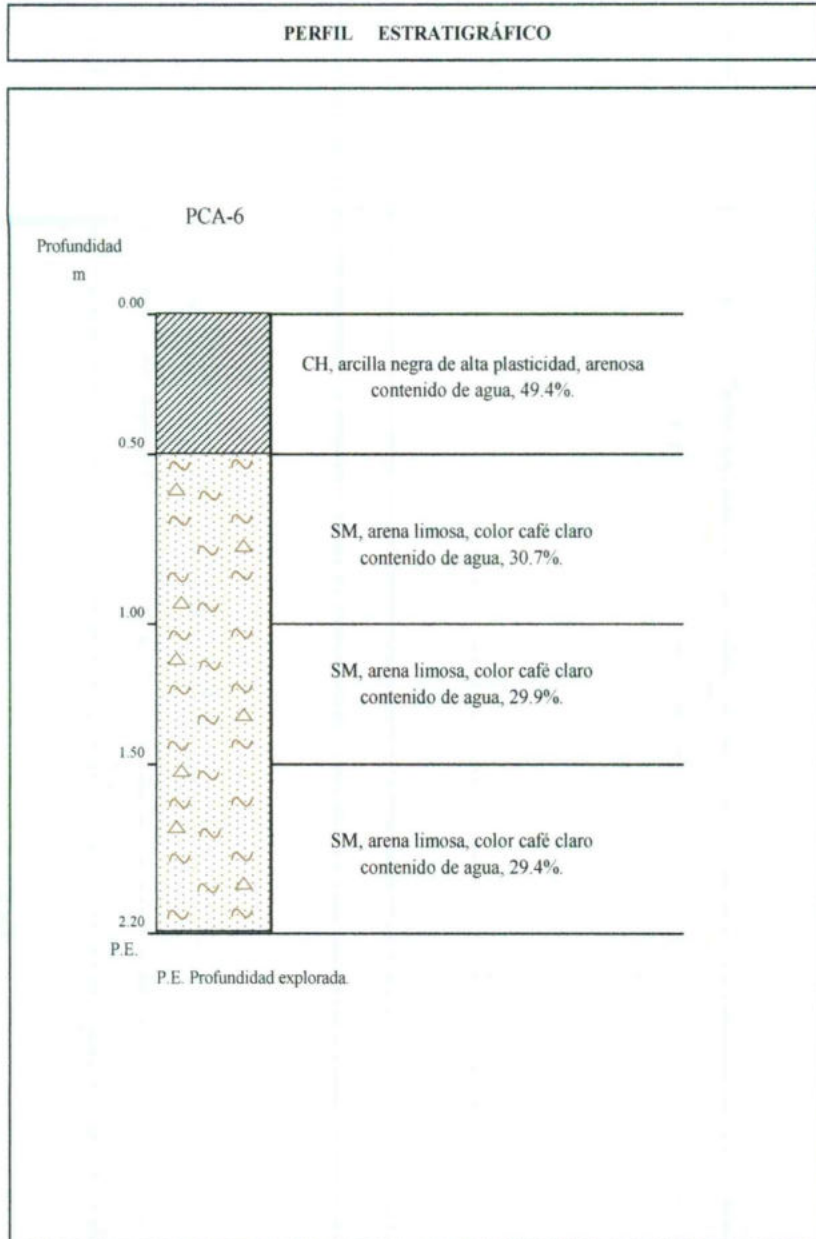


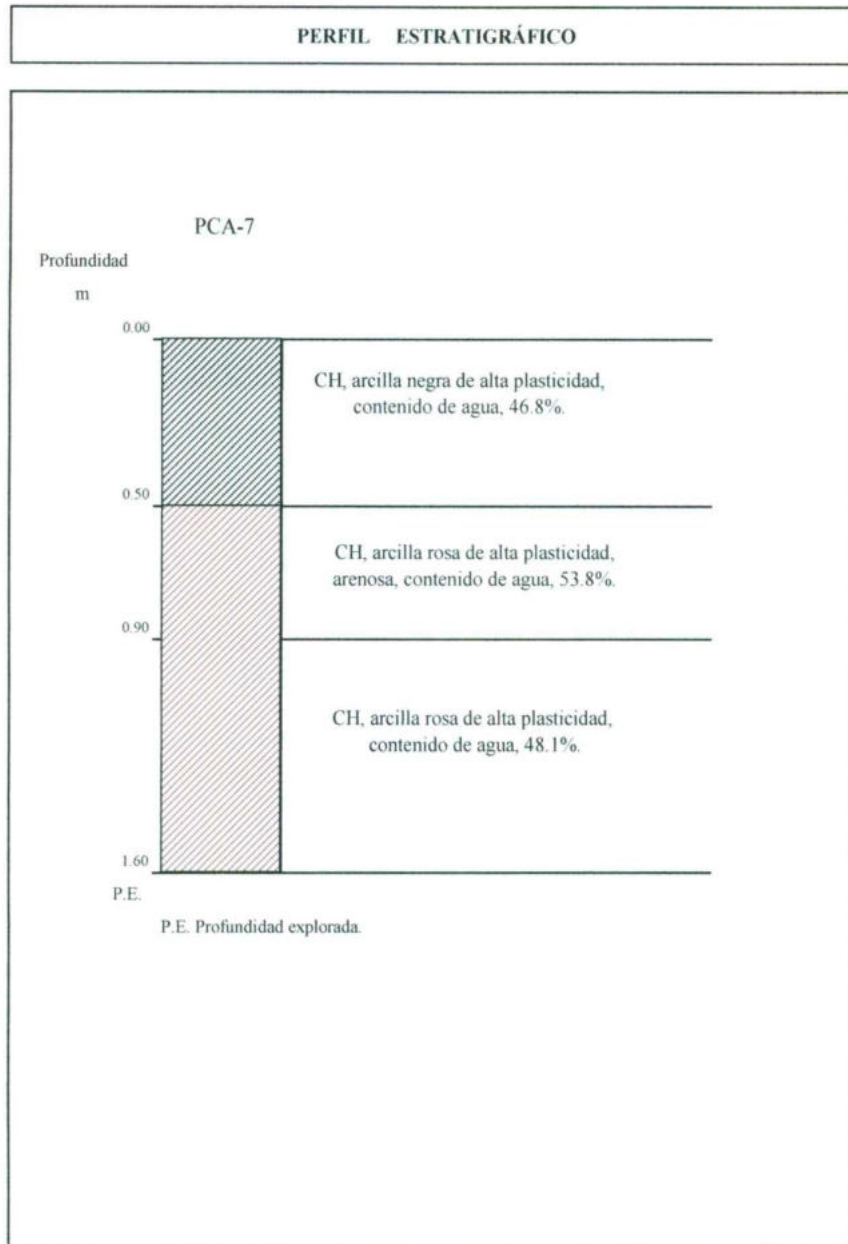
PERFIL ESTRATIGRÁFICO

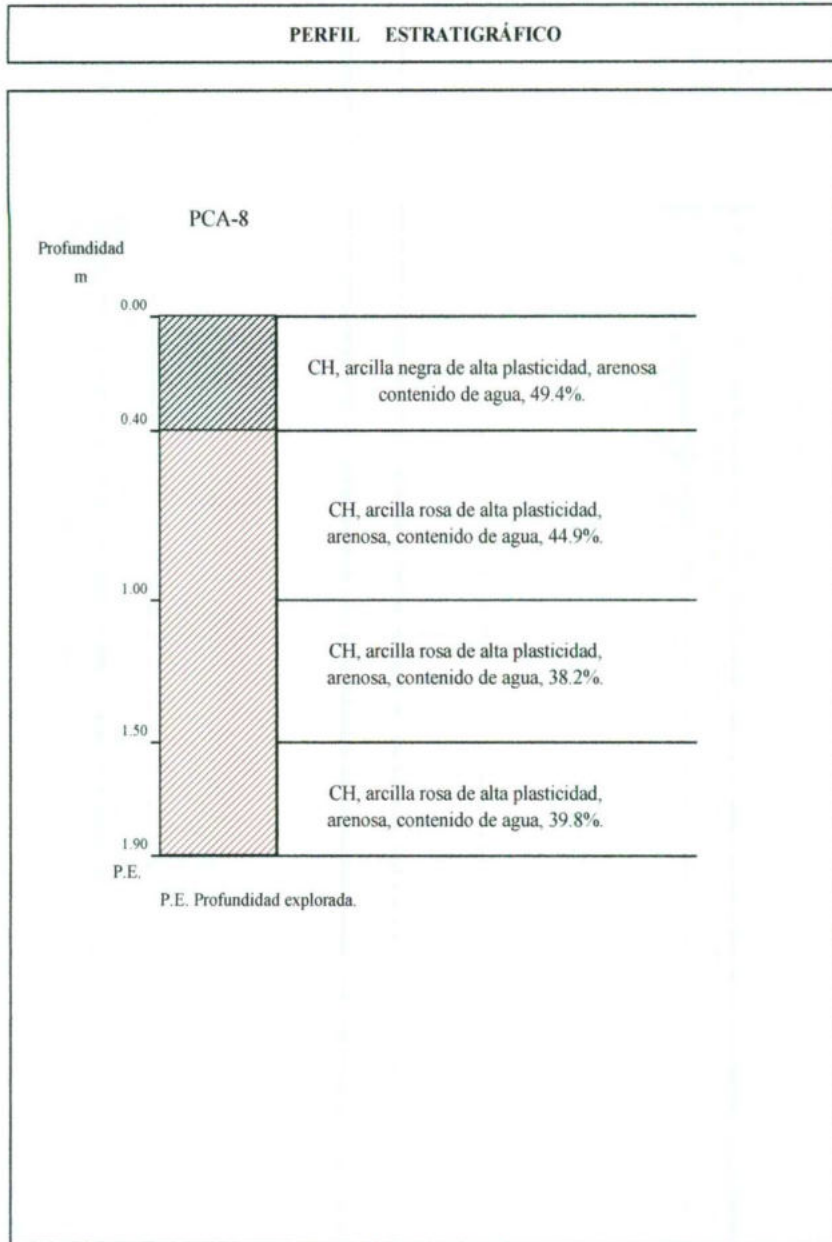


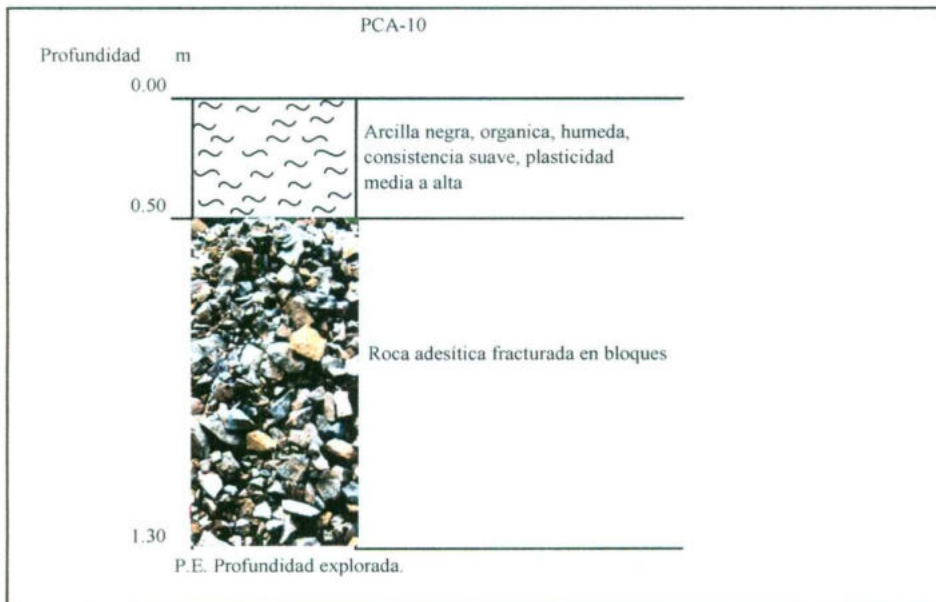
PERFIL ESTRATIGRÁFICO

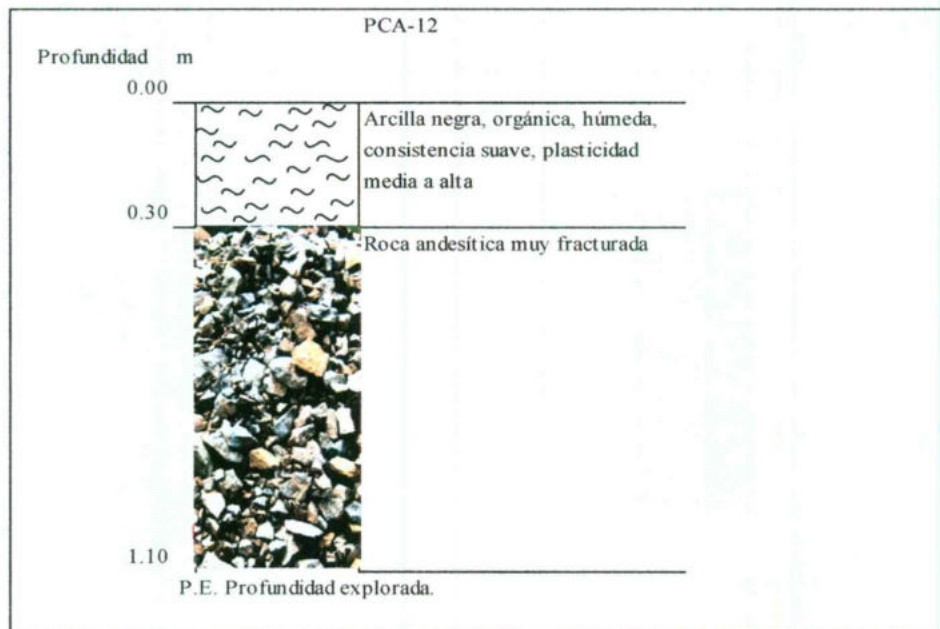
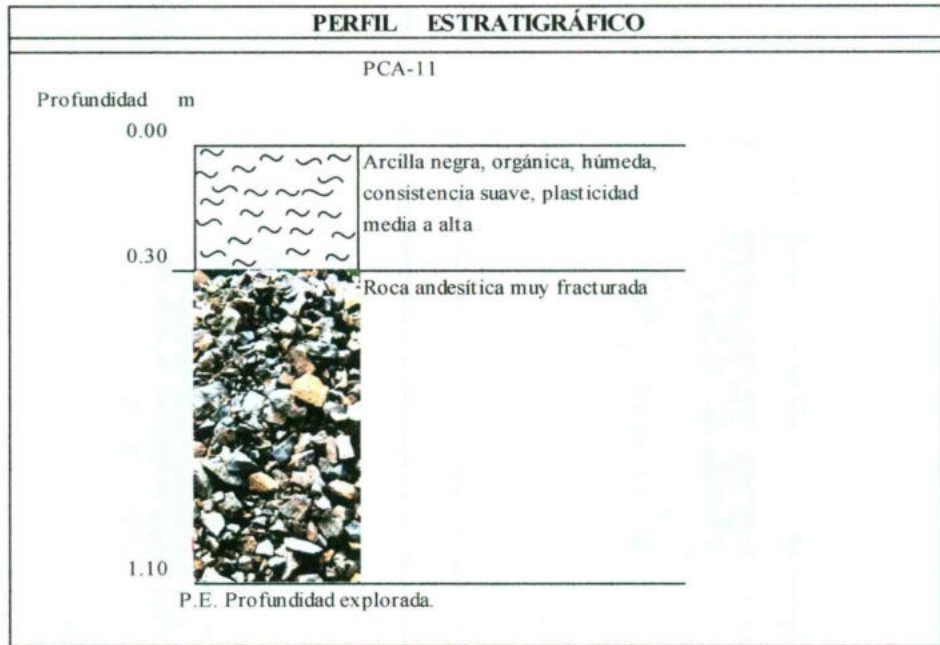


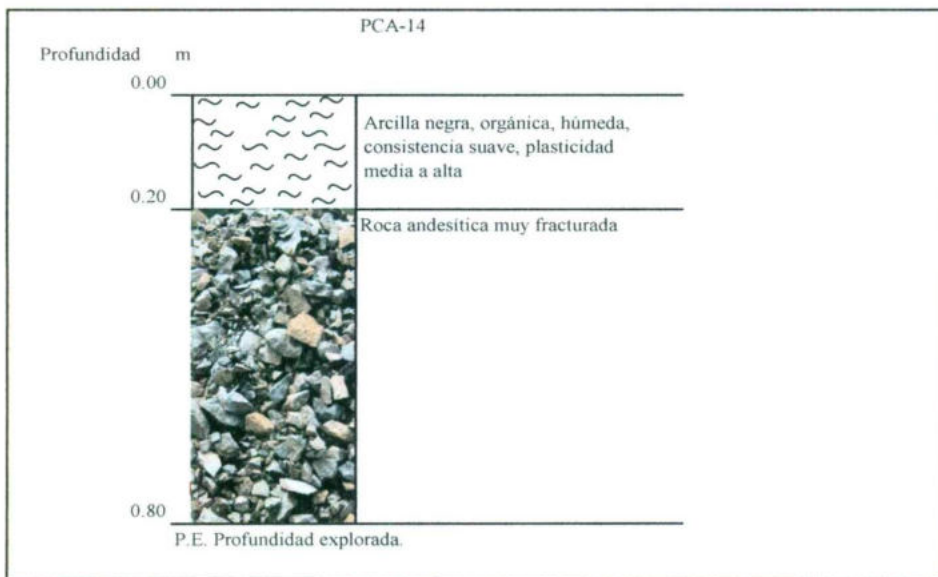


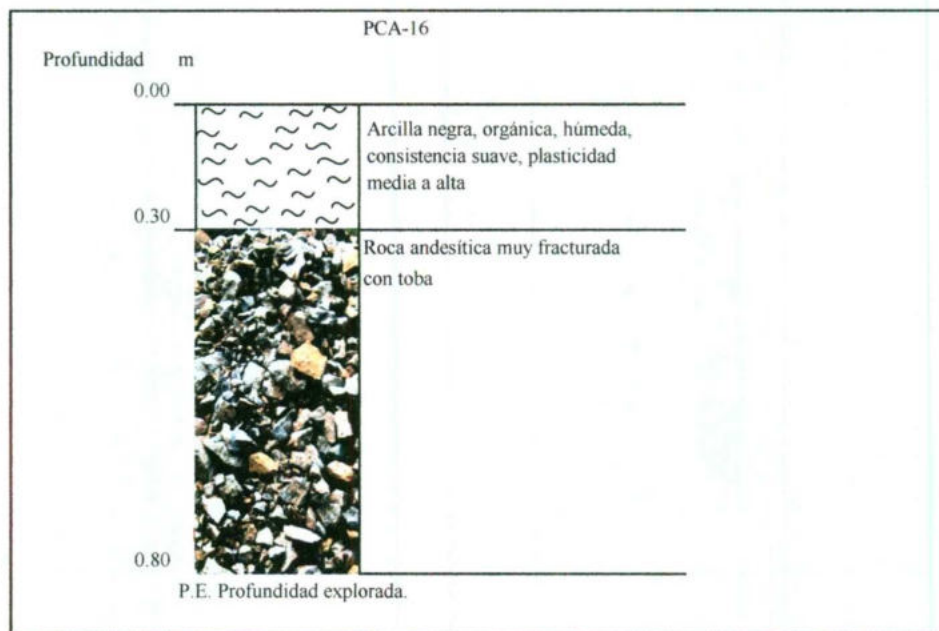


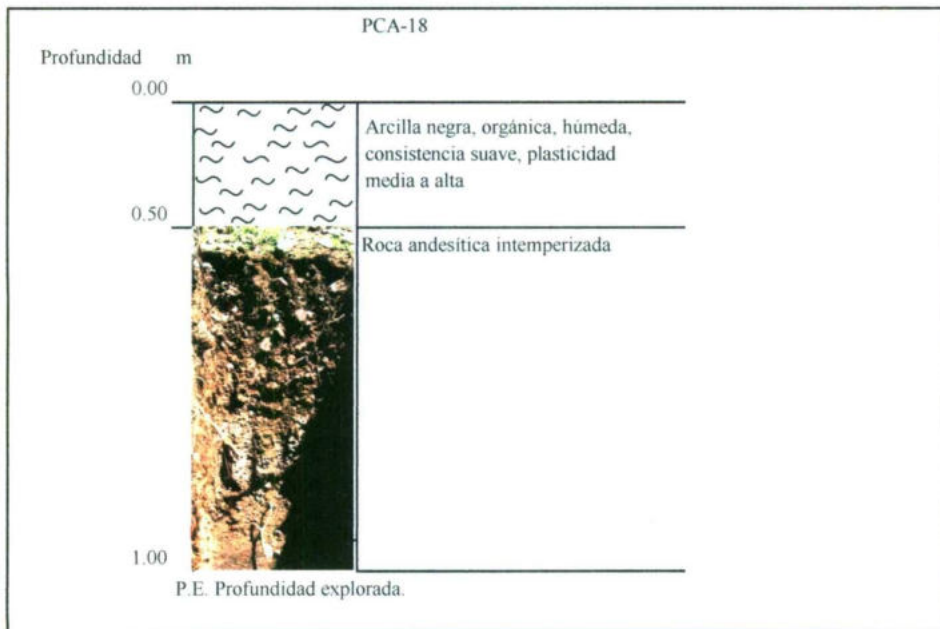
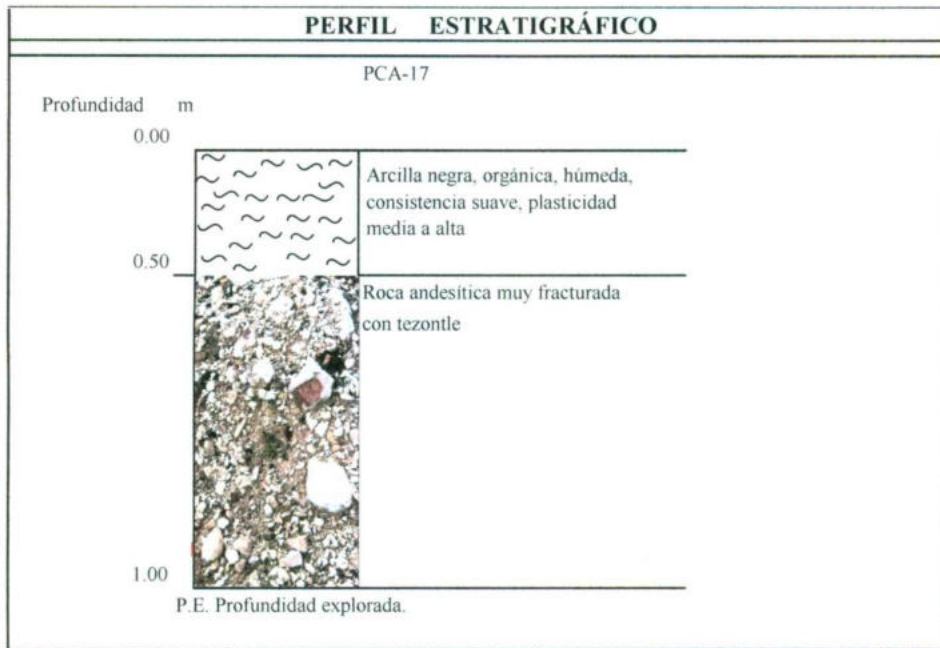


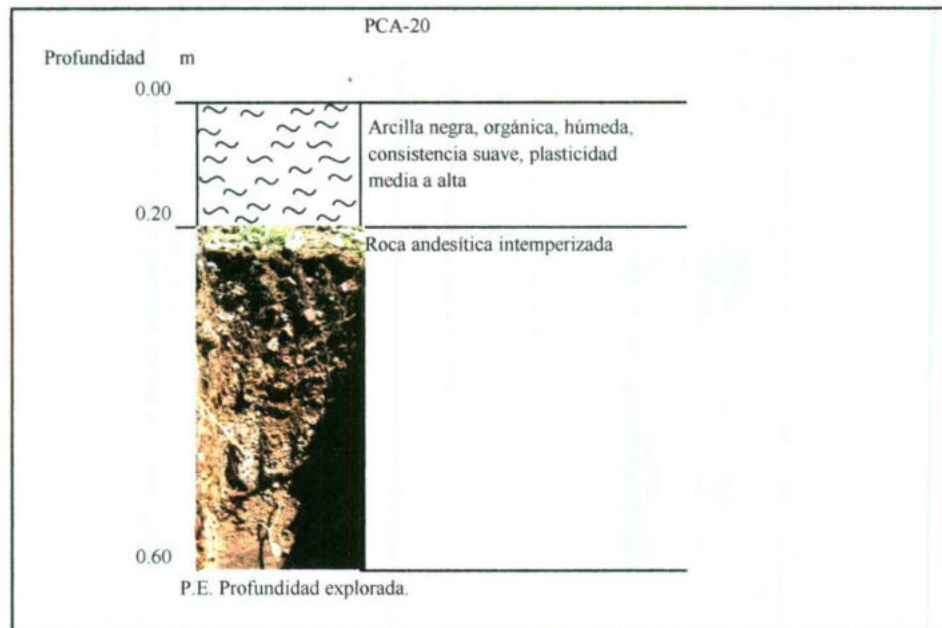
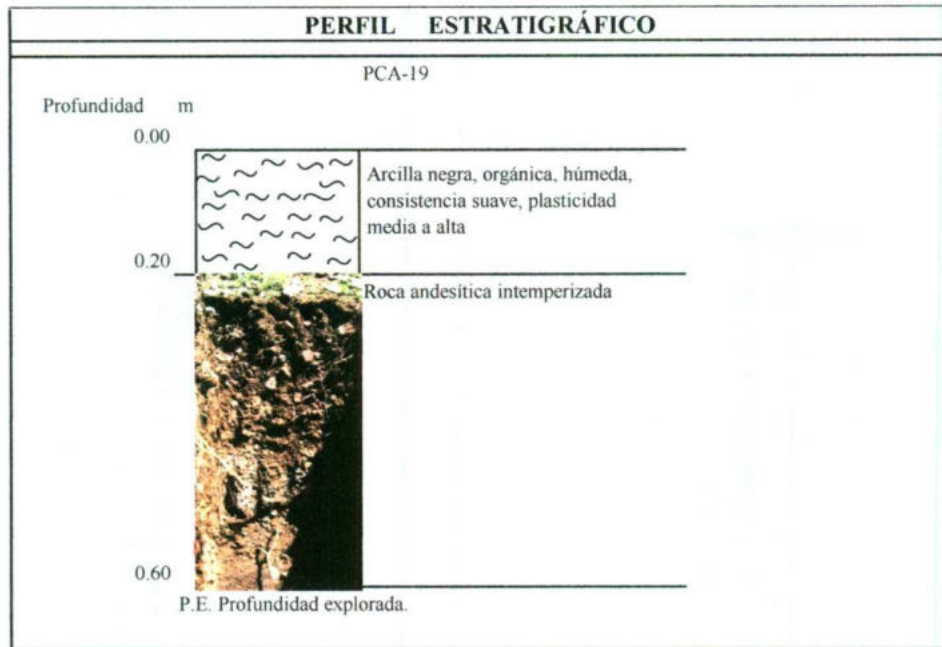


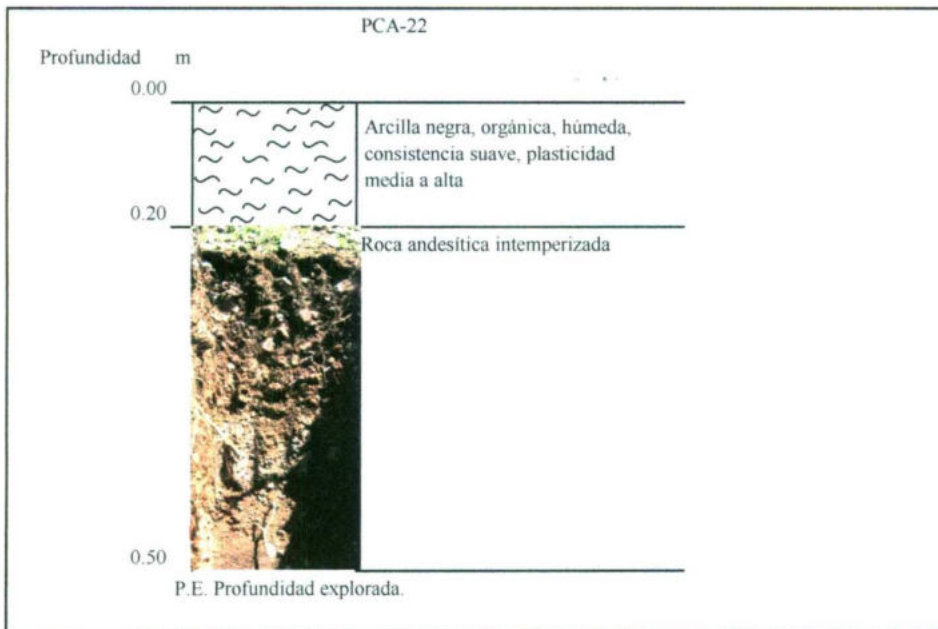


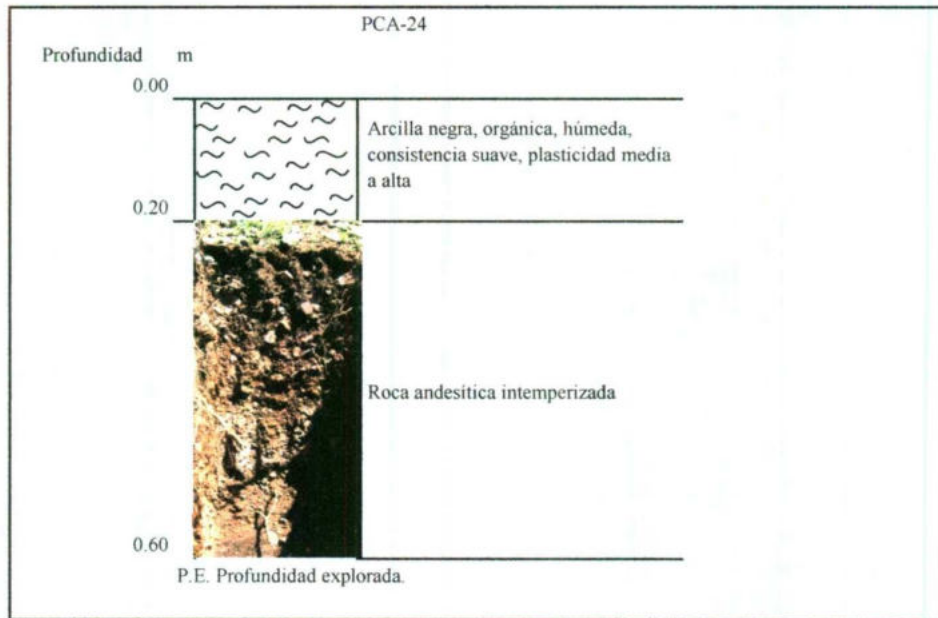


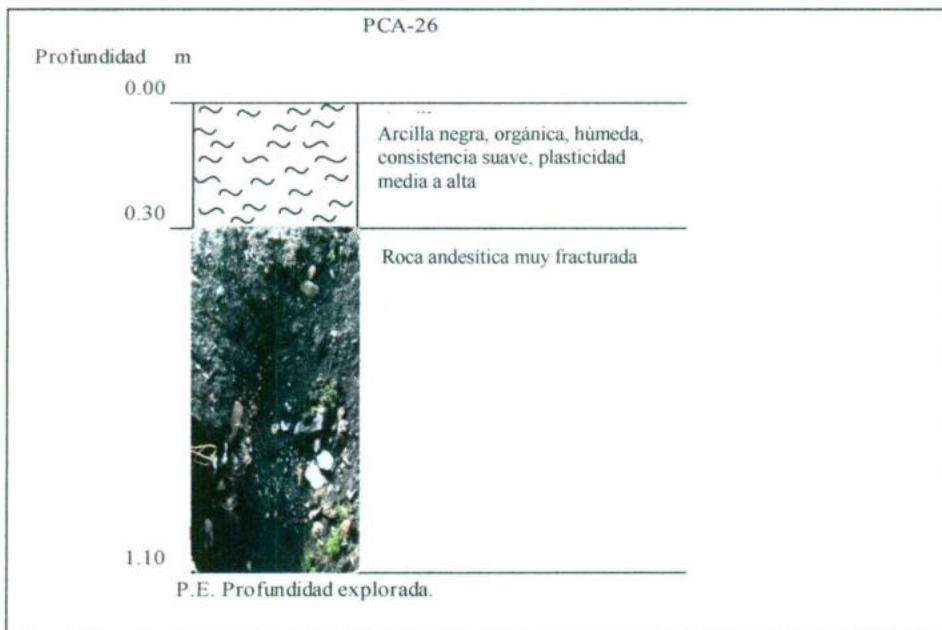
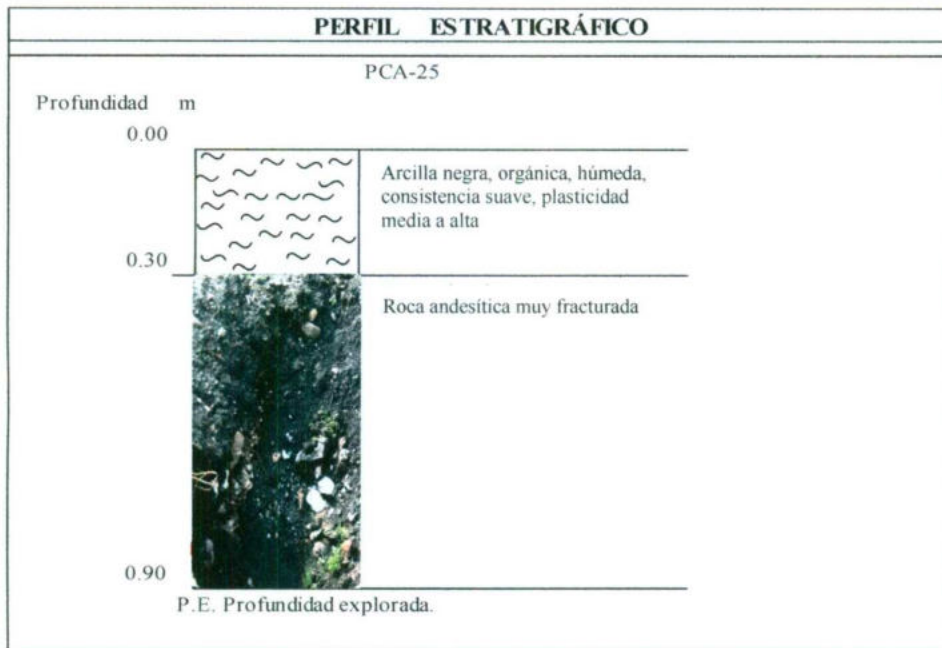


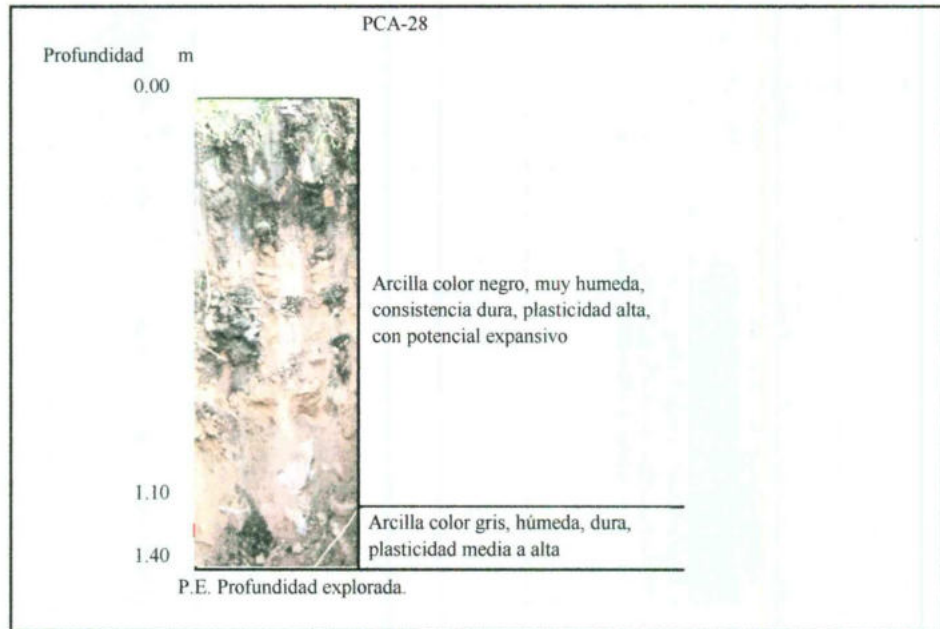


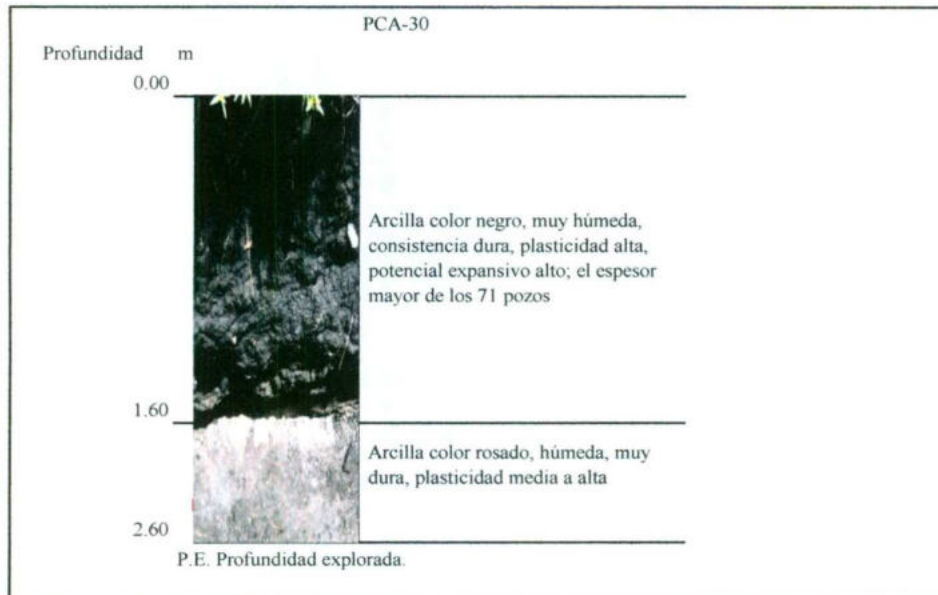


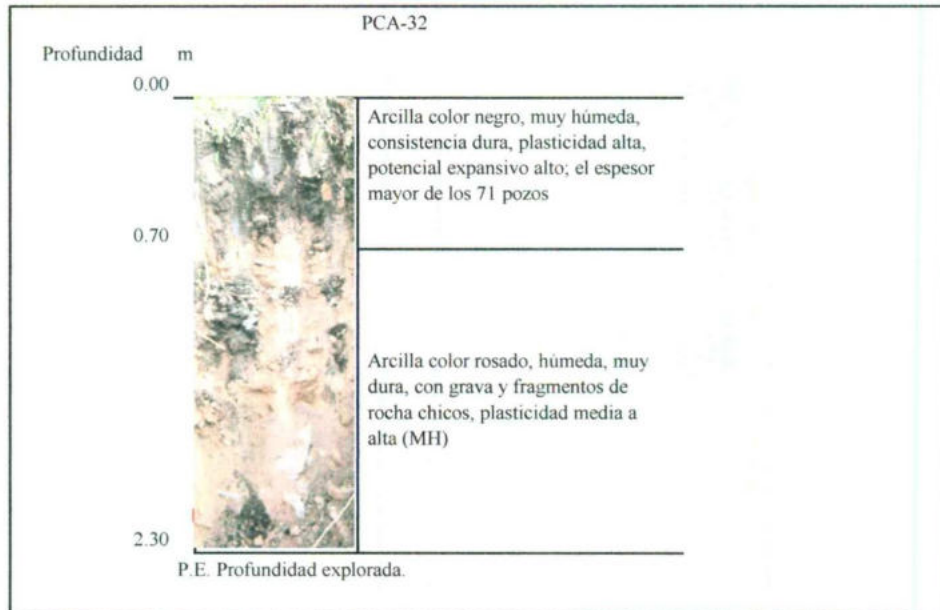


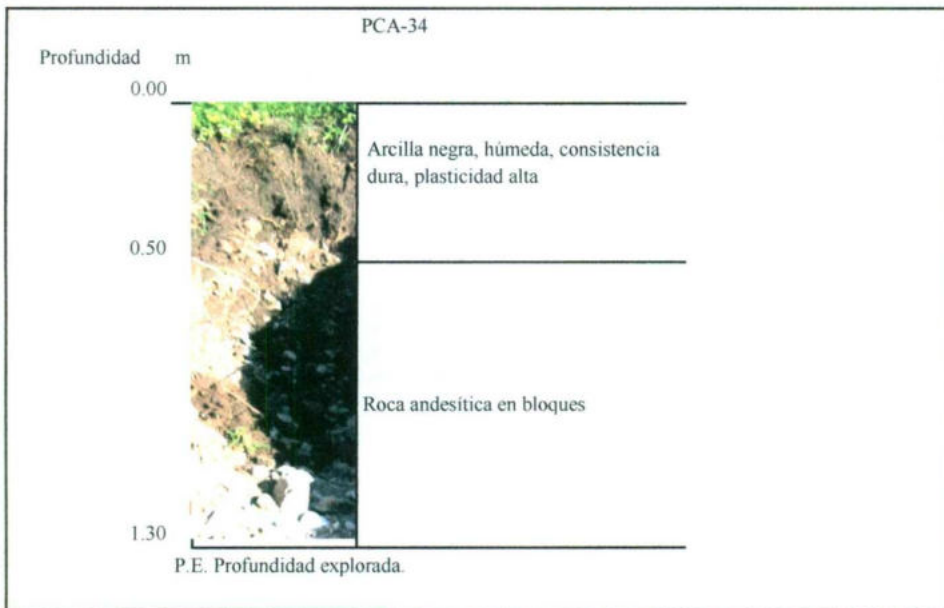
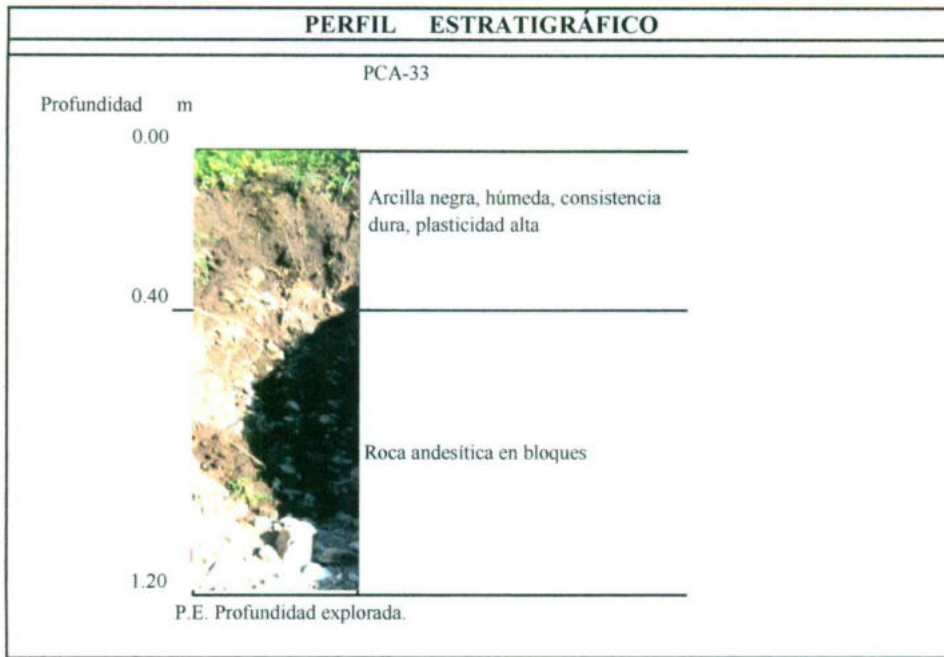


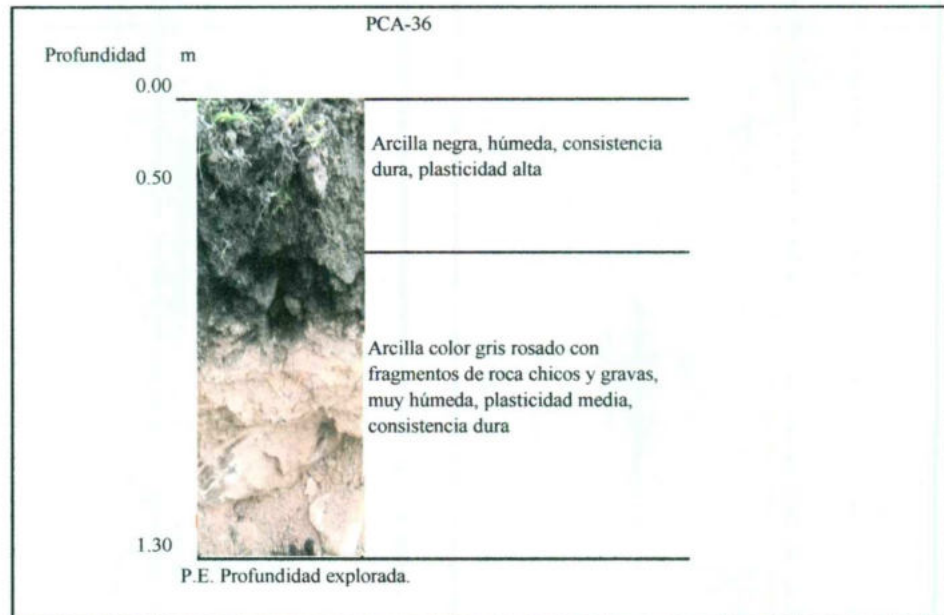
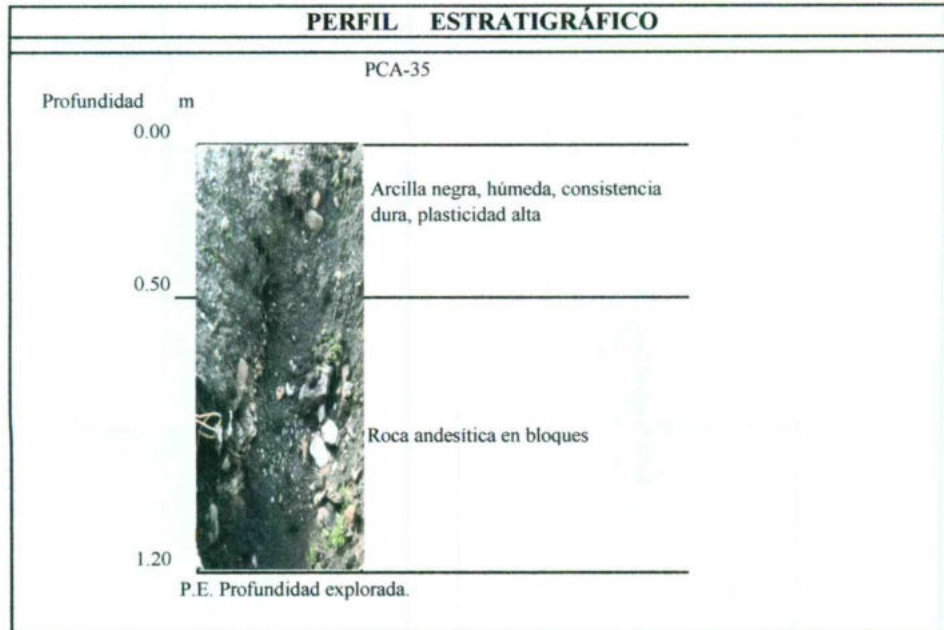


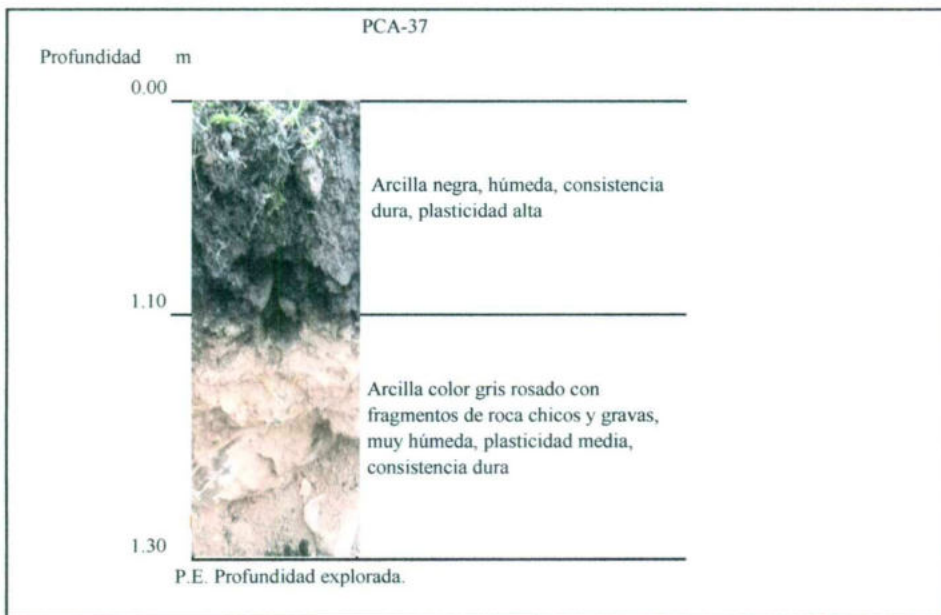


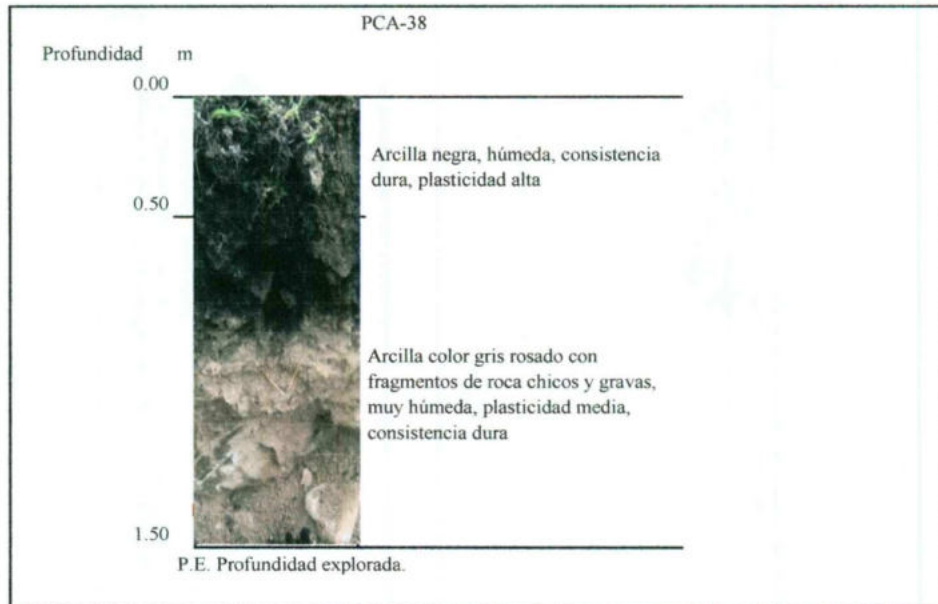
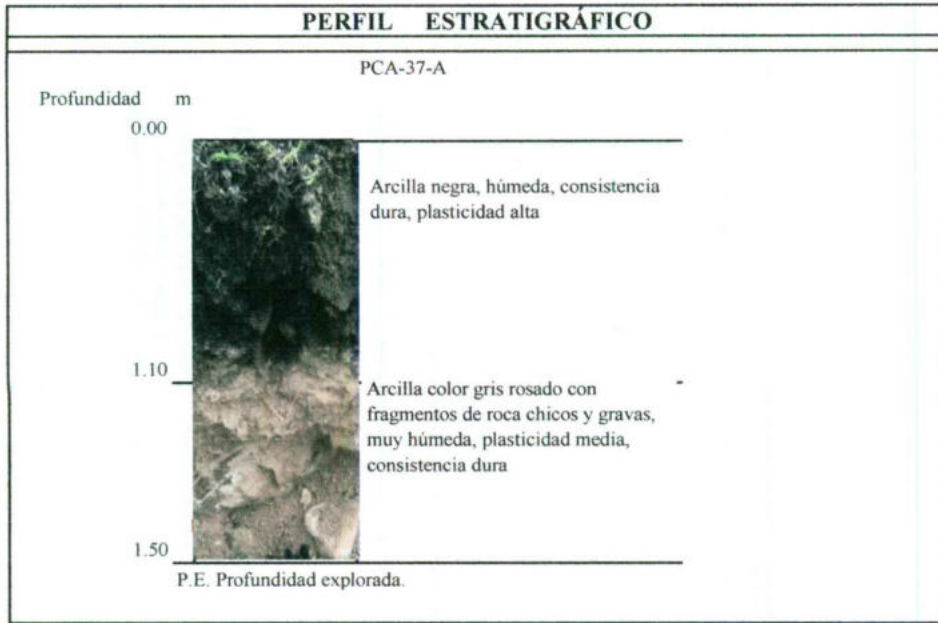


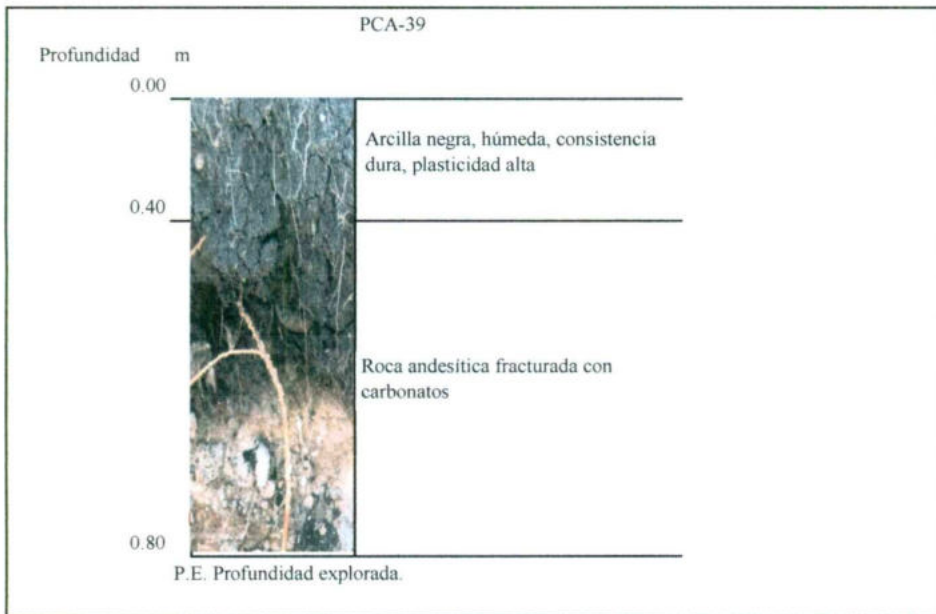


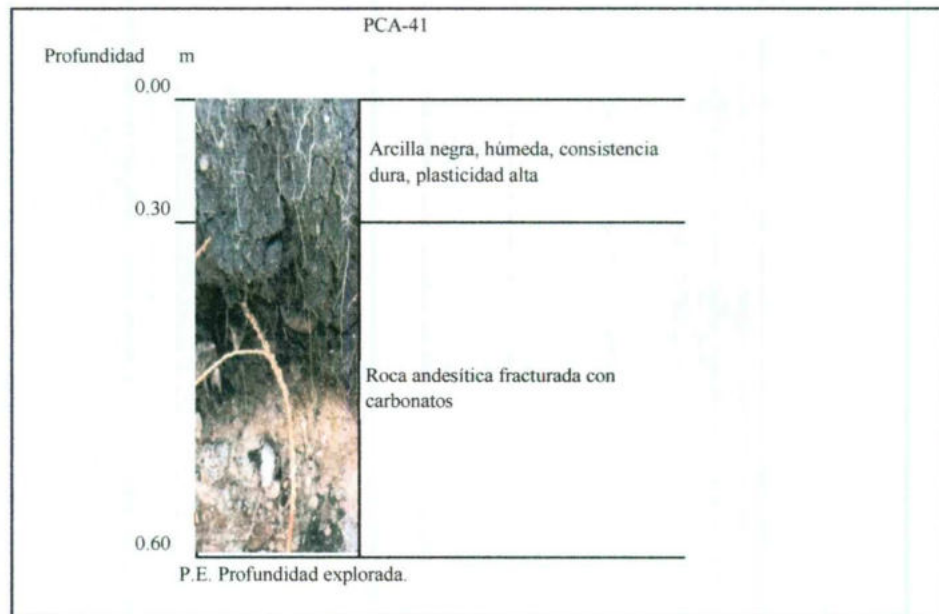
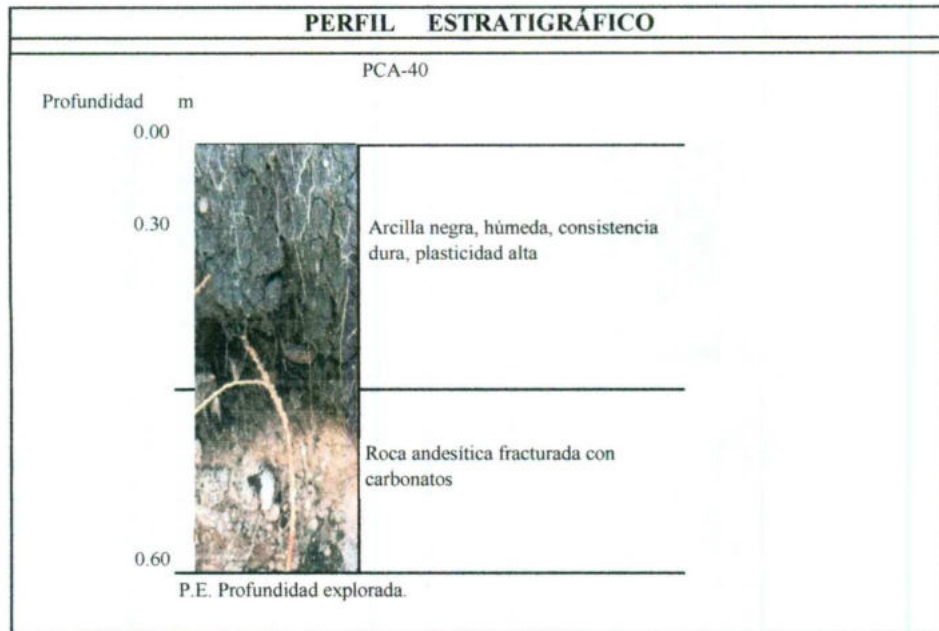


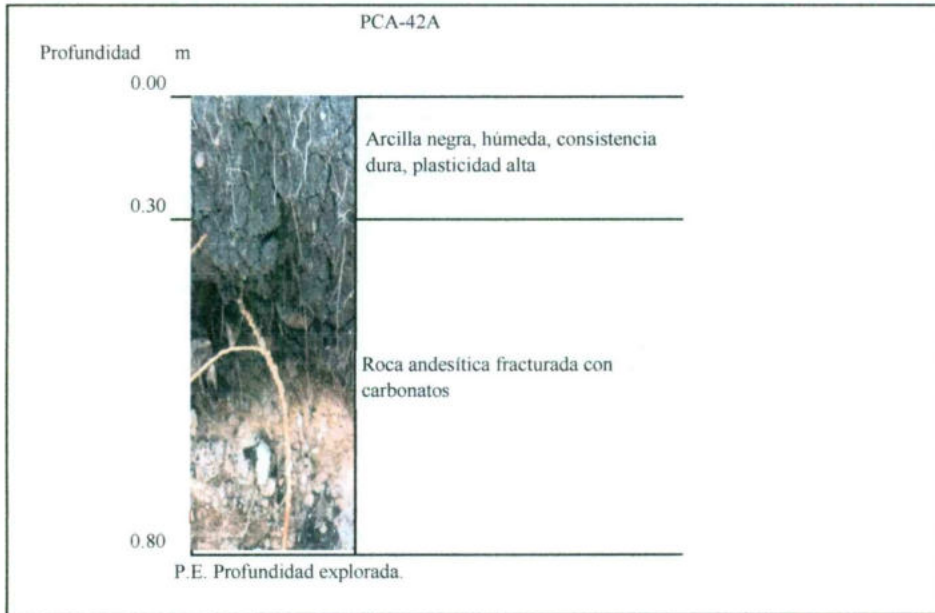
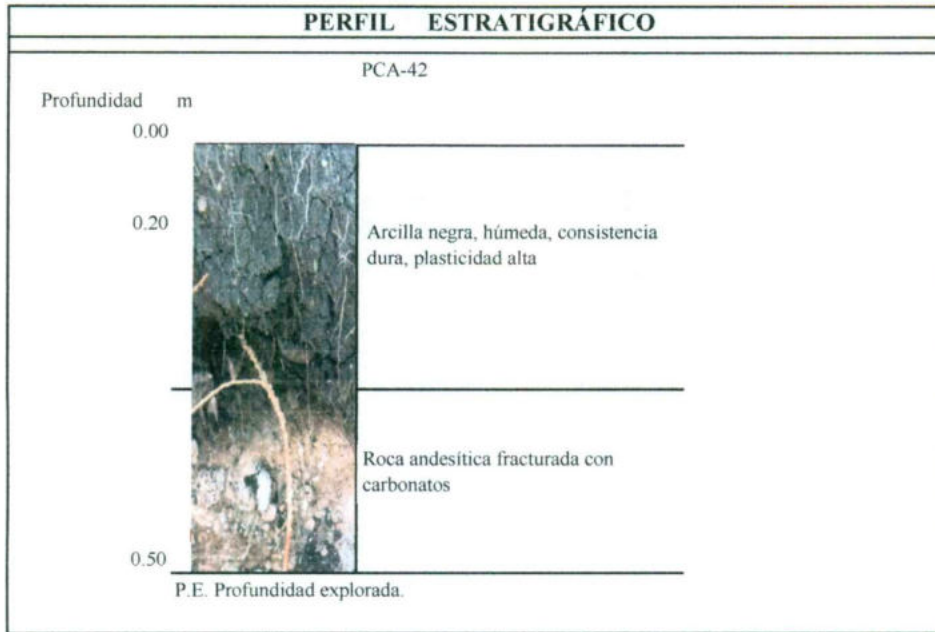


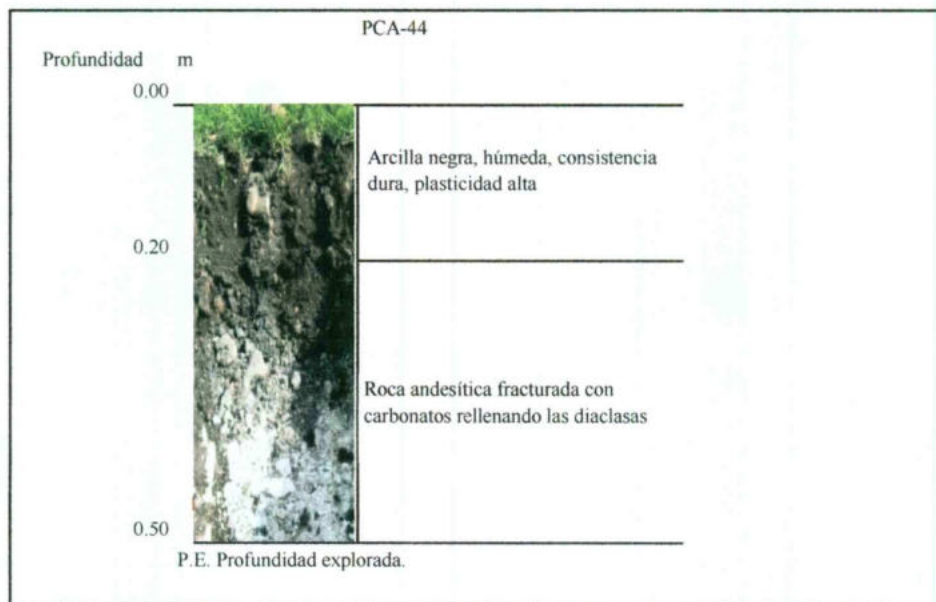
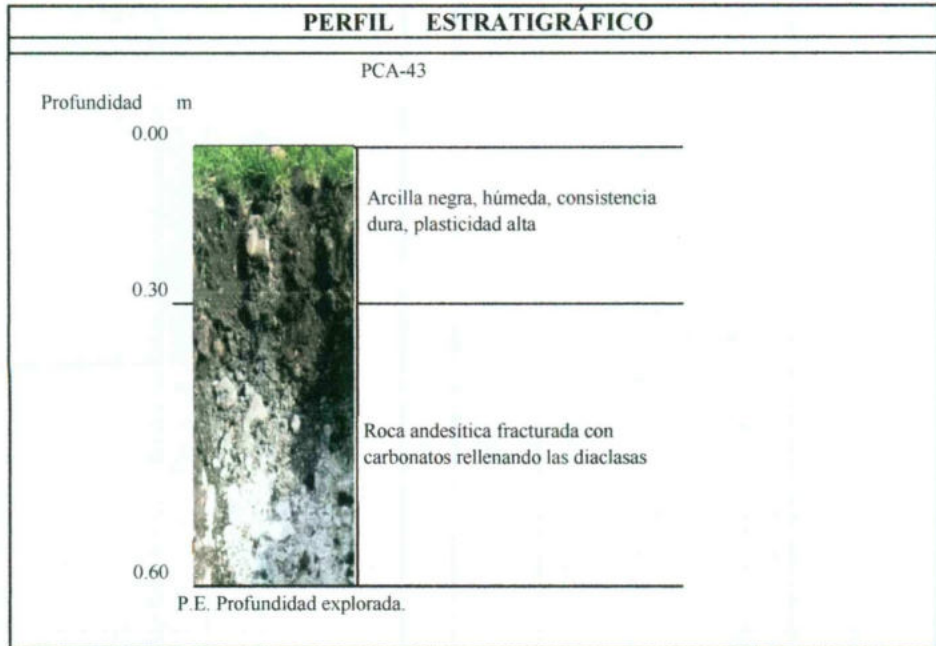


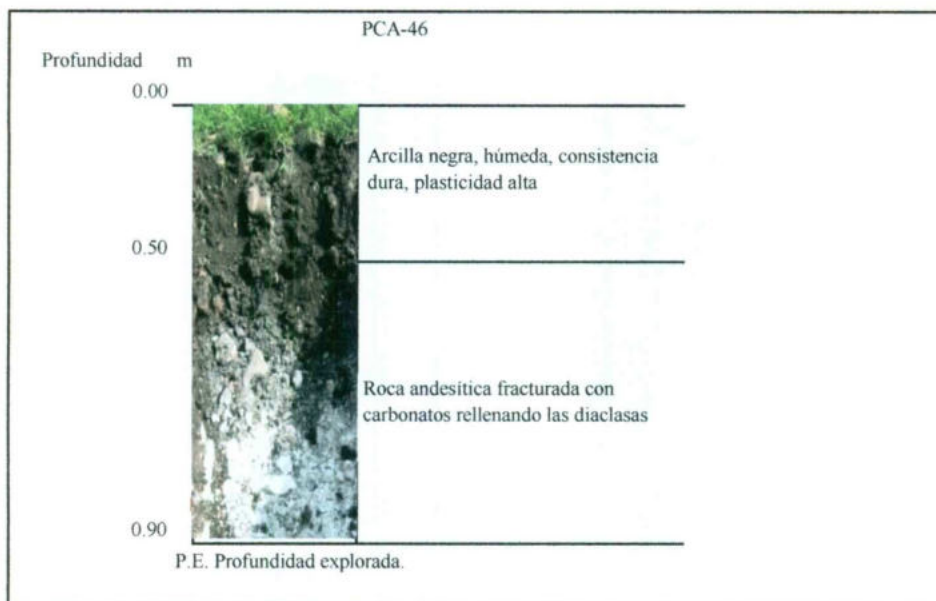
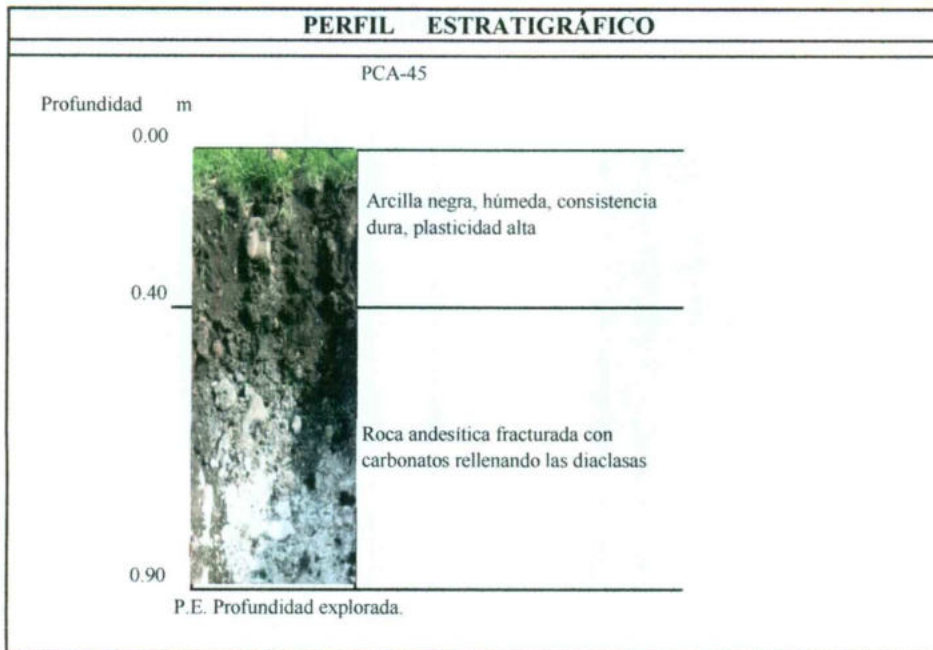


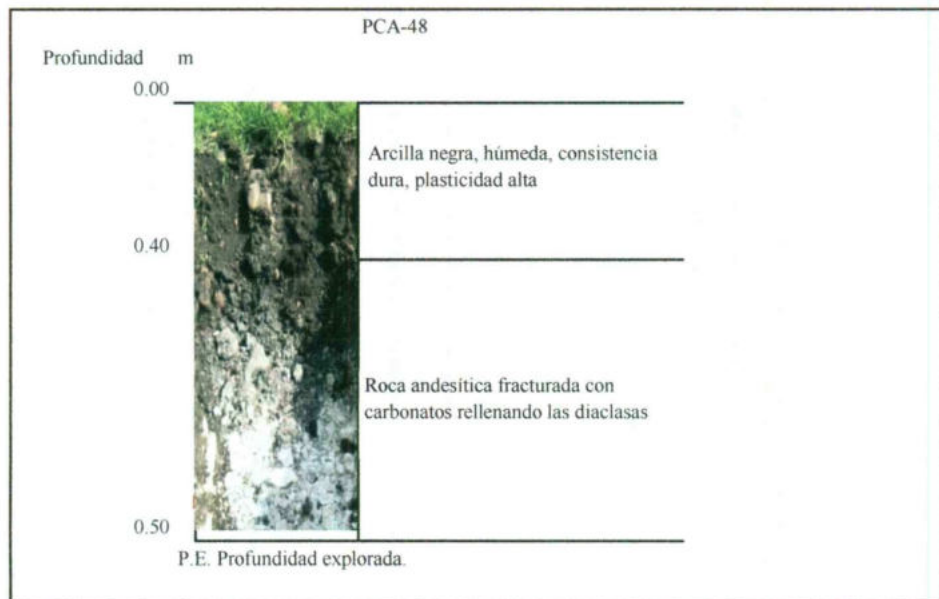
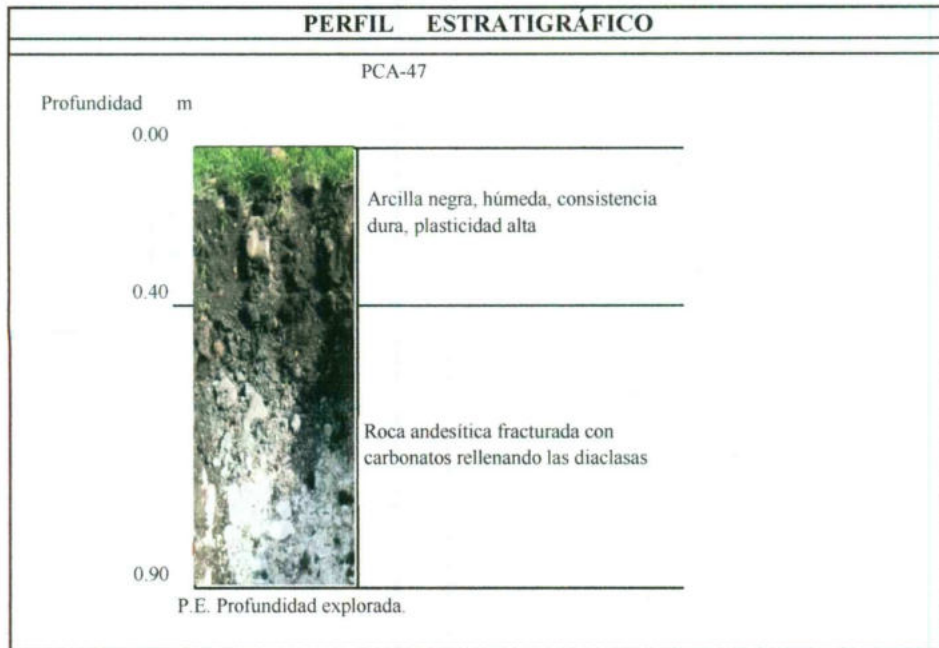


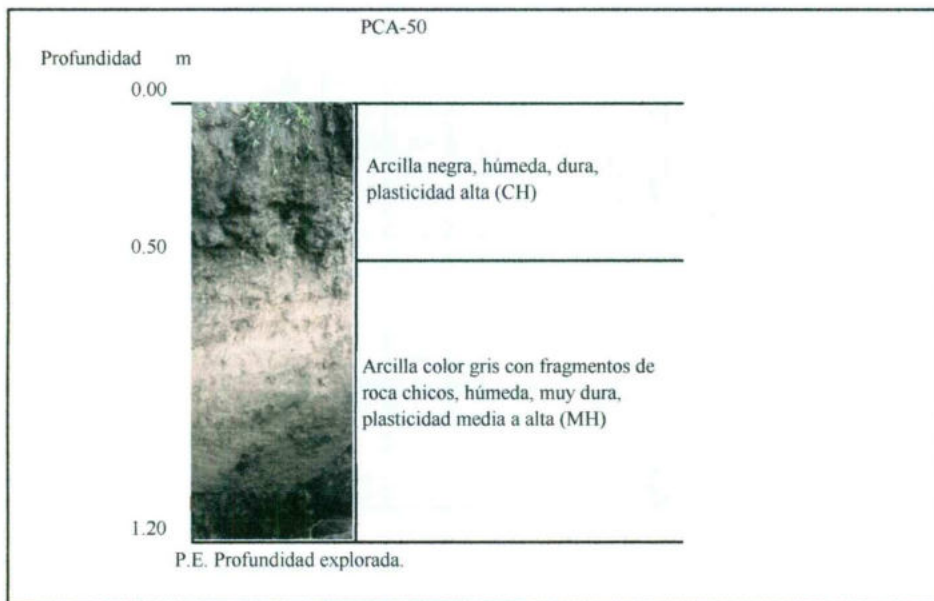
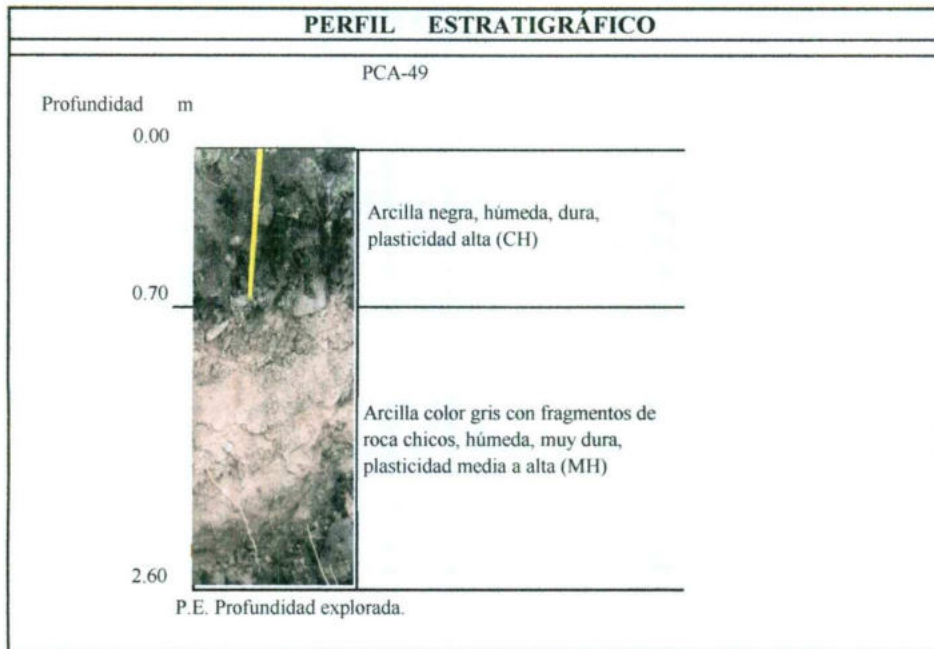


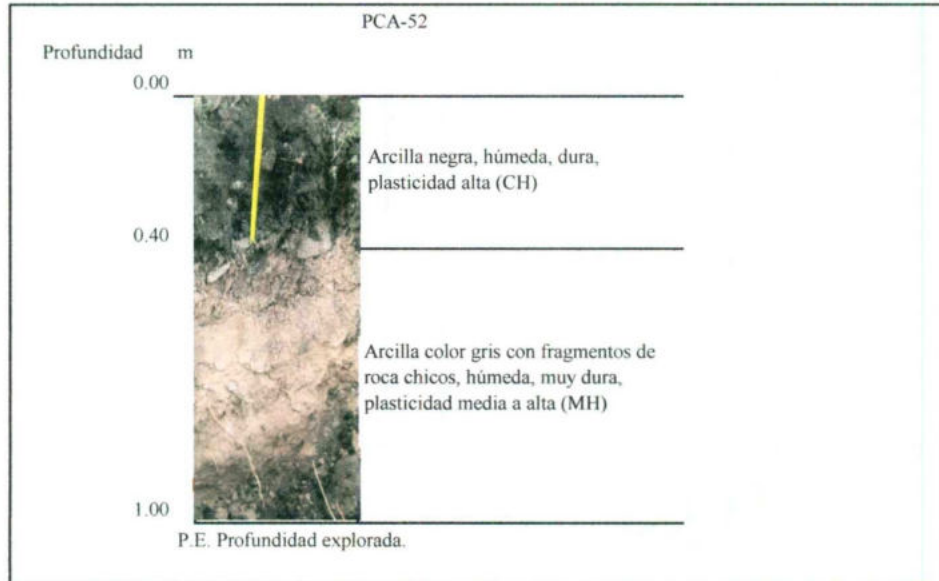
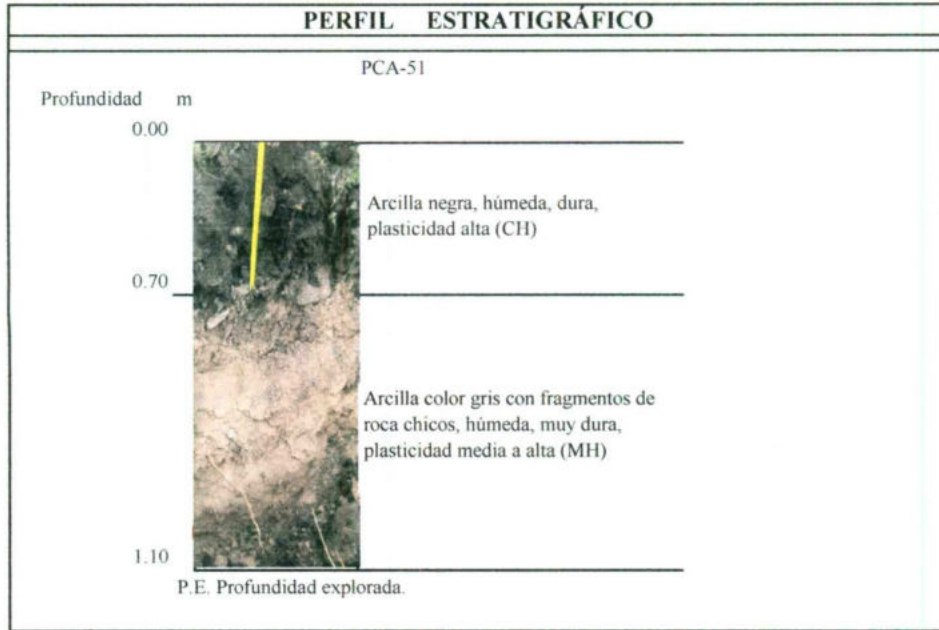


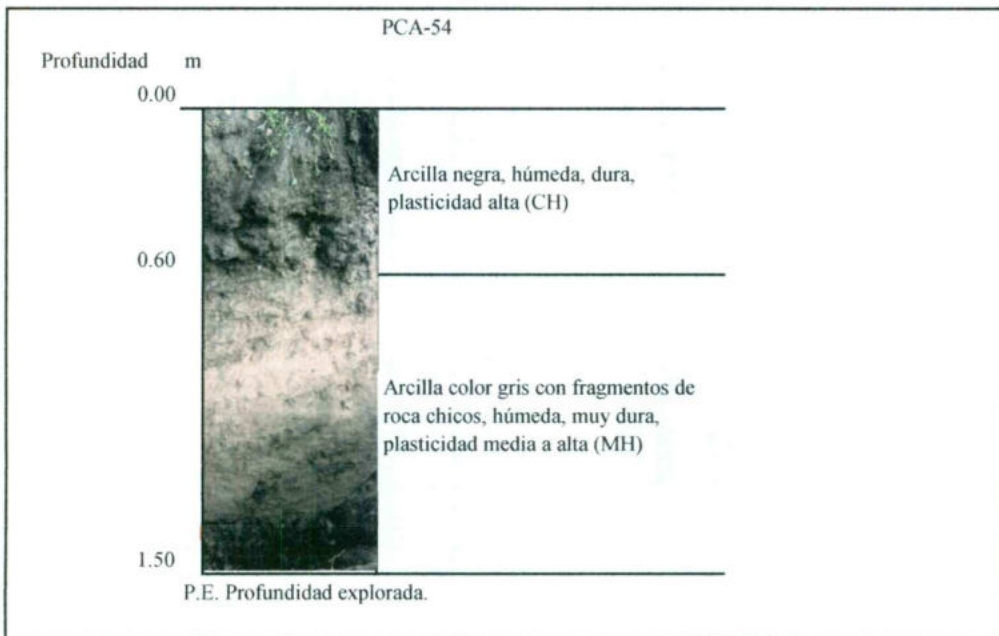
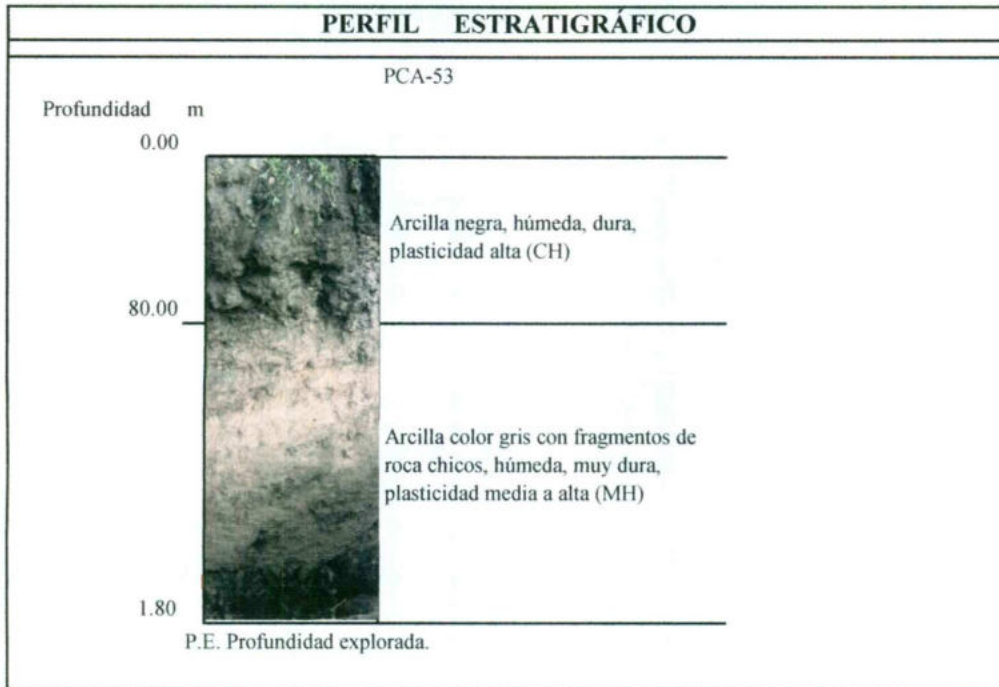


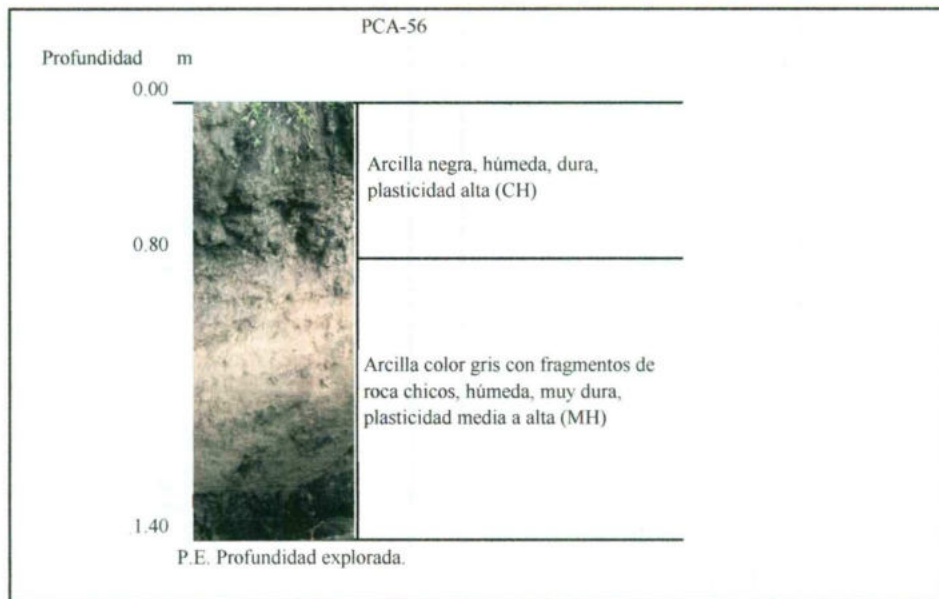
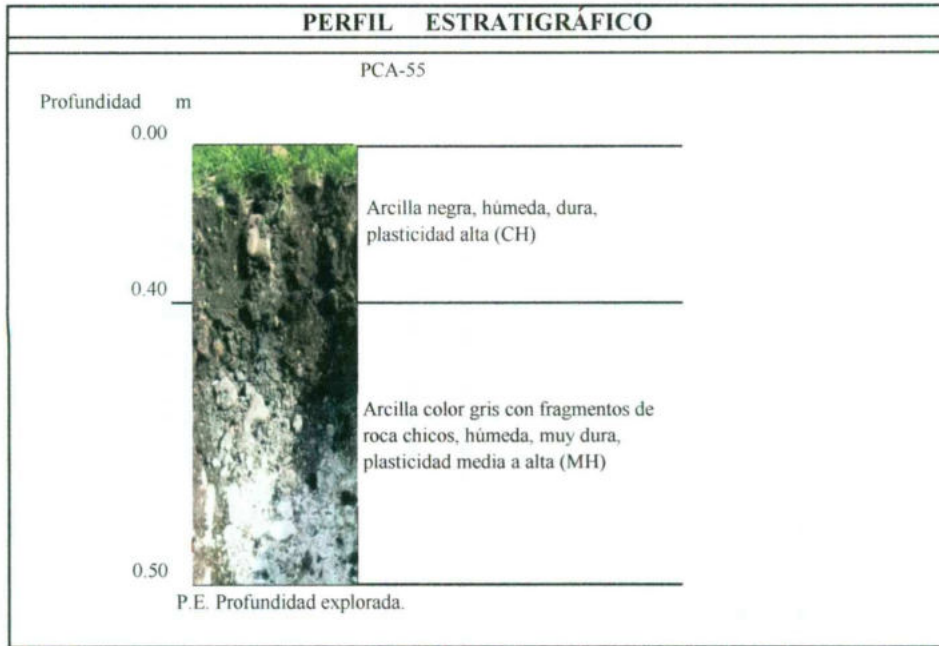


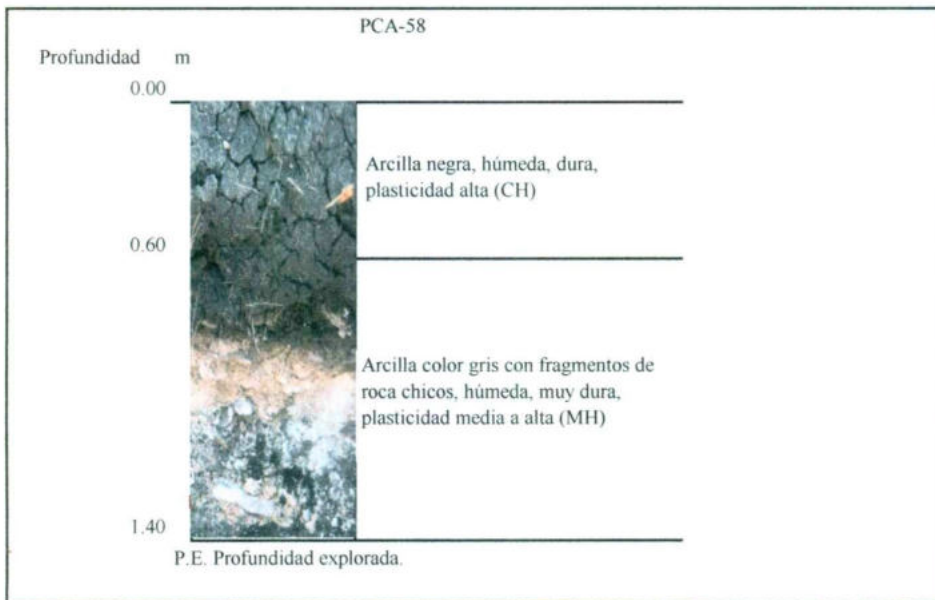
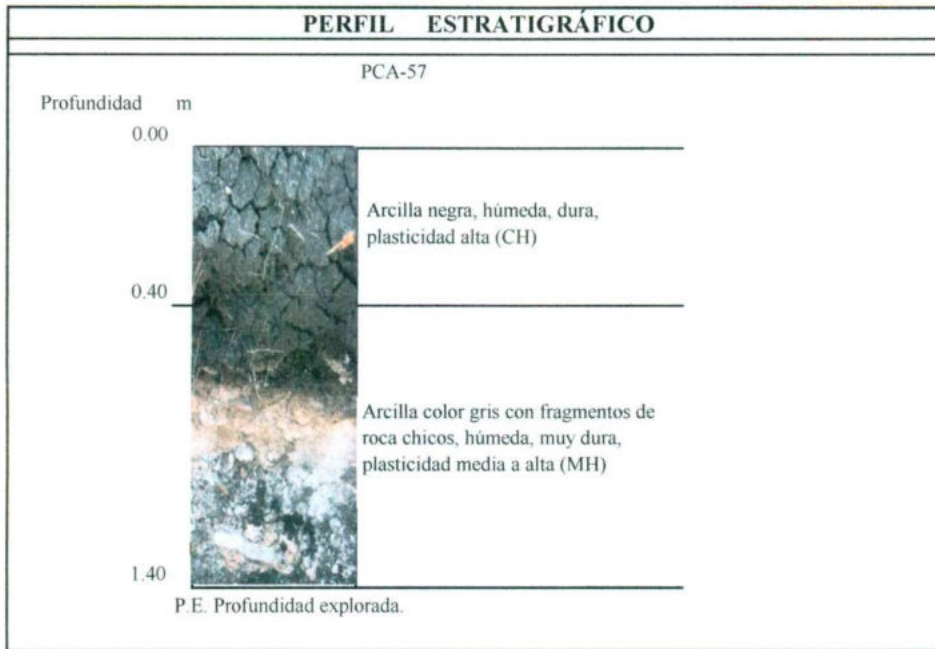


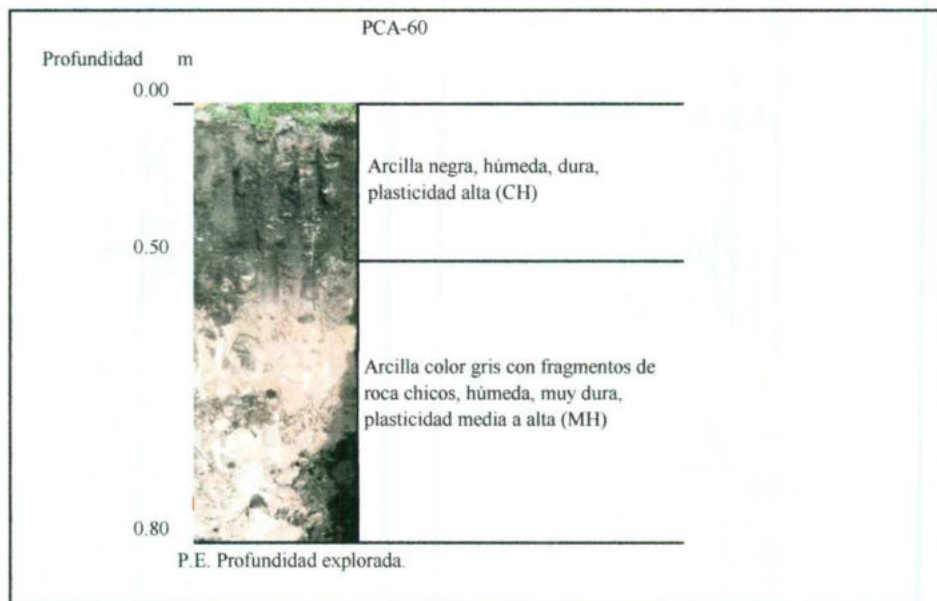
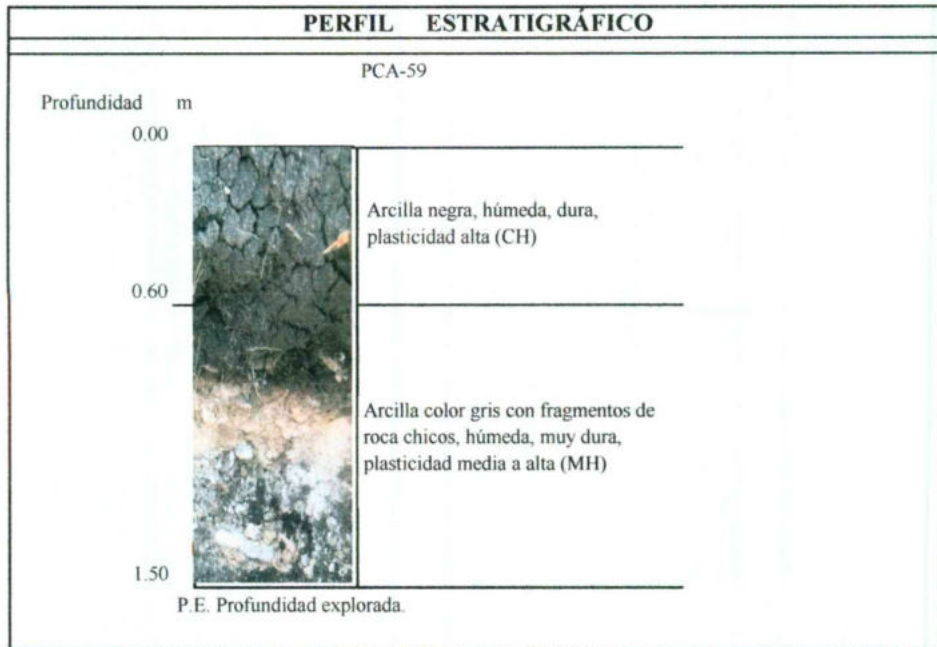


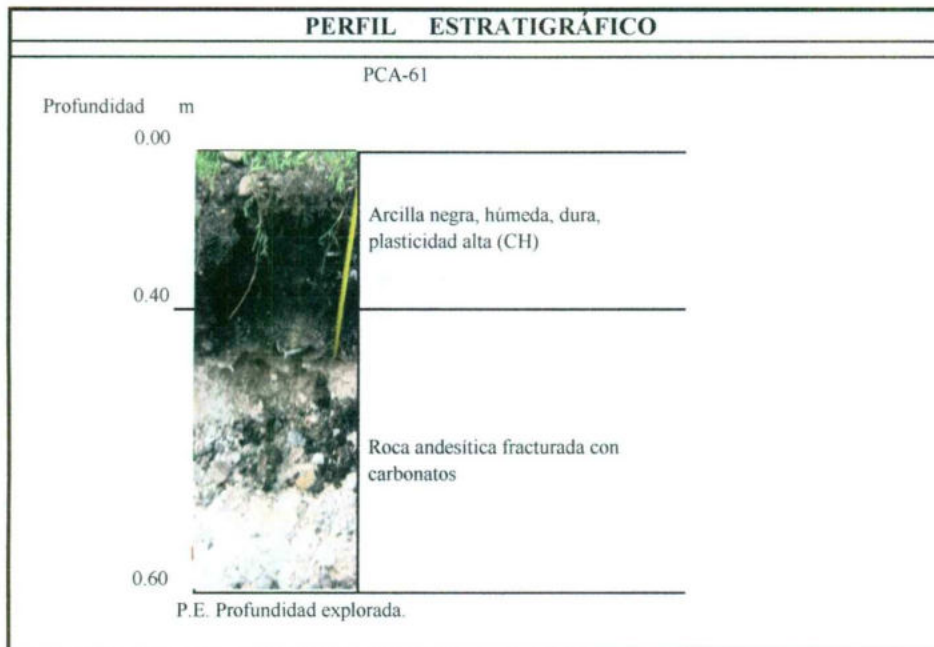


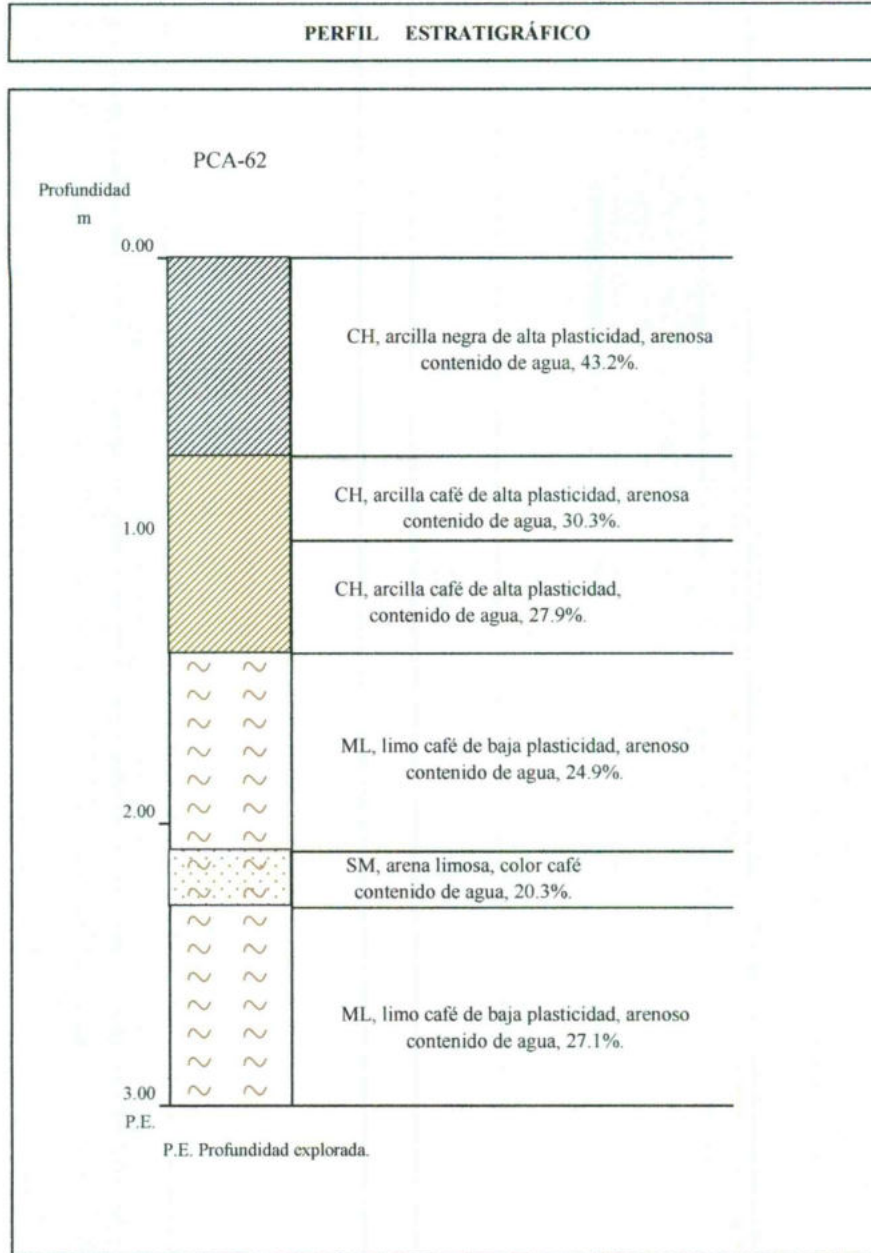


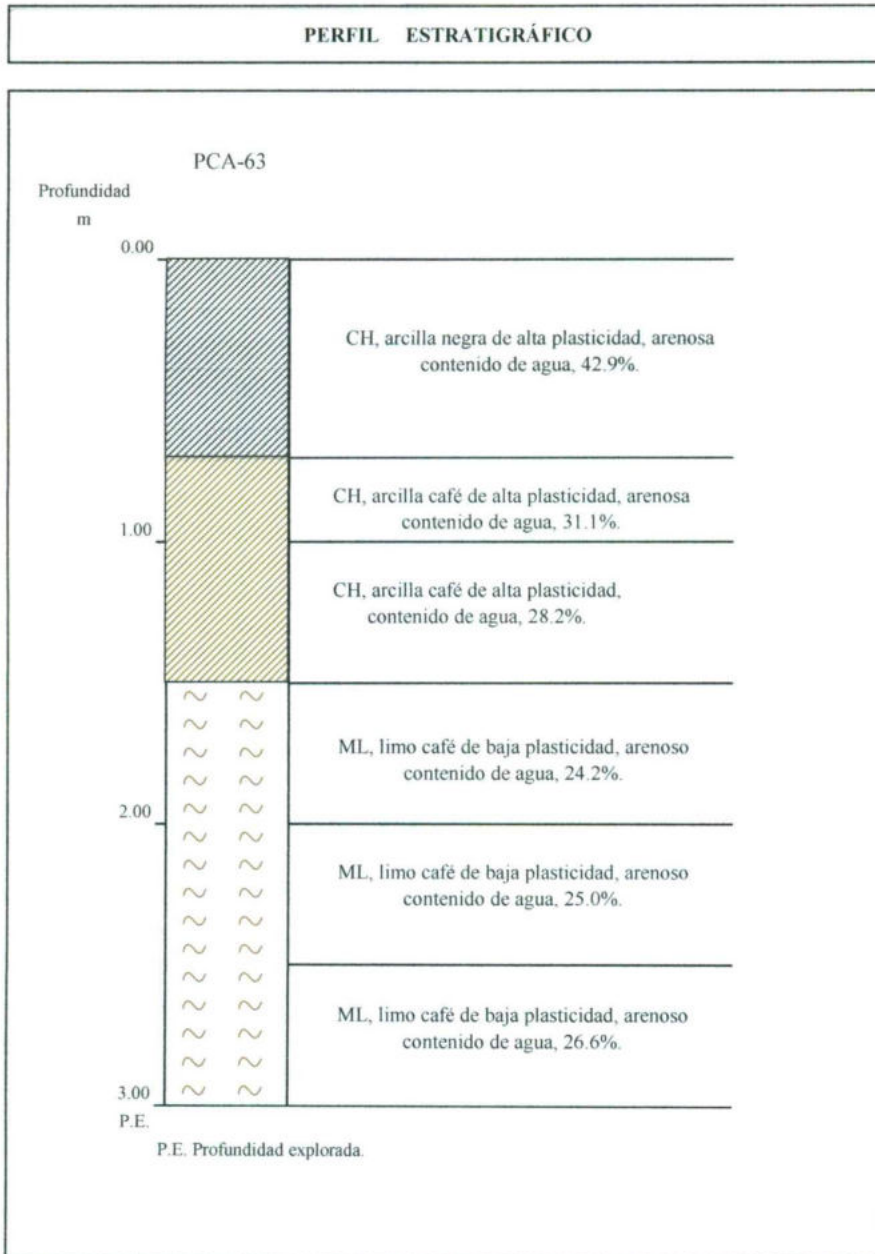


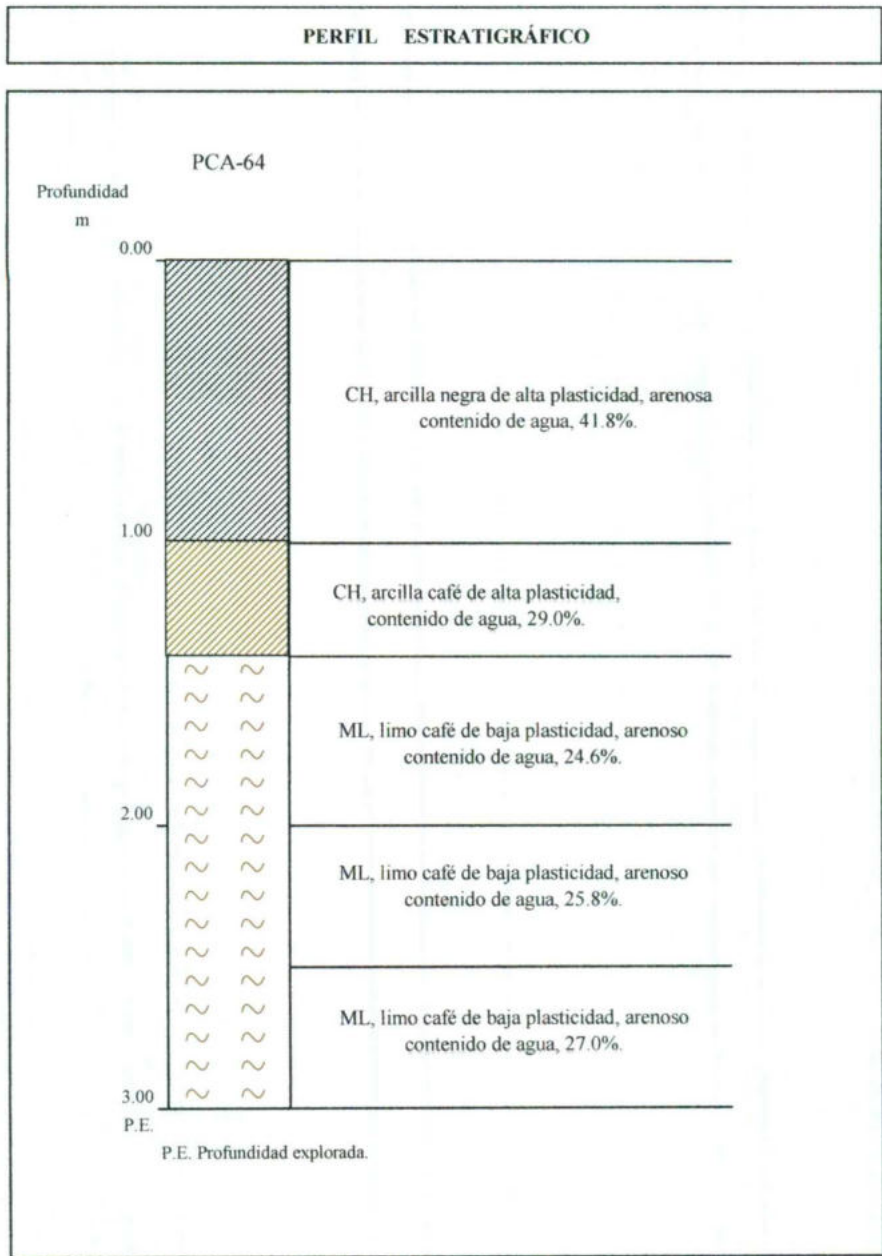


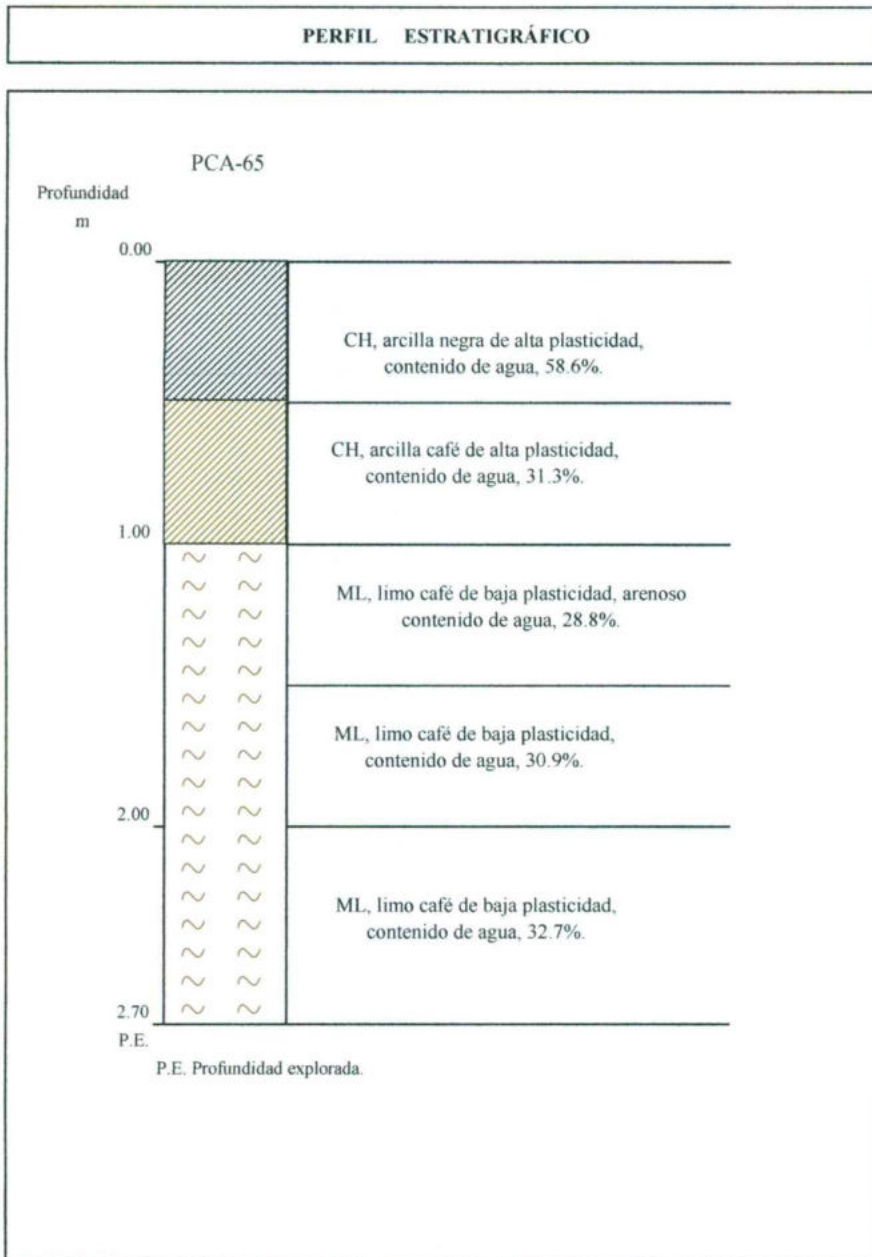


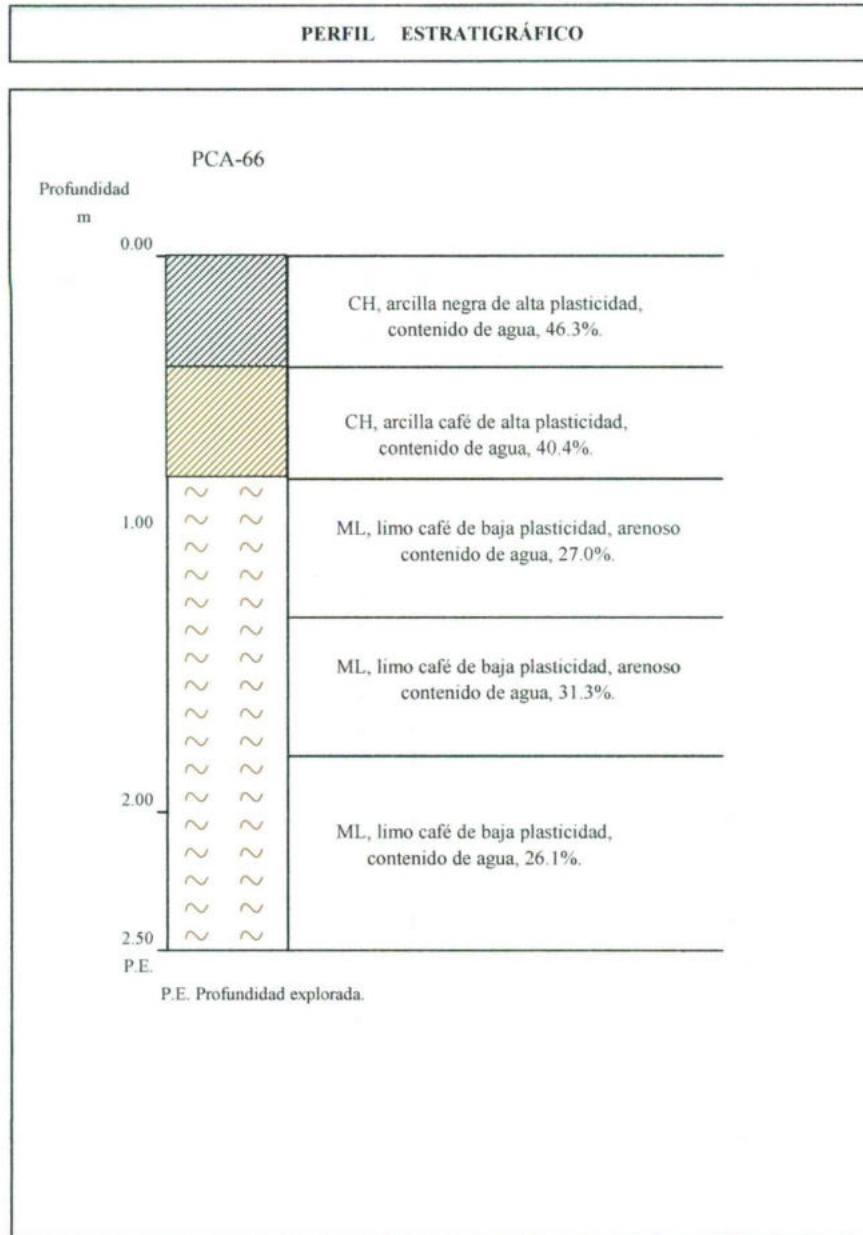


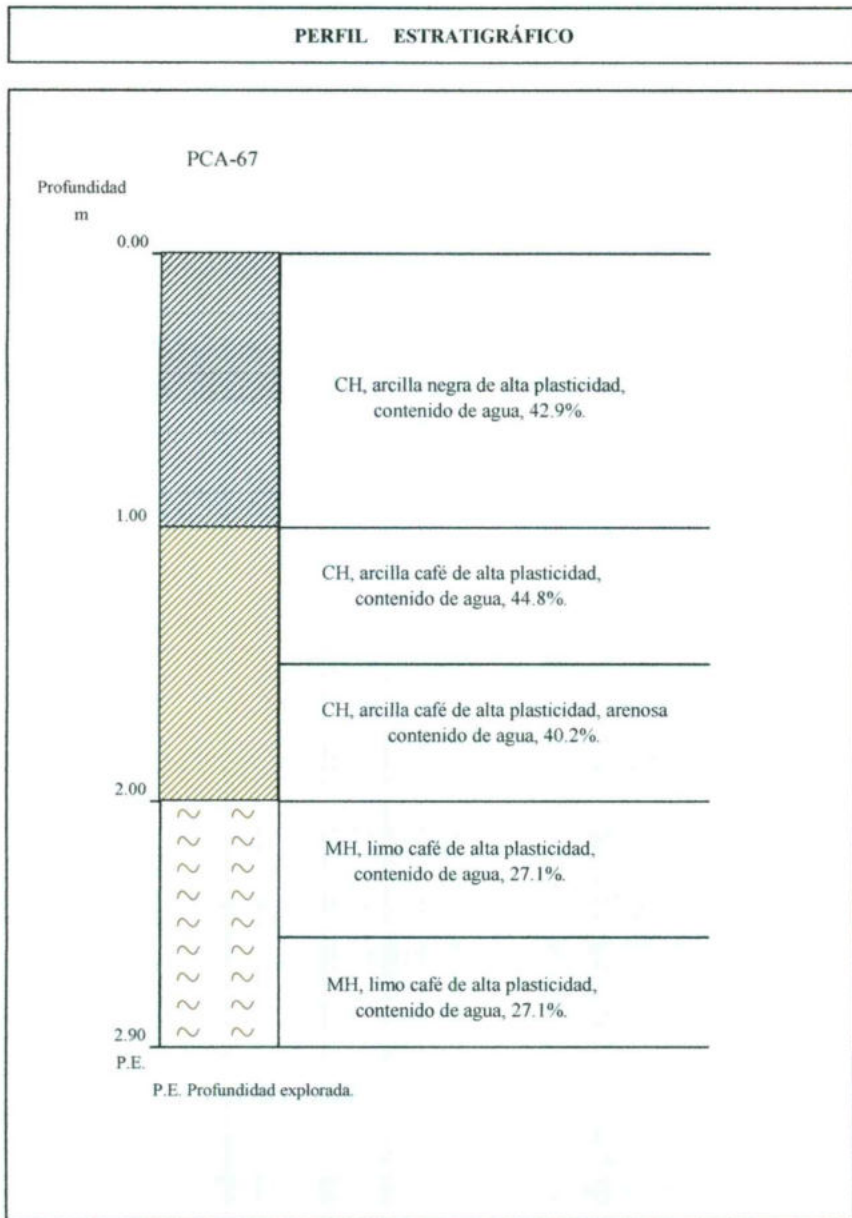












ANEXO FOTOGRÁFICO DEL PROYECTO DEL FRACCIONAMIENTO



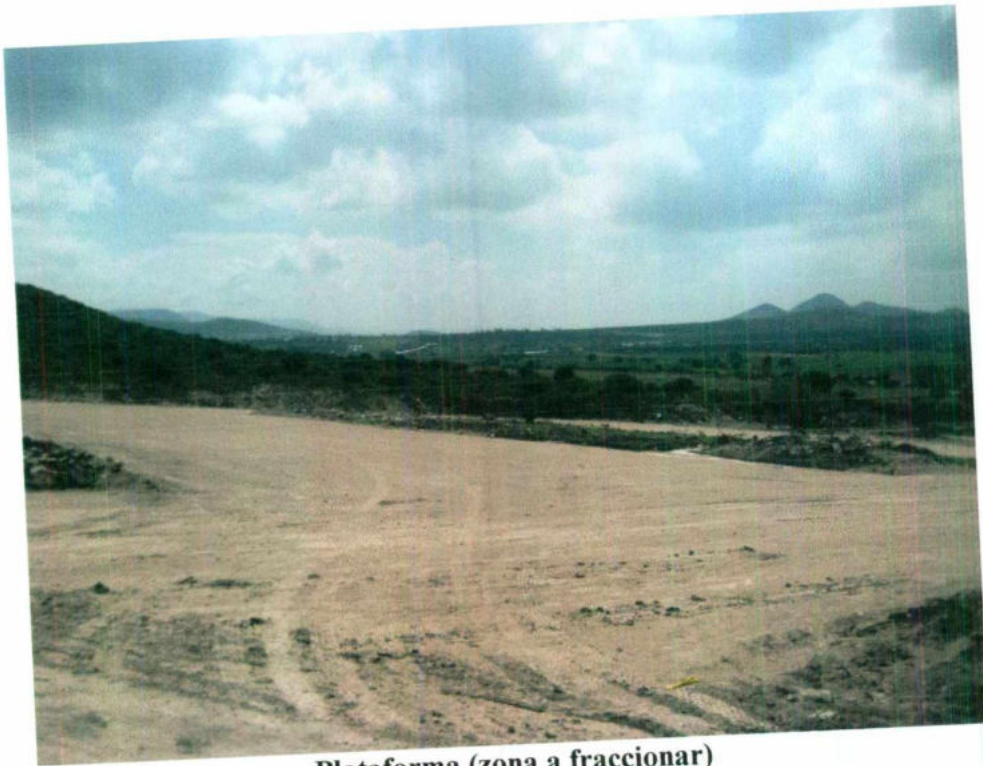
Vista general de la Obra

Banco “El bordo”



Detalle del material de banco en proyecto





Plataforma (zona a fraccionar)



Detalle del material de Banco "Satisfacción"



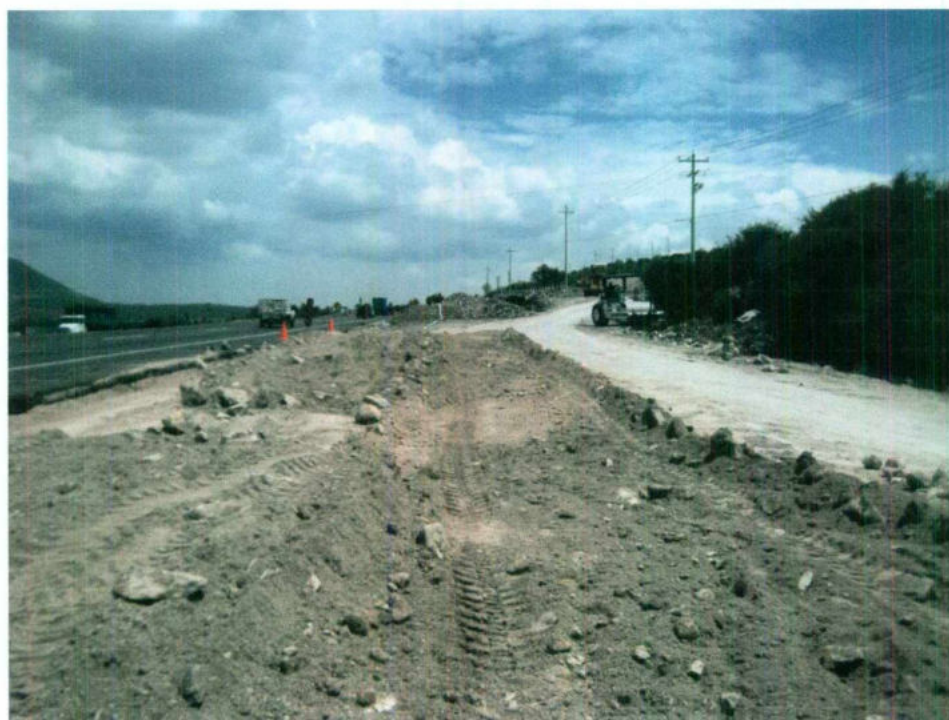
Banco "La Providencia"



Entrada principal



Zona nivelada (entrada)



Acceso

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Con el presente trabajo se ha probado que las diferentes metodologías para diseño de pavimentos presentan sus propias características y aún entre ellas existen variantes en sus distintas ediciones (como el caso de la Metodología de la UNAM). A este respecto, entonces, es preciso reconocer que no existe una metodología específica o general bajo la cual diseñar.

Se diseña, pues, como bien se mencionó al inicio, bajo consideraciones íntimamente relacionadas con la obra que ha de realizarse, así como el criterio de quién habrá de diseñar; esto mediante la experiencia e incluso preferencia del mismo. Así mismo depende de las propias pruebas que se realicen en laboratorio, y el nivel de relación que guarda la prueba con el tramo real en campo del que se trate, como lo es la prueba de Valor Relativo de Soporte (VRS).

A esto han de aunarse en Pavimentos Flexibles, las condiciones que no se incluyen necesariamente en el diseño estructural, entre las que destacan el drenaje, la temperatura y la Hidrología.

Por otro lado, en cuanto a Métodos empíricos; éstos han de ser revisados con más detenimiento y detalle en cuanto a recursos, es decir, habrán de requerir más pruebas de laboratorio para mejor caracterización de materiales puesto que en su origen las Metodologías se ven superadas por condiciones actuales y también futuras de tránsito.

Las Metodologías en general no pueden ser comparadas entre sí ya que cada una es correcta de acuerdo a las condiciones y criterios de la institución de que provenga.

Es importante destacar que la aplicación de Metodologías empíricas no son aplicables en tránsitos mayores a cien millones de ejes equivalentes en el carril de diseño, porque estas cantidades rebasan las consideradas en esos métodos. Entonces habrán de usarse consideraciones alternativas, ya sea aumentando el número de carriles para que el método sea aplicable, o bien considerar otro tipo de material con mayor resistencia para soportar las solicitaciones (Según consideraciones de la AASHTO) como pavimentos rígidos o hidráulicos.

Cuando se realizan obras de la magnitud, de esta que se presenta (Fraccionamiento "Las Garzas"), y aún en las que no lo son, es preciso tener en cuenta que el proyecto original esté y quede claro, qué es lo que se pretende realizar y la funcionalidad que tendrá. De este modo se contará con el criterio de dar las mejores recomendaciones al cliente, esto fundamentado por supuesto en pruebas y métodos adecuados.

Específicamente en la pavimentación de este Fraccionamiento "Las Garzas" se realizó una propuesta bajo la Metodología de la UNAM, esto debido a que las solicitaciones a las que habrá de estar sujeto el pavimento no serán de magnitud considerable. Sin embargo, se hacen revisiones precisas, especialmente de las pruebas de laboratorio, que, como se presenta en el capítulo correspondiente al estudio; tienen que estar sujetas a la normatividad bajo la cual se diseña y se acepta o rechaza (es decir se repite o toman consideraciones alternativas) si se está o no dentro del rango proporcionado.

En cuanto a criterios de apoyo al diseño, no menos importantes, como los estudios hidrológicos, climáticos, temperatura. No se deben dejar de lado, ya que ellos suman o restan calidad en los resultados del diseño y del resultado final.

Si se hacen las pertinentes consideraciones en cuanto a pruebas, antecedentes o características propias de la obra (finalidad de la obra, topografía, clima, etc.) se tendrán más herramientas con las cuales contar al momento de emitir el criterio de diseño, que, en conjunto con la experiencia llevará a conseguir con éxito el fin que se persigue, la funcionalidad, duración y economía de la obra, y con ello la satisfacción del cliente.

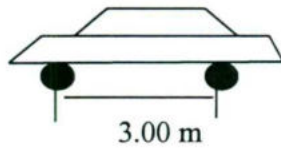
BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo Vega J. Luis, Mota J. Jesús Alonso, Conferencia Dictada en Congreso Internacional de Ingeniería, “*Caracterización de mezclas asfálticas utilizadas en la construcción y rehabilitación de pavimentos*”. 2009.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993. Guide for design of pavement structures, Washington, D.C.
- Casagrande A. Notes on Soil Mechanics, Harvard University, 1938.
- Castelán Sayago Eduardo, Tesis “Trazo de Carreteras”, UNAM, 1995.
- Consulta directa con M. en I. Antonio Gómez López, Investigador del Instituto Mexicano del Transporte.
- Consulta directa con el laboratorio GCO-970211-GTA.
- Corro Santiago y Prado Guillermo. “Diseño Estructural de Pavimentos Asfálticos, Incluyendo Carreteras de Altas Especificaciones”, Reporte CI-8; Instituto Ingeniería UNAM, 1999.
- Del Castillo Hermilo y Rico Alfonso. “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Volumen I”; Edit. LIMUSA, 1995.
- Estudio Geotécnico del Fraccionamiento. “Las Garzas”, La Primavera, Hgo. INFORME TÉCNICO, GCO-970211-GTA; 2008.
- Frederick S. Merritt, M. Kent Loftin, J. T. Ricketts. “Manual del Ingeniero Civil Tomo I” 4ª Edición. Edit. Mc Graw Hill. 2008.
- Garnica Anguas, Rico Rodríguez, Téllez Gutiérrez; “Pavimentos Flexibles, Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias”; Publicación Técnica N° 104; Instituto Mexicano del Transporte: Sanfandila, Qro., 1998.
- Llamazares Gómez Olegario; “Tendencias actuales en el dimensionamiento de firmes flexibles”, Colegio de Ingenieros de Caminos; 2004.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Dirección General de Servicios Técnicos. <http://dgst.sct.gob.mx>., Julio 2009.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Cargas máximas de acuerdo con el “Proyecto de actualización del capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT”, México, D.F., 1978.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, “Normas de Construcción”, Muestreo y Pruebas de Materiales, Tomo IX, Parte Primera, México;1981.

ANEXO I

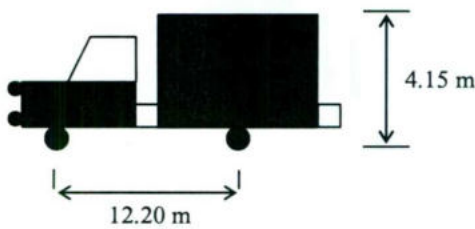
COEFICIENTES DE DAÑO POR EL MÉTODO DE LA UNAM

A2 Automóvil



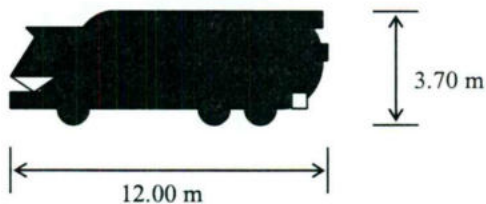
Camino A, B, C	Conjunto	Peso, en ton.		P, Kg/cm ²	×d _m = Coeficiente de daño bajo carga				dv = Coeficiente de daño vacío			
		×Carga máxima	Vacío		Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60
	1*	1	0,8	2	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
	2*	1	0,8	2	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
	Σ	2	1,6		0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000

C2 Camión de dos ejes



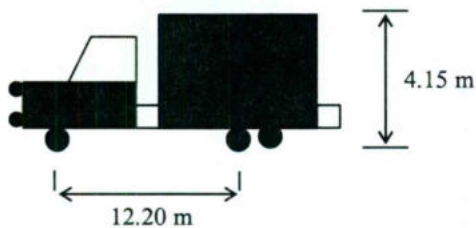
Camino A, B, C	Conjunto	Peso, en ton.		P, Kg/cm ²	×d _m = Coeficiente de daño bajo carga				dv = Coeficiente de daño vacío			
		×Carga máxima	Vacío		Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60
Camino A	1*	5,5	3,5	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,079	0,019	0,010
	2*	10,0	3,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,044	0,009	0,004
	Σ	15,5	6,5		2,000	1,890	2,457	2,939	2,000	0,123	0,028	0,014
Camino B	1*	5,0	3,0	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,044	0,009	0,004
	2*	9,0	3,0	5,8	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
	Σ	14,0	6,0		2,000	1,495	1,589	1,701	2,000	0,088	0,018	0,008
Camino C	1*	4,0	2,5	5,8	1,000	0,126	0,036	0,021	1,000	0,022	0,003	0,002
	2*	8,0	2,5	5,8	1,000	0,944	0,900	0,878	1,000	0,022	0,003	0,002
	Σ	12,0	5,0		2,000	1,070	0,936	0,899	2,000	0,044	0,006	0,004

B3 Autobús de tres ejes



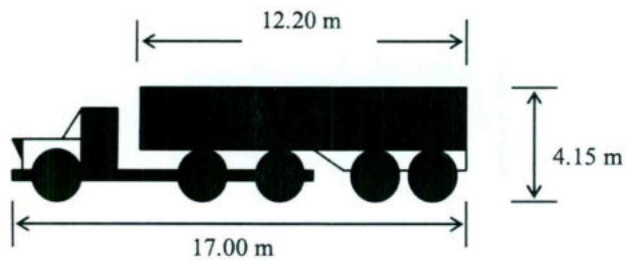
Camino	Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm ²	x _d = Coeficiente de daño bajo carga				d _v = Coeficiente de daño vacío			
		xCarga máxima	Vacío		Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60
A	1*	5,5	4,0	5,4	0,666	0,286	0,155	0,116	0,666	0,107	0,034	0,021
	2**	14,0	8,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
	Σ	19,5	12,0		1,999	1,369	0,877	0,852	1,999	0,321	0,091	0,058
B	1*	5,0	4,0	5,4	0,666	0,216	0,099	0,070	0,666	0,107	0,034	0,021
	2**	14,0	7,5	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,172	0,042	0,026
	Σ	19,0	11,5		1,999	1,299	0,821	0,805	1,999	0,279	0,076	0,047
C	1*	4,0	3,5	5,4	0,666	0,107	0,034	0,021	0,666	0,068	0,018	0,010
	2**	14,0	7,5	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,172	0,042	0,026
	Σ	18,0	11,0		1,999	1,190	0,756	0,756	1,999	0,240	0,060	0,036

C3 Camión de tres ejes



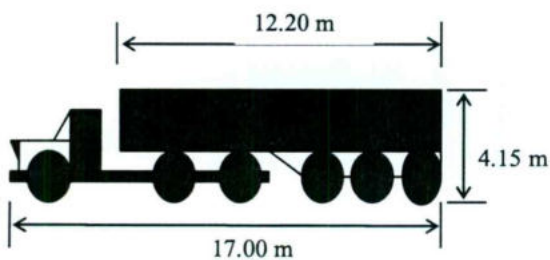
Camino	Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm ²	x _d = Coeficiente de daño bajo carga				d _v = Coeficiente de daño vacío			
		xCarga máxima	Vacío		Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60
A	1*	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2**	18,0	4,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,028	0,003	0,002
	Σ	23,5	8,5		3,000	2,817	2,457	2,940	3,000	0,154	0,039	0,023
B	1*	5,0	3,8	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,106	0,028	0,016
	2**	15,0	4,2	5,8	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,021	0,002	0,001
	Σ	20,0	8,0		3,000	1,876	1,178	1,160	3,000	0,127	0,030	0,017
C	1*	4,0	3,5	5,4	0,666	0,107	0,034	0,021	0,666	0,068	0,018	0,010
	2**	14,0	4,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,015	0,002	0,001
	Σ	18,0	7,5		1,999	1,190	0,756	0,756	1,999	0,083	0,020	0,011

T3 – S2 Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes



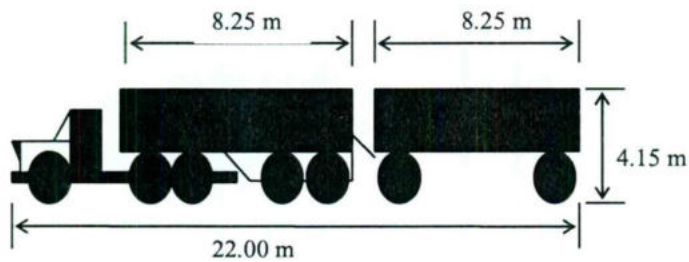
Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm ²	*d _m = Coeficiente de daño bajo carga				dv = Coeficiente de daño vacío				
	*Carga máxima	Vacío		Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	
Camino A	1*	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2**	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	3**	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	Σ	41,5	12,0		5,000	5,285	4,747	5,761	5,000	0,160	0,040	0,023
Camino B	1*	5,0	3,5	5,8	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,079	0,019	0,010
	2**	15,0	4,0	5,8	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,017	0,002	0,001
	3**	15,0	4,0	5,8	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,017	0,002	0,001
	Σ	35,0	11,5		5,000	3,491	2,250	2,249	5,000	0,113	0,023	0,012

T3 –S3 Tractor de tres ejes con semirremolque de tres ejes



Conjunto	Peso, en ton.		p, Kg/cm ²	*d _m = Coeficiente de daño bajo carga				dv = Coeficiente de daño vacío				
	*Carga máxima	Vacío		Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	
Camino A	1*	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2**	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	3**	22,5	5,0	5,8	3,000	2,422	2,289	2,818	3,000	0,011	0,002	0,001
	Σ	46,0	13,0		6,000	5,239	4,746	5,758	6,000	0,154	0,040	0,023

T3-S2-R2 Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes.



Conjunto	Peso, en ton.		P, Kg/cm ²	*d _m = Coeficiente de daño bajo carga				dv = Coeficiente de daño vacío				
	*Carga máxima	Vacío		Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	
Camino A	1*	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2**	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	3**	18,0	3,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,009	0,001	0,000
	4*	10,0	2,3	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,015	0,002	0,001
	5*	10,0	2,2	5,8	1,000	1,541	2,289	2,820	1,000	0,013	0,002	0,001
	Σ	61,5	16,0		7,000	8,367	9,327	11,401	7,000	0,180	0,043	0,024

× Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del capítulo XI del Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D. F., 1978.

- * EJE SENCILLO
- ** EJE TANDEM
- *** EJE TRIPLE

ANEXO II

CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE ACUERDO A LA NORMA NOM-012-SCT-2-2008

Para los fines de esta Norma los vehículos se clasifican en:

(Automóviles con cargas altas considerables)

ATENDIENDO A SU CLASE.

CLASE NOMENCLATURA

AUTOBÚS

B

CAMIÓN UNITARIO

C

CAMIÓN REMOLQUE

C-R

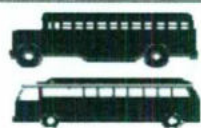
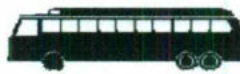

TRACTOCAMIÓN ARTICULADO



T-S





TRACTOCAMIÓN DOBLEMENTE ARTICULADO

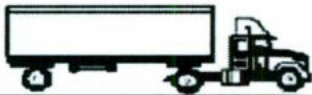

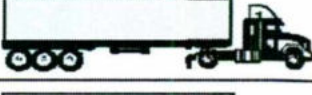
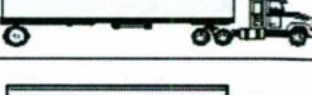


T-S-R y T-S-S







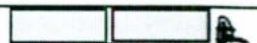
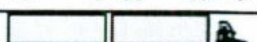

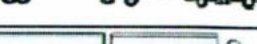

ATENDIENDO A SU CLASE, NOMENCLATURA, NÚMERO DE EJES Y LLANTAS.

AUTOBÚS (B)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
B2	2	6	
B3	3	8 ó 10	
B4	4	10	

CAMIÓN UNITARIO (C)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
C2	2	6	
C3	3	8-10	

CAMIÓN - REMOLQUE (C - R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	

TRACTOCAMIÓN ARTICULADO			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	

TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2 ⁽¹⁾	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4 ⁽¹⁾	9	34	
T2-S2-S2	6	22	
T3-S2-S2	7	26	
T3-S3-S2	8	30	

- (1) Las configuraciones T3-S2-R2 y T3-S2-R4 podrán comprender un semiremolque de tres ejes con eje retráctil, siempre y cuando no se exceda el número máximo de ejes autorizado ni el peso bruto vehicular máximo para el T3-S2-R2 y T3-S2-R4 respectivamente. En todo caso, dicho eje retráctil deberá estar levantado durante la circulación del vehículo.