



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGON

"ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACION DEL PAVIMENTO DE LA CALZADA DE LA VIGA EN ECATEPEC. ESTADO DE MEXICO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

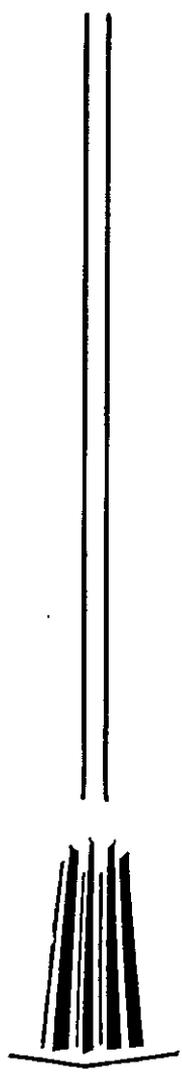
P R E S E N T A

MARIO HUMBERTO NAVARRO CHAVARRIA

ASESOR DE TESIS: ING. GABRIEL ALVAREZ BAUTISTA

ESTADO DE MEXICO, 2001

289942





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
 AN ENSEÑA DE
 MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
 ARAGÓN
 DIRECCIÓN

MARIO HUMBERTO NAVARRO CHAVARRÍA
 PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 29 de enero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. GABRIEL ÁLVAREZ BAUTISTA pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado "ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA LA REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO DE LA CALZADA LA VIGA EN ECATEPEC, ESTADO DE MÉXICO", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
 "POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
 San Juan de Aragón, México, 13 de febrero de 2007
 EL DIRECTOR

M en R.I. CARLOS EDUARDO LEVY VÁZQUEZ



- C p Secretaría Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
- C p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/RCC'vr

A Dios

Antes que nada

te doy gracias por mi existencia,

porque siempre has estado

y me das todo a cambio de nada,

y ahora me diste la oportunidad

de lograr uno de los anhelos

más grandes de mi vida,

solo te pido, Dios,

que nunca me desampares

y condúceme siempre

hacia el bien,

gracias por todo.

A mis padres Alato y Emma:

Nunca terminare de agradecerles lo mucho que me han apoyado, y por quienes he llegado hasta este momento.

A mi esposa Betty:

Quien con su amor me ha apoyado en todo momento, y a quien le debo gran parte de este logro.

A mi pequeña Andreita:

Uno de mis mayores tesoros en mi vida; quien con su risa me incita ser mejor en el futuro.

*A mis hermanos Alfredo, Enrique, Guillermo, Fabiola
y Andrés.*

*Muestra de unión insuperable, con quienes he caminado
junto a lo largo de mi vida.*

A mis abuelitos Fermín y Aurorita.

*Ícono de grandeza espiritual, respeto y ternura,
de los cuales aprendí cosas que hacen grande a un ser
humano.*

A mis abuelitos Tomás y Esperancita.

*Ejemplo a seguir de amor mutuo, seres humanos
dotados con un gran corazón, dando de sí lo mejor de
ellos.*

A mi querida Universidad Nacional Autónoma de México.

Por facilitarme el camino a la superación y el éxito.

Al Ingeniero Gabriel Alvarez Bautista.

Le hago el más sincero de los agradecimientos por sus horas incansables de asesoría, nutriéndome y compartiéndome sus sabios conocimientos para la elaboración de ésta tesis.

INDICE

INTRODUCCION

1.- ANTECEDENTES.....	1
2.- CARACTERISTICAS DE LA ZONA DONDE SE DESARROLLARA EL PROYECTO.....	19
3.- EXPLORACION Y MUESTREO DEL SUBSUELO.....	21
4.- PRUEBAS DE LABORATORIO.....	23
5.- CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS Y FISICAS DEL SUBSUELO.....	28
6.- ANALISIS DE LOS PAVIMENTOS.....	39
6.1- DETERIOROS TIPICOS Y CAUSAS DE FALLA.....	39
6.2 ESTRUCTURACION ACTUAL DE LOS PAVIMENTOS.....	41
6.3 EVALUACION DE LA ESTRUCTURA ACUTAL DE LOS PAVIMENTOS POR REFLEXIONES.....	46
6.4 ESTRUCTURACION PROPUESTA.....	47
6.5 DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	48
6.5.1 AFOROS VEHICULARES.....	48

6.5.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	49
6.6 CARACTERISTICAS DE LA SUBRASANTE.....	50
6.7 LINEAMIENTOS GENERALES DE CONSTRUCCIÓN.....	52
6.7.1 NIVELES.....	52
6.7.2 MATERIALES.....	52
6.7.2.1 PARA TERRACERIAS.....	52
6.7.2.2. PARA SUB-BASE.....	53
6.7.2.3 PARA BASE.....	54
6.7.2.4. PARA CARPETA ASFÁLTICA.....	54
6.7.3 GRADOS DE COMPACTACION.....	56
6.7.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....	56
6.7.5 CONTROL DE CALIDAD.....	59
6.7.5.1 CARPETA ASFÁLTICA.....	60
6.7.6 CAPA SUBRASANTE.....	60
6.8 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS BANCOS DE MATERIALES.....	62
6.9 NORMAS DE CALIDAD.....	64
6.10 CONSRVACION Y MANTENIMIENTO.....	64

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
ÁNEXO I MEMORIA DE CALCULO.....	72
ANEXO II PRUEBAS DE LABORATORIO Y PERFILES DE POZOS.....	83
ANEXO III ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS DE TIPO FLEXIBLE.....	125
ANEXO IV REPORTE FOTOGRAFICO.....	136
ANEXO V BANCOS DE MATERIALES.....	146
ANEXO VI AFOROS VEHICULARES.....	151
BIBLIOGRAFÍA.....	156

INTRODUCCION

Las vías terrestres son parte fundamental del desarrollo de un país, sobre todo los caminos, siempre que se cuente con ellos será más fácil proporcionar servicios, ya que pueden utilizarse conforme se construyan los tramos. No es necesario esperar a la conclusión de la obra para utilizarla.

La finalidad de un camino pavimentado es poder proporcionar a los usuarios del mismo seguridad, comodidad y rapidez, por ello se busca que todos las vialidades se construyan de la mejor manera posible para que su mantenimiento sea mínimo y así se consigan los objetivos de toda obra como son economía seguridad buen funcionamiento y vida útil, etc.

Es necesario la realización de un estudio de mecánica de suelos para poder determinar las especificaciones, procedimiento constructivo y las recomendaciones mas adecuadas a cada etapa del desarrollo de dicha vialidad en estudio, la cual se encuentra ubicada en "La Calzada la Viga en Ecatepec en el Estado de México"; ya que aquí se pretende rehabilitar la calzada antes mencionada lugar donde se construirá un desarrollo habitacional.

Un pavimento es la capa o el conjunto de capas de materiales apropiados, comprendida entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento cuyas principales funciones son las de soportar las cargas rodantes y transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por estas; así como de permitir el tránsito de vehículos en forma cómoda, segura y eficiente, con un costo mínimo.

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos, estos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de cómo se estructuran dichos materiales, así se dice que un pavimento flexible es aquel que tiene como superficie de rodamiento una carpeta asfáltica, y un pavimento rígido es aquel cuyo elemento fundamental resistente es una losa de concreto hidráulico.

La elección del tipo de pavimentos se basa en las ventajas y desventajas que se tienen para cada caso en particular.

La forma en que generalmente se encuentra estructurado un pavimento flexible, de la parte superior a la inferior, es la siguiente: la carpeta, que esta formada por una mezcla de agregado pétreo y un aglutinante asfáltico, la cual constituye la superficie de rodamiento; bajo esta capa se encuentra la base, construida en material granular y abajo, la sub-base, que también se construye en material granular, aunque menos que la base, pues esta admite suelos de menor calidad, con mayor contenido de fino y menor exigencia en cuanto a granulometría; esto es debido a que la sub-base se encuentra más alejada de la superficie de rodamiento que la base, por lo que los esfuerzos le llegan con menor intensidad.

Estas capas son las que constituyen el pavimento, existen otras capas, sobre las cuales se apoya este, lo que en conjunto es a lo que llamamos terracerías y tienen una gran influencia en el comportamiento de la estructura en conjunto.

Las capas que forman las terracerías son: la Subrasante, que viene debajo de la Sub-base y todavía con menores requisitos de calidad mínima que esta, por la misma razón; y el cuerpo de terraplén, que se forma del material adecuado, producto de cortes o de prestamos, de acuerdo con lo fijado en el proyecto.

La mayoría de casos de destrucción de la superficie de rodamiento se deben al uso de materiales inadecuados en la formación de las terracerías, falta de compactación o exceso de humedad en las mismas. Esto no se corrige con el pavimento, aun cuando sea de gran espesor. Por eso es importante investigar si existe en las terracerías exceso de humedad, arcilla o cualquier material de poca resistencia, límites plásticos y líquidos inadecuados, o de contracciones o expansiones excesivas.

Las capas que generalmente constituyen un pavimento flexible, mencionadas de las superiores a las inferiores son: carpeta asfáltica (con o sin sello), base y sub-base.

Los principales elementos que influyen en el comportamiento de un pavimento son: económicos, regionales (topografía, precipitación, drenaje, etc.), los materiales y el tránsito.

La construcción de un pavimento debe ser lo más económica posible, esto es, se debe tener el menor costo de construcción, de mantenimiento y operación durante la vida útil para la cual fue proyectado, para esto se deberá construir con los materiales y las técnicas adecuadas al uso que se le va a dar.

Antes de comenzar el proyecto de un camino, debe hacerse el análisis de los enlaces carreteros entre los polos de concentración y distribución de la producción y los centros consumidores.

Uno de los factores que deben tomarse en cuenta en el problema del proyecto es la multitud de materiales, con propiedades diferentes, que se traducen en ventajas e inconvenientes. Esto se complica al considerar los límites de calidad de materiales, así como el espesor utilizando, que varía de una capa a otra, de un clima a otro y de una topografía a otra.

El tránsito es otro de los factores a considerar, pues sus efectos no son muy conocidos, ya que estos varían en intensidad y número de vehículos, en calidad y peso de los mismos; y es una carga móvil, repetida, causante de esfuerzos transitorios y de efectos como la fatiga, el rebote elástico, etc. Este factor es importante, ya que sus características serán la base para el proyecto de este tipo de obras motivo por el cual se realizó un sondeo promedio diario del número de vehículos que pasan por La Calzada la Viga Ecatepec.

Existe una gran diversidad de vehículos, los cuales se pueden agrupar en: automóviles, autobuses, camiones de carga, etc. Los cuales tienen diferentes capacidades de carga, que transmitida al pavimento de acuerdo con la presión de las llantas, la colocación de los ejes y la disposición que en el extremo de estos tengan las llantas.

Capa subrasante: se utilizan comúnmente materiales de banco con las características adecuadas para cumplir las funciones que tendrán en la estructura vial.

Capas de pavimento: provienen siempre de banco; de ellos es posible utilizar aglomerados de depósitos, pero que requieren casi siempre, uno o más tratamientos como es cribado, triturado, etc.

Las principales pruebas de clasificación que se aplican a los materiales pétreos y suelos de una vía terrestre son de granulometría, plasticidad, resistencia, expansion, valor cementante, densidad, adherencia con el asfalto, dureza y forma de la partícula.

Uno de los elementos que causan mayor problema a los caminos es el agua, ya que esto provoca la disminución de la resistencia de los suelos presentándose fallas en las superficies de rodamiento y en las capas siguientes motivo por el cual debe ser tomado en cuenta el drenaje artificial el cual es el conjunto de obras que sirve para captar conducir y alejar del camino el agua que puede causar problemas.

La compactación juega un papel muy importante ya que esta se debe realizar en todas las capas que comprende la obra vial y aquí es donde el proyectista nos indica que porcentaje de compactación se requiere para que la estructura no sufra deformaciones apreciables que pudiesen dañar a las otras capas.

Se presenta con frecuencia la necesidad de analizar el estado de un pavimento construido anteriormente a fin de decidir sobre la necesidad de repararlo y sobre el monto de la reparación.

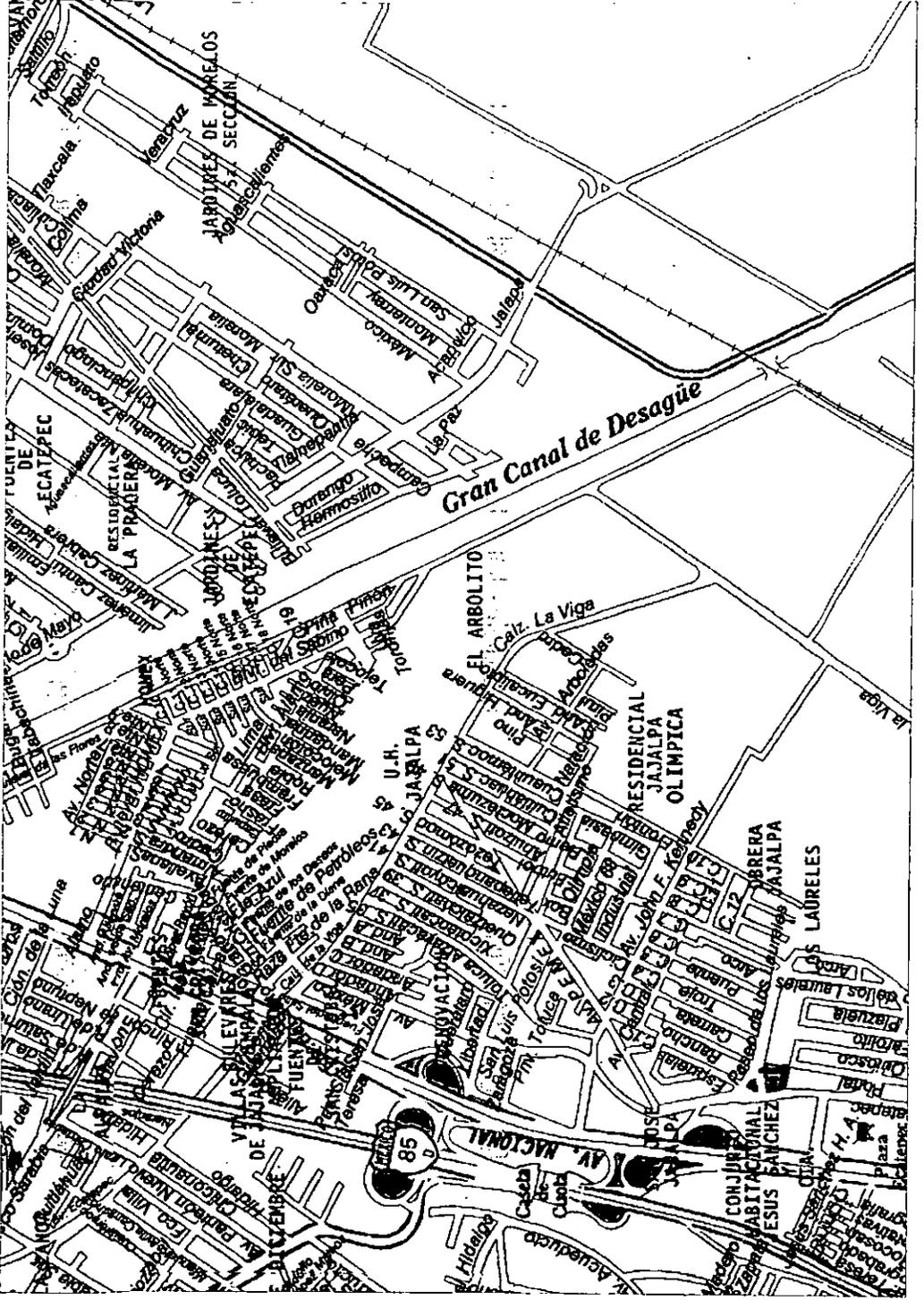
Aunque presente en todas partes, éste es un problema muy común, en las redes de transporte de los países en vías de desarrollo, pues en ellos se dan las condiciones de rápida expansión de tránsito, insuficiencia presupuestal en el momento de la construcción y falta de la adecuada conservación, que contribuyen a generarlo. Contribuye también a hacer frecuente la necesidad de ampliación y reconstrucción una sana política de inversión escalonada, por la que originalmente se construye para condiciones poco diferentes de las actuales con vidas útiles relativamente cortas, esperando a que el desarrollo futuro de tránsito cree las condiciones que hagan posible el efectuar nuevas inversiones en condiciones

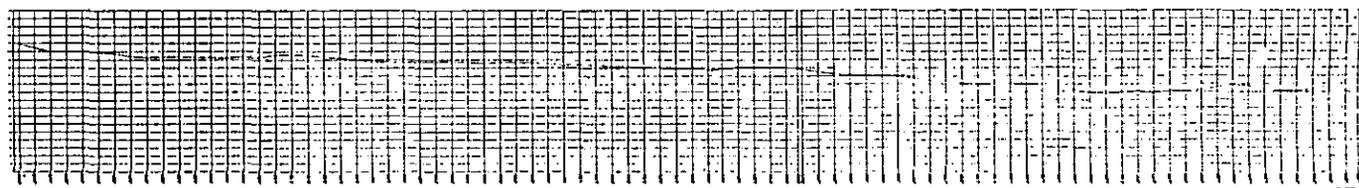
favorables. Esta orientación de la política de inversiones permite mayor disponibilidad de recursos y atención a un mayor número de obras, pero produce frecuentes necesidades de ampliación.

Considerando la información geotécnica obtenida tanto en campo como del laboratorio y tomando en cuenta las condiciones actuales y futuras del volumen del tránsito, se diseñó el pavimento de tipo flexible con superficie de rodamiento constituido por una carpeta asfáltica, estableciendo su procedimiento constructivo y tomando en cuenta las características de la sección actual de la vialidad existente y las propias del subsuelo en sus partes laterales donde se tendrá la ampliación de la vialidad proyectada.

En este informe se describen los trabajos realizados, se reportan los resultados obtenidos y se consignan las recomendaciones para el diseño y reconstrucción del pavimento de tipo flexible proyectado, así como para el procedimiento constructivo de los pavimentos y del control de calidad de los materiales que los constituirán.

Cd. de México





PERFIL DE TRAZO

TRAZO DE LA VIALIDAD EN ESTUDIO

FIGURA 3

I. ANTECEDENTES

El Estudio de Mecánica de Suelos es de una vialidad de aprox. 1.5 km, y se proyecta construir en el perímetro del Conjunto Habitacional denominado Casas Bonito Ecatepec ubicado en Calzada La Viga, colonia San José Jajalpa, en el Municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México. La localización del sitio de interés se muestra en la figura 1 y la longitud de la sección que se proyecta construir de la vialidad se muestra en las figuras 2 y 3.

Con frecuencia se tiene la necesidad de analizar el estado de un pavimento construido anteriormente a fin de decidir sobre la necesidad de repararlo y sobre el monto de la reparación.

Aunque presente en todas partes, éste es un problema muy común, en las redes de transporte de los países en vías de desarrollo, pues en ellos se dan las condiciones de rápida expansión de tránsito, insuficiencia presupuestal en el momento de la construcción y falta de la adecuada conservación, que contribuyen a generarlo. Contribuye también a hacer frecuente la necesidad de ampliación y reconstrucción una sana política de inversión escalonada, por la que originalmente se construye para condiciones poco diferentes de las actuales con vidas útiles relativamente cortas, esperando a que el desarrollo futuro de tránsito cree las condiciones que hagan posible el efectuar nuevas inversiones en condiciones favorables. Esta orientación de la política de inversiones permite mayor disponibilidad de recursos y atención a un mayor número de obras, pero produce frecuentes necesidades de ampliación.

Los problemas de rehabilitación de pavimentos pueden ser inmensamente variados y van desde la colocación de riesgos de rejuvenecimiento o construcción de sobre-carpetas, hasta reconstrucciones integrales; también han de considerarse los problemas emanantes de las ampliaciones de sección.

Las rehabilitaciones por incremento normal del tránsito suelen resolverse con el empleo de sobre-carpetas, en tanto que las reconstrucciones serán necesarias en pavimentos que muestren indicios de falla, consistentes en la aparición de deformaciones excesivas o en niveles muy elevados de deflexión, detectada con los instrumentos de que hoy se dispone y a los que se concede alguna atención más adelante.

El planteamiento de un criterio de rehabilitación es, en rigor, un enlistado de las circunstancias que hacen satisfactorio el servicio de un pavimento dado, desde luego es algo mucho más complicado que la simple aparición de grietas superficiales. En lo anterior, insatisfactorio no implica, desde luego, la necesidad de una falla catastrófica; puede requerir rehabilitación un pavimento que esté soportando adecuadamente muy altos volúmenes de tránsito, pero en el que se gaste más de lo conveniente en conservación. Las siguientes son las principales normas de criterio que suelen considerarse para definir la necesidad de una rehabilitación:

A.- Nivel de servicio:

Este concepto variará con el tipo de la vía terrestre.

B.- Condición estructural:

Este concepto se refiere a la capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito en la actualidad y seguirlo en el futuro próximo.

C.- Condiciones de la superficie:

La apariencia del pavimento (deformaciones, grietas, etc.), no necesariamente esta ligada a la capacidad estructural y desde luego no lo está por una relación única y sencilla, si bien es cierto que una falta de capacidad estructural reflejará rápidamente en la apariencia del pavimento. Muchos defectos en las condiciones superficiales pueden corregirse fácilmente con

métodos que no producen ninguna mejoría real en las condiciones estructurales.

D.- Seguridad

El concepto se valúa generalmente con base en estadísticas de accidentes.

E.- Costo

Se refiere no solo a la erogación necesaria para pagar la rehabilitación, sino también a los costos de conservación y de operación a que se llegue.

Adicionalmente al concepto de nivel de servicio es importante considerar las condiciones de la superficie de rodamiento en lo que se refiere a agrietamientos, deformaciones permanentes y cualquier otro deterioro cuya presencia, como se menciono anteriormente, no siempre debe atribuirse a insuficiencia estructural.

Por lo que se refiere a la capacidad estructural de un pavimento, esta característica se ha relacionado, para fines de valuación, con la medición de la deflexión del pavimento cuya capacidad estructural se desea valorar. Las deflexiones de un pavimento flexible bajo una carga estática pueden ser determinadas con equipos tales como la viga de Benkelman o un curvímetero Dehlen.

La valuación de la capacidad estructural de un pavimento deberá comprender también el análisis de la resistencia de los materiales que constituyen a cada una de las capas, incluyendo la subrasante, y en algún caso, el que forme la terracería.

La valuación final de la capacidad estructural deberá tener en consideración los resultados obtenidos con el uso de los criterios deflexión y resistencia, lo cual es particularmente importante si se toma en cuenta que las correlaciones existentes entre las medidas de deflexión, espesor y calidad del pavimento, así como el tránsito que circule por ellos.

La limitación del método de la deflexión es que no considera la distribución de esfuerzos con respecto a la profundidad. Finalmente la resistencia dependerá básicamente del valor relativo de soporte de la subrasante VRS, el cual se determinó en las muestras obtenidas del lugar y a las cuales se les realizó las pruebas de laboratorio correspondiente, estableciendo la sección más adecuada para la vialidad en estudio.

Considerando la información geotécnica obtenida tanto en campo como del laboratorio y tomando en cuenta las condiciones actuales y futuras del volumen del tránsito, se diseñó el pavimento de tipo flexible con superficie de rodamiento constituido por una carpeta asfáltica, estableciendo su procedimiento constructivo y tomando en cuenta las características de la sección actual de la vialidad existente y las propias del subsuelo en sus partes laterales donde se tendrá la ampliación de la vialidad proyectada.

En este informe se describen los trabajos realizados, se reportan los resultados obtenidos y se consignan las recomendaciones para el diseño y reconstrucción del pavimento de tipo flexible proyectado, así como para el procedimiento constructivo de los pavimentos y del control de calidad de los materiales que los constituirán.

MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Es común fijar normas de calidad relativamente estrictas a los materiales por utilizar, mejorándolos muchas veces con mezclas o añadidos substanciales de cemento, cal, asfalto, etc.

En el caso de los pavimentos suele hacerse a los tratamientos mecánicos de los materiales (compactación, trituración, lavado, etc.)

El método de diseño que se funda en el uso de la prueba triaxial que ha desarrollado el estado de Texas tiene dos ventajas efectivas. Esta fundado en una prueba triaxial, lo que constituye un acercamiento al modo de trabajo real de indudable interés; además los resultados de una prueba triaxial son correlacionables con mucha experiencia valiosa para todo ingeniero con experiencia en mecánica de suelos; a mayor ventaja, puede citarse el hecho de que la cámara triaxial empleada, de tamaño grande, promete resultados satisfactoriamente representativos.

En segundo lugar el método de Texas tiene la virtud de la sencillez de su aplicación.

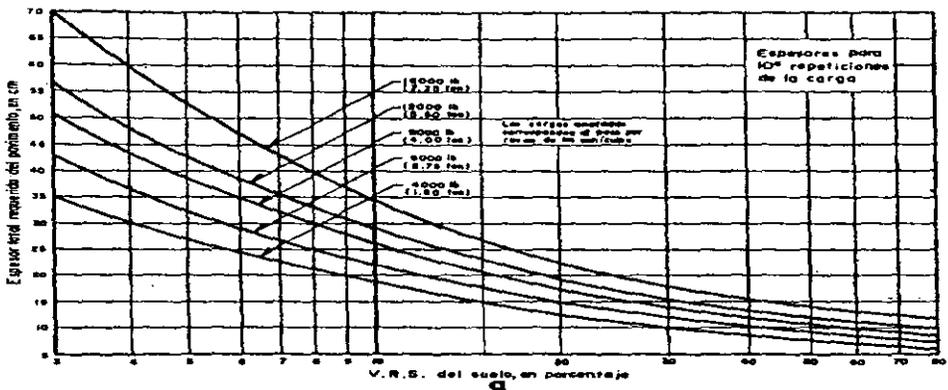
El uso de la prueba triaxial de Texas es de interés independientemente de que se utilice, o no el método de diseño que en ella se funda. La prueba tiene un valor independiente para detectar la calidad de una capa tendida y compactada. En la construcción de vías terrestres en México surge con frecuencia la duda de en que condición ha quedado una determinada capa tras un proceso de compactación en que, quizá no se ha cumplido del todo alguno de los requerimientos del proyecto. La disyuntiva estas en saber si la capa ha de ser o no removida. Si especímenes de esa capa se prueban en la cámara triaxial es posible obtener un envolvente de resistencia y ver que nivel de comportamiento es posible esperar de la capa, de esta manera la prueba triaxial proporciona un criterio independiente para juzgar la calidad de algo construido que se ha revelado útil en muchos casos.

Otro método que merece atención entre los que se utilizan recientemente para el dimensionamiento de los pavimentos flexibles es el de McLeod tiene la ventaja de que las pruebas de placa que lo fundamentan constituyen un buen puente de unión con otros aspectos de la tecnología de los pavimentos en que también se utilizan tal como es el caso de reconstrucciones, valuación del estado de pavimentos reconstruidos.

APLICACIÓN A CARRETERAS

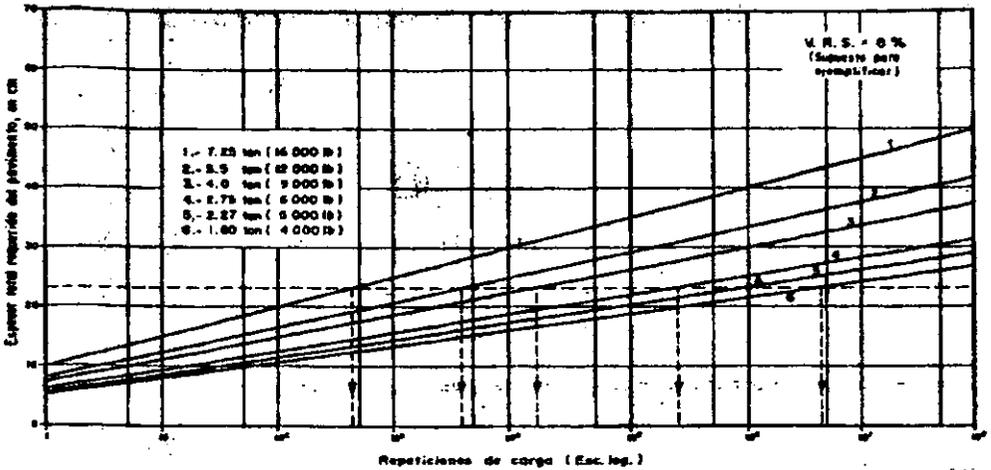
En principio, el espesor del pavimento puede obtenerse de las gráficas de la figura IX - 26 a, proporcionadas por la propia institución que propone el método.

Las gráficas proporcionan los espesores para diferentes V.R.S. y distintas cargas de rueda de los vehículos, seleccionadas con el criterio de la carga equivalente, ya descrito. También y esto es importante, proporcionan el espesor necesario para que el pavimento aguante precisamente 10⁶ repeticiones de la carga que se lea.



Es conveniente utilizar las gráficas de la fig. IX - 26 a en combinación con el criterio de McLeod para tomar en cuenta el tipo y mezcla del tránsito. En este criterio se acepta la regla, ya mencionada, de que el espesor del pavimento varía linealmente con el número de las repeticiones de la carga, cuando este se expresa en escala logarítmica: además, se acepta también que con un 25% del espesor para 10⁶ repeticiones, el pavimento falla con una sola repetición de la misma carga.

En primer lugar, utilizando las curvas de la fig. IX - 26 a y con el V.R.S. del suelo en estudio se ven los espesores totales que resultan para las diferentes cargas de rueda que aparecen. Estos se anotan en la fig. IX - 27 como ordenadas en la abscisa 10⁶ repeticiones, puesto que a ellas corresponden, como ya se dijo.



Después se llevan como ordenadas del valor una repetición (considerado como abscisa) magnitudes correspondientes al 25% de los espesores necesarios para soportar un millón de repeticiones. Entre las ordenadas así dibujadas podrán trazarse líneas rectas, con base en la idea de que el espesor del pavimento es función lineal del número de repeticiones, cuando este se expresa en escala logarítmica. El conjunto de rectas aparece en la fig. IX - 27 y cada una de ellas representa la variación del espesor requerido del pavimento con el número de repeticiones para la carga que se menciona.

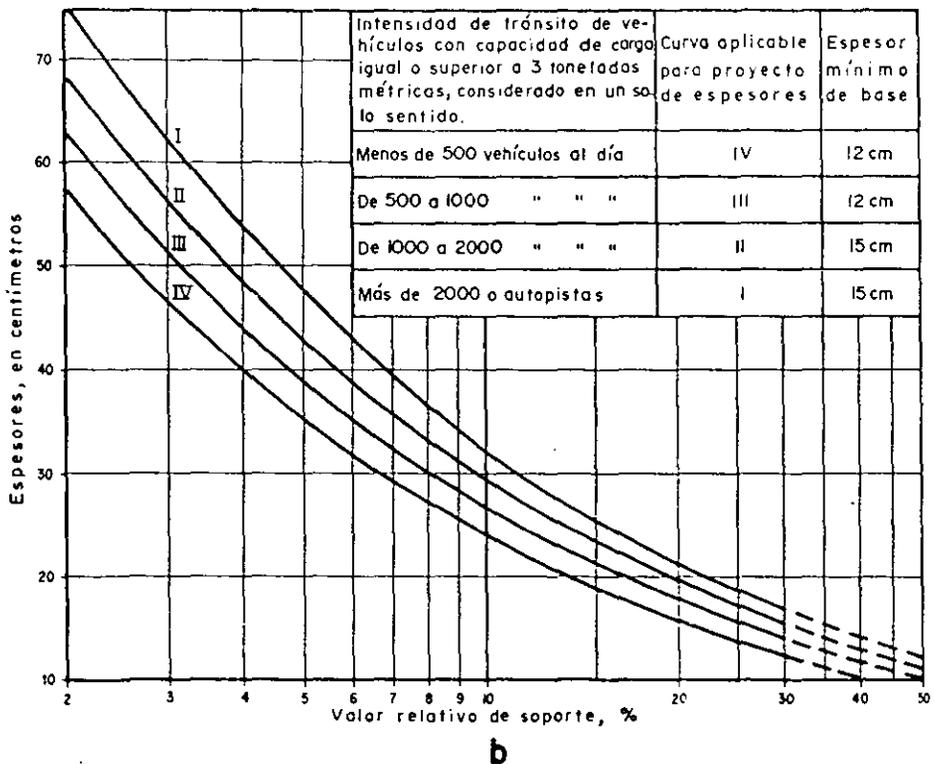
Al dividir un millón entre el número de repeticiones de cada una de las cargas de las rectas de la fig. IX - 27 que produzcan los mismos efectos que la condición de diseño, se obtienen de los denominados factores de equivalencia para las diversas cargas.

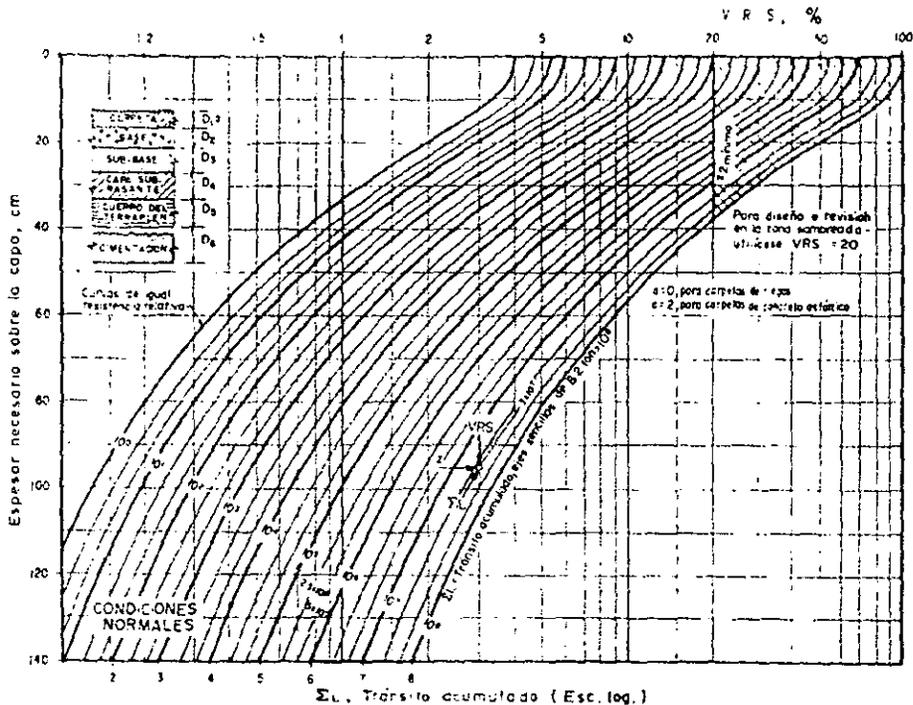
Los factores de equivalencia para cada carga se multiplican por el número de vehículos de ese tipo que vayan a transitar diariamente por el pavimento en diseño (en rigor, este número deberá ser el promedio diario anual) y el resultado de tal producto deberá sumarse a todos los similares para las diferentes cargas.

El cálculo anterior deberá extenderse a una vida útil razonable frecuentemente diez años y deberá también considerarse alguna tasa de crecimiento del tránsito dentro de ese periodo. De esta manera se obtendrá un gran total de repeticiones de la carga equivalente durante los diez años el cual deberá llevarse en el eje de las abscisas en la fig. IX -27.

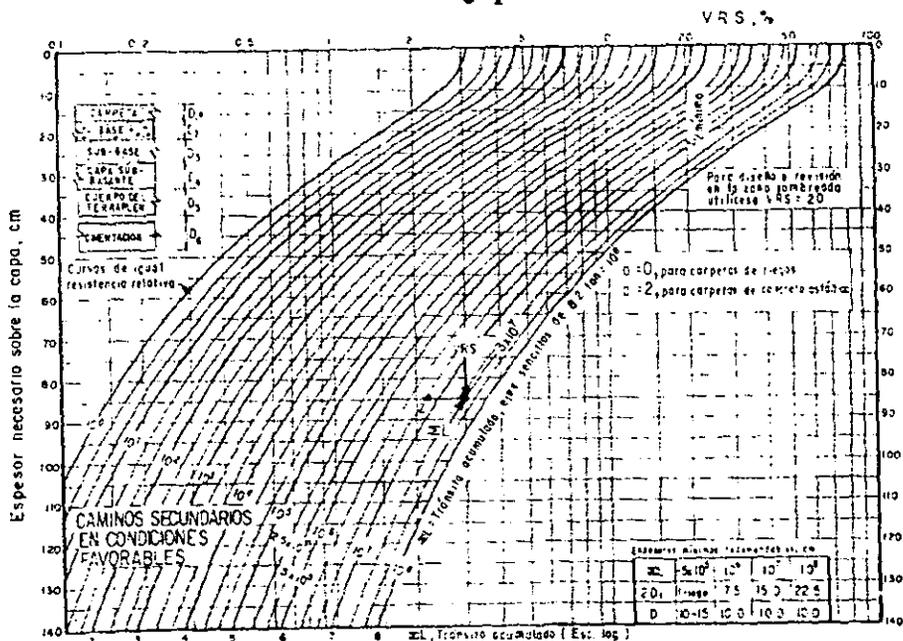
En México se utiliza predominantemente el V.R.S. como método de diseño de los pavimentos carreteros. La fig. IX -26 b muestra las gráficas de diseño de pavimentos en función del V.R.S. que tienen actualmente la secretaria.

Finalmente en la gráfica IX - 26 c se incluye una gráfica de diseño para pavimentos carreteros que ha sido desarrollada por el grupo de trabajo del instituto de ingeniería de la Universidad de México.





C-1



C-2

En realidad en esta gráfica se involucran muchas ideas nuevas, con respecto al panorama que es tradicional en estos casos. En primer lugar, se maneja el número de repeticiones de carga que el pavimento, diseñado con un cierto espesor, podrá resistir antes de fallar, definiendo la falla como la aparición de una deformación permanente de 1" en un 20% del área pavimentada. En segundo lugar, el concepto del V.R.S. está manejado con una búsqueda de rigor lógico racional; en efecto, en los métodos más tradicionales el V.R.S. de cada suelo de los que han de construir un pavimento se determina de la misma manera y se maneja con la misma independencia de la posición de la capa del suelo dentro de la estructura del pavimento; no se puede establecer claramente que V.R.S. se ha de exigir a los diferentes suelos según su ubicación en la terracería o el pavimento y esto ha tenido que seguirse haciendo con base en especificaciones empíricas, algunos autores aceptan que el V.R.S. debería distribuirse en el espesor de la sección resistente del pavimento en forma análoga a como se distribuyen los esfuerzos normales verticales según la teoría de Boussinesq. Así, habría una curva de distribución del V.R.S. análoga a la curva típica. Naturalmente, esta distribución no podrá ser continua y los requerimientos constructivos de trabajo por capas harán que el V.R.S. vaya en realidad disminuyendo en escalones, pero el criterio de correspondencia entre los esfuerzos transmitidos y el V.R.S. necesario para soportarlos sigue siendo el señalado.

Así la relación entre espesor y V.R.S. se admite que es una típica curva de Boussinesq y se dibujan varias de estas relaciones para diferentes repeticiones de carga esperadas o vidas útiles de proyecto, expresada esta vida útil deseada como un número de repeticiones de carga que han de ser aguantadas sin falla; el espaciamiento de estas curvas de vida útil en el plano espesor - V.R.S. es experimental.

Así una gráfica como la IX - 26 c puede manejarse en proyecto en revisión. En proyecto se fijará al pavimento una vida útil deseada con el V.R.S. de una capa que se podrá estimar el espesor protector requerido sobre ella. En revisión, conocidos el espesor y el V.R.S. de una capa podrá estimarse la vida útil que es de esperar antes de que se llegue a una condición de falla.

La aplicación más importante que pueda hacerse de la gráfica, en el caso de la revisión de pavimentos construidos estriba en dibujar sobre ella los diferentes escalones del V.R.S. – espesor para ver que vidas útiles corresponden a cada uno y poder así estimar no solo el riesgo de falla y el tiempo en que esta ocurrirá, sino también cual es la capa del conjunto estructural (incluyendo la terracería) en que es de esperar que aquella se presente.

METODO DE HV EEM

Hveem desarrollo un método de diseño de espesores de pavimentos flexibles que se fundamenta en el conjunto de pruebas de laboratorio. En rigor el método se alinea entre aquellos que ha de establecerse una correlación experimental entre el resultado de ciertas técnicas de laboratorio y el comportamiento de un pavimento construido. Todos los problemas que hacen difícil establecer la correlación y que se comentaron para el método del V.R.S. están también presentes en este caso; sin embargo, puede aducirse a favor del método Hveem que el conjunto de pruebas de laboratorio que le sirve de base es más racional y parece representar más completa y adecuadamente lo que en los pavimentos sucede, que la prueba que fundamenta el método del V.R.S.

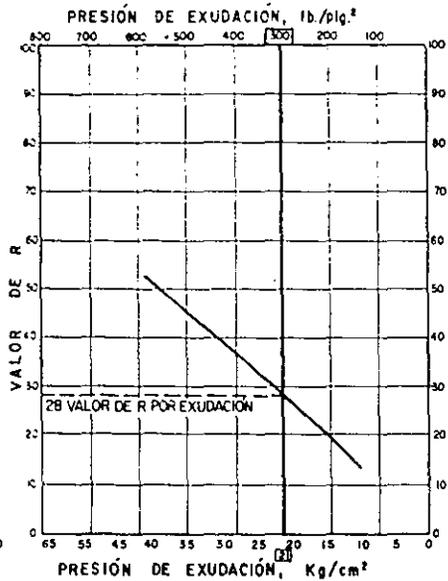
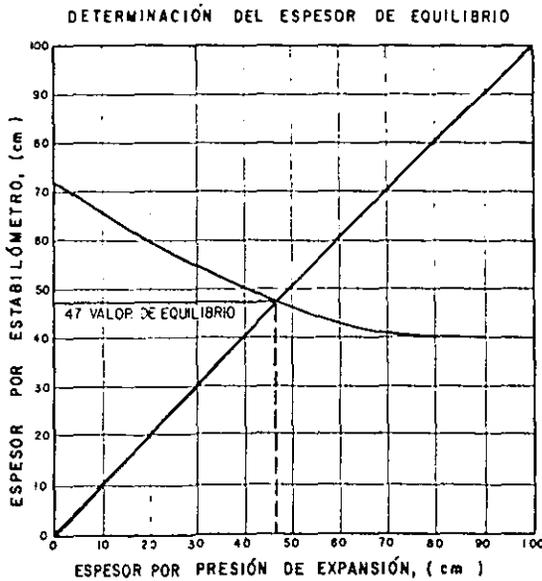
METODO DE CALIFORNIA

Deberán de elaborarse tres especímenes con los procedimientos de amasado, con tres contenidos de agua diferentes, que hagan que dos de ellos tengan una presión de exudación por debajo de 21kg/cm², en tanto que el tercero la tenga mayor y los otros dos menor; la presión de exudación de los tres especímenes deberá estar comprendida entre 7 y 56 kg/cm² excepto en aquellos casos en que se esperen presiones de expansión muy altas, en que puede ser necesario trabajar con algún espécimen casi seco para llegar a presiones de expansión suficientemente bajas

Los mismos especímenes deberán ser colocados en el estabilómetro de Hveem, para obtener su valor de R. Como consecuencia de las manipulaciones anteriores, para cada humedad de moldeo se tiene un espécimen del que se conoce la presión de exudación.

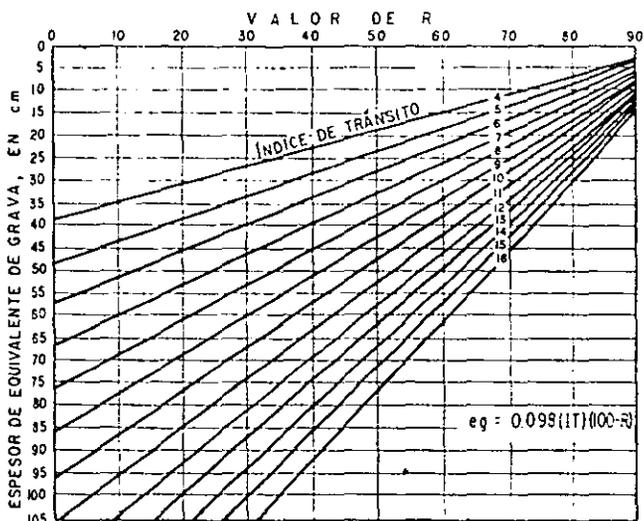
Aplicando la expresión $R = \frac{E}{P}$ podrá calcularse el espesor de pavimento por expansión para las condiciones representadas para cada uno de los especímenes. Aplicando la fórmula $E = R \cdot P$ previamente calculando el índice de tránsito, será posible conocer el espesor de cubrimiento necesario en cada caso atendiendo la condición de estabilidad.

Los espesores de cubrimiento requeridos por expansión y por estabilidad; en donde la intersección de esta gráfica (fig. IX - 29 a) con la recta a 45° marca el espesor que satisface a la vez ambas condiciones.



En la parte b de la fig. IX – 29 están los valores de R contra las correspondientes presiones de exudación. Teniendo en cuenta que la presión máxima permisible es de 300lb/plg2.

El nomograma de la fig.IX – 30 servirá para él calculo previamente elaborado que proporcione el espesor por estabilidad.



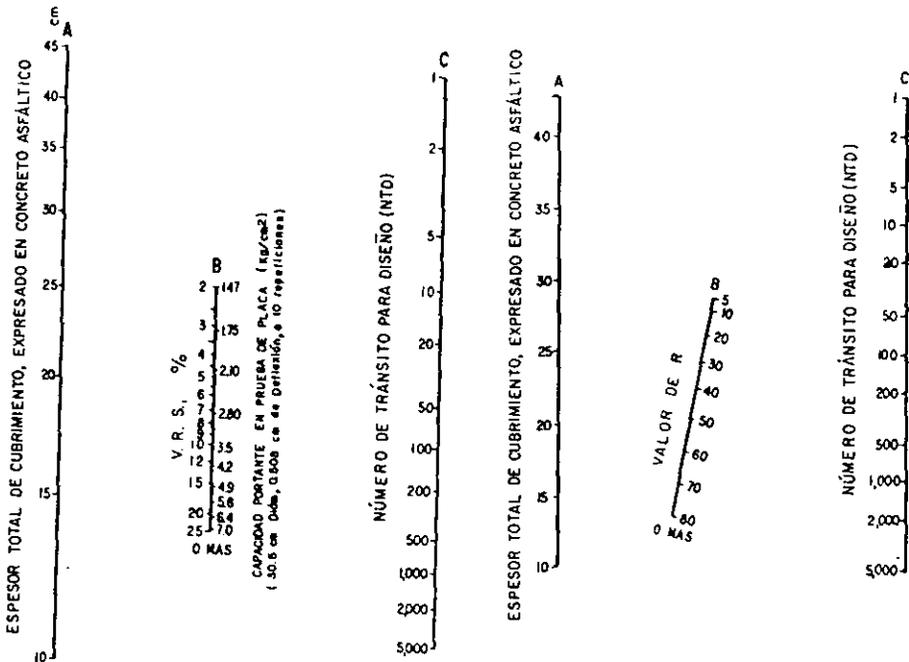
CRITERIOS DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO

Consiste en determinar el espesor de la estructura del pavimento de acuerdo con una particular manera de estimar el volumen de transito a prever, con algún parámetro que representa la resistencia y deformabilidad del material de apoyo o de terracería, la calidad general de los materiales disponibles y procedimientos previstos para la construcción.

El tránsito previsto se refiere al denominado Numero de Tránsito para Diseño que es el promedio diario de cargas equivalentes de 8.2 ton. dispuestas en un eje sencillo que se esperan durante el periodo de diseño de la obra normalmente fijado en 20 años por el propio instituto del asfalto.

Las propiedades mecánicas básicas del material de terracería, capa subrasante, su-base y base se establecen por medio de las pruebas usuales en la tecnología actual de los pavimentos.

Una vez que se ha determinado el valor o valores índice de la resistencia del material y el N.T.D. aplicable al caso, el espesor necesario de cubrimiento se obtiene de los nomogramas de las figs. IX -31 y IX - 32 elaborados con base en la experiencia de la institución que los propone.



El Instituto del asfalto da el espesor necesario de cubrimiento sobre un material determinado en términos de un espesor de concreto asfáltico, el cual puede traducirse en diversas alternativas de estructuración a base de las capas usuales, empleando los factores de equivalencia.

El método por el cual puede llegarse al valor del número de tránsito de diseño que se requiere para la aplicación de los nomogramas del instituto del asfalto deberá comenzarse por establecer con base en estudios previos de tránsito, económicos, sociales, etc., el número diario medio de vehículos que sean de esperar en el camino durante el primer año de su operación.

Con base en datos de aforos y clasificación del tránsito válido al caso, ha de determinarse también el porcentaje de vehículos pesados que existirá en ese primer año, llegando incluso a definir cuanto de ese porcentaje corresponde al carril de diseño.

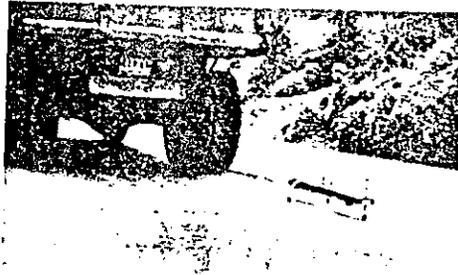
Para la vida del pavimento considerada que será usualmente de veinte años si se siguen las recomendaciones generales del instituto deberá estimarse la tasa de crecimiento anual de tránsito a partir de los valores iniciales para ello deberán manejarse los correspondientes estudios de planeación y estadística.

Naturalmente que el espesor de concreto asfáltico tiene en general que ser convertido en una estructuración más convencional. De hecho esta sustitución puede hacerse con una infinita variedad de combinaciones que permiten el análisis del suficiente número de alternativas prácticas como para poder llegar a un diseño realista, que tome en cuenta la disponibilidad regional de materiales, sus características y tratamientos necesarios, acarreos, etc.

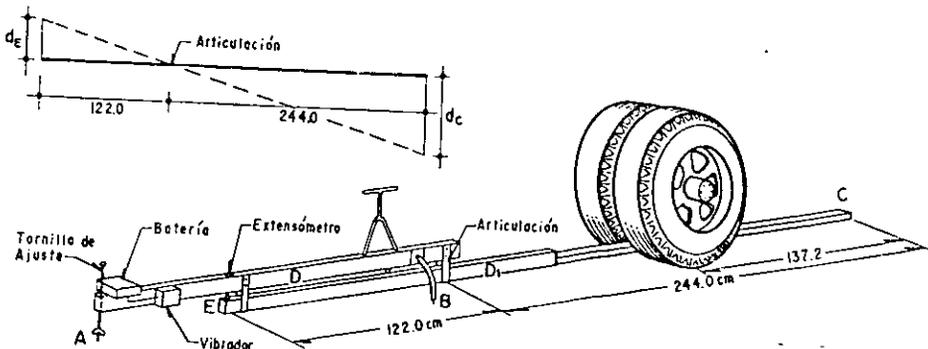
Las rehabilitaciones por incremento normal del tránsito suelen resolverse con el empleo de sobrecarpetas, en tanto que las reconstrucciones serán necesarias en pavimentos que muestran indicios de falla, consistentes en la aparición de deformaciones excesivas o en niveles muy elevados de deflexión, detectada con los instrumentos de que hoy se dispone.

a) Condición estructural, este concepto se refiere a la capacidad del pavimento para soportar las cargas de tránsito en la actualidad y seguirlo haciendo en el futuro próximo, Las deflexiones de un pavimento flexible bajo una carga estática pueden ser determinados con equipos tales como la viga de Benkelman.

La viga Benkelman se muestra esquemáticamente en la fig. IX -35.



Operación con viga Benkelman.



b) Costo, se refiere no solo a la erogación necesaria para pagar la rehabilitación, sino también a los costos de conservación y de operación a que se llegue.

Una vez que han sido analizados los factores y que se ha determinado que el refuerzo del pavimento es la medida de rehabilitación más adecuada, se requiere cuantificar la magnitud de dicho refuerzo, establecer las normas y especificaciones a que deberá sujetarse su construcción y señalar la necesidad, si existe, de obras de drenaje o subdrenaje y de todas aquellas que aseguren al máximo el comportamiento satisfactorio del pavimento.

Para lo anterior se efectuaron trabajos de exploración de campo, así como los respectivos trabajos de laboratorio con lo cual fue posible elaborar el diseño del pavimento, estos trabajos se describen en el presente informe, el cual se desarrolla de la siguiente manera:

En el inciso 2 se describen las características de la zona donde se ubica el proyecto como son la topografía, la geología, el clima y drenaje.

El inciso 3 corresponde al estudio geotécnico del camino, donde se incluye una descripción de los trabajos de campo y de laboratorio, así como la interpretación de los resultados obtenidos. Basándose en los datos con los que se cuenta del sitio de interés se establecen algunos bancos que servirán para suministrar los materiales de la estructura del pavimento en proyecto.

En el capítulo 5 se presentan las características estratigráficas y físicas del sitio de interés que se tomaron en cuenta para el diseño de los pavimentos.

En el capítulo 6 se menciona el procedimiento empleado para obtener los datos de volumen de tránsito, se indican las características geométricas, así como las características del material de la capa subrasante, se describen los métodos utilizados para el cálculo de los espesores de la estructura del pavimento, tomando en cuenta los resultados de la exploración de campo y laboratorio.

En el Anexo II se presentan los resultados de las pruebas de laboratorio, realizadas en las muestras de los pozos a cielo abierto excavados en el sitio de interés.

En el Anexo III se describen los procedimientos generales de construcción de las diferentes capas de la estructura del pavimento y se incluyen las normas de calidad y pruebas de control de calidad así como las tolerancias para su construcción.

En el Anexo IV se presenta un reporte fotográfico de los pozos a cielo abierto excavados, del sitio de interés y de las condiciones generales que se tienen en el área de estudio.

En el Anexo V se muestran las características de los bancos que se tienen actualmente cercanos al sitio de interés.

En el Anexo VI se presentan los resultados de los aforos vehiculares realizados, desglosando los volúmenes de vehículos ligeros, pesados y su total.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DONDE SE DESARROLLARA EL PROYECTO.

TOPOGRAFÍA

La zona sobre la que se construirá la vialidad es sensiblemente plana, y de acuerdo a los datos obtenidos en el sitio de interés se tenía un arroyo con características muy desfavorables en gran parte por la falta de mantenimiento.

GEOLOGÍA REGIONAL

El predio en estudio se encuentra en la zona denominada negra y vidrio volcánico. El sitio de interés se encuentre entre la Sierra de Guadalupe y el Cerro de Chiconautla, muy cercano a la falda noreste de la Sierra de Guadalupe, por lo que es posible encontrar suelos aluviales subyaciendo a los depósitos arcillosos de origen lacustre.

GEOLOGÍA LOCAL

El predio de interés se localiza al poniente del Gran Canal, vecino al Lago de Texcoco, en el que se encuentran superficialmente depósitos de tipo lacustre, subyaciendo a estos se tienen depósitos aluvio-lacustres y posteriormente los materiales de la formación Tarango. La zona se localiza en la parte norte de la cuenca de México y esta caracterizada por depósitos aluviales (Qal), producidos en la Era Cenozoica y en el período Cuaternario, originándose estos al cerrarse el desagüe sur de la región por erupciones volcánicas.

CLIMA

La altitud media de la zona es de 2,500 m, y presenta una topografía sencillamente plana, con un clima templado regular con lluvias convencionales en verano y parte del otoño, con una precipitación media anual de 300 a 1,200 mm. y una temperatura media anual de 17 °C.

DRENAJE

El predio en proyecto se encuentra ubicado en una zona donde el drenaje natural de las aguas de lluvia tienen una salida hacia donde el terreno que tiene un desnivel bajo, por tal motivo será necesario establecer algunas obras menores y complementarias de drenaje, de la cual dependerá en gran parte el comportamiento de las distintas capas que formarán la estructura del pavimento.

3. EXPLORACION Y MUESTREO DEL SUBSUELO

TRABAJOS DE CAMPO

Para conocer las características de los depósitos superficiales así como de la subrasante se efectuó la exploración de los materiales de la parte superficial del subsuelo, para lo cual se excavaron 4 pozos a cielo abierto a 1.5 m de profundidad con respecto al nivel actual del terreno, repartidos en toda la longitud del tramo en estudio, su ubicación se muestra en la figura 2 y en el Anexo 1 se muestran los perfiles de los pozos a cielo abierto excavados.

En los pozos excavados se procedió a efectuar el levantamiento de la clasificación visual y manual de todos los materiales encontrados mediante técnicas de campo, posteriormente, se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas (cúbicas) de cada uno de ellos, para posteriormente analizarlas en el laboratorio y definir su aptitud para ser usadas en la construcción de las terracerías y capa subrasante de apoyo de las capas del pavimento.

Para localizar préstamos de materiales para las capas de la estructura de pavimento, se tomo en cuenta la información de las zonas cercanas a la de interés, localizándose 3 bancos actualmente en explotación con características adecuadas, para formar las diferentes capas de la sección estructural del pavimento.

Con el fin de conocer las condiciones actuales de la estructura de los pavimentos y poder juzgar su capacidad operativa tomando en cuenta la ampliación de esta vialidad, se llevo a cabo una evaluación física de la superficie actual de ellos, estableciéndose posteriormente en forma estratégica la ubicación de 4 sondeos superficiales, localizados con separaciones de 500 m. aproximadamente entre cada uno.

Los sondeos se efectuaron mediante pozos a cielo abierto excavados en forma manual con pico, pala, marro y barreta, alcanzando una profundidad promedio de 1.50 m. desde la superficie actual. obteniéndose muestras inalteradas y alteradas representativas de cada una de las capas que conforman la estructura de los pavimentos y del terreno natural.

En el campo se efectuó la clasificación visual y al tacto de cada uno de los estratos, mediante técnicas de campo como son: dilatación, tenacidad y resistencia, midiéndose simultáneamente los espesores de carpeta asfáltica, base y subrasante.

En cada una de las capas se determinaron las condiciones actuales en que se encuentran los diversos elementos estructurales de los pavimentos existentes y de las áreas laterales de los mismos.

Finalmente se efectuó una inspección y muestreo a los bancos de materiales existentes, cercanos a la zona de estudio, encaminados a la obtención de materiales de base y carpeta principalmente y que en la actualidad se encuentren en explotación y cuenten con equipo de procesamiento.

Todas las muestras obtenidas se identificaron, clasificaron y empaquetaron adecuadamente para su envío al laboratorio para su análisis respectivo.

En los sondeos realizados no se encontró el nivel freático, de acuerdo a datos obtenidos del sitio de interés se encuentra a 4.5 m de profundidad.

En figura 2 se presenta la ubicación de los sondeos efectuados y en la figura 4 se muestra la estructura actual de los pavimentos, ilustrándose en el anexo fotográfico los trabajos de campo llevados a cabo.

4. PRUEBAS DE LABORATORIO

ANÁLISIS DE LOS MATERIALES NATURALES

Para poder obtener toda la información relativa a la calidad y resistencia de los materiales del subsuelo natural como componente de las terracerías y capa subrasante, se analizaron en el laboratorio todas las muestras alteradas de los pozos de exploración; con estas muestras se efectuaron los ensayos para determinar:

- Límite de consistencia (L.L., L.P. e I.P.)
- Determinación del porcentaje de finos.
- Contracción lineal de los materiales.
- Próctor Estándar
- Valor relativo de soporte estándar (VRS).

Todas las muestras obtenidas se clasificaron en forma visual y al tacto, en estado húmedo y seco mediante pruebas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); se determinó también su contenido natural de agua. En el Anexo II se presentan estos resultados.

En los estratos representativos se hicieron límites de consistencia o se determinó el porcentaje de finos, según se tratara de suelos finos o gruesos; se obtuvieron en ambos la densidad de sólidos. En el Anexo II se presentan los resultados de las pruebas para determinar los límites de consistencia, de porcentajes de finos y de densidad de sólidos.

Para conocer los parámetros de resistencia del suelo, se efectuaron en muestras inalteradas ensayos de compresión axial no confinada. En el Anexo II se presentan los registros de laboratorio y las gráficas de esfuerzo-deformación unitaria de las pruebas de compresión no confinada realizadas.

Los perfiles estratigráficos y los resultados de las pruebas realizadas en las muestras de los pozos a cielo abierto excavados, se muestran en el Anexo II.

Los resultados de las pruebas de compactación proctor estándar se presentan en el Anexo II.

Los resultados de las pruebas para determinar el valor relativo de soporte (CBR), en muestras inalteradas con condiciones de humedad natural y en condiciones saturadas, se presentan en el Anexo II.

En el Anexo IV se presenta un reporte fotográfico de los perfiles de los pozos a cielo abierto excavados y de las condiciones actuales de la vialidad existente.

Las pruebas en el laboratorio se enfocaron a conocer la calidad y resistencia de las capas de base, subrasante y terreno natural; así como la calidad de los materiales de bancos para su utilización. Las pruebas se apegaron a las normas de ensayos estandarizadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Las pruebas se dividen según su requerimiento en:

PRUEBAS ÍNDICE Y PRUEBAS DE RESISTENCIA

- Clasificación visual y al tacto en húmedo y en seco.
- Valor relativo de soporte estándar, saturado.
- Contenido natural de agua.
- Valor relativo de soporte modificados al 90, 95%
- Límites de plasticidad.
- Valor relativo de soporte % compactación.
- Contracción lineal.

- Peso volumétrico seco máximo Proctor.
- Análisis granulométrico.
- Peso volumétrico seco máximo Porter.
- Densidad de sólidos.
- Expansión.
- Peso volumétrico natural.
- Peso volumétrico suelto.
- Equivalente de arena.
- Absorción.
- Humedad óptima.
- Valor cementante.

Todas las muestras obtenidas se clasificaron en forma visual y al tacto, en estado húmedo y seco mediante pruebas del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); se determinó también su contenido natural de agua. En el Anexo II se presentan los registros de laboratorio con los resultados de estos trabajos.

En los estratos representativos se hicieron límites de consistencia o se determinó el porcentaje de finos, según se tratara de suelos finos o gruesos; se obtuvieron en ambos la densidad de sólidos. En el Anexo II se presentan los resultados de las pruebas para determinar los límites de consistencia, de porcentajes de finos y de densidad de sólidos.

Los perfiles estratigráficos y los resultados de las pruebas realizadas en las muestras de los pozos a cielo abierto excavados, se muestran en el Anexo II.

Los resultados de las pruebas de compactación proctor estándar se presentan en el Anexo II.

Los resultados de las pruebas para determinar el valor relativo de soporte (CBR), en muestras inalteradas con condiciones de humedad natural y en condiciones saturadas, se presentan en el Anexo II.

En el Anexo II se presentan el resumen de las pruebas de laboratorio efectuadas en los materiales de los sondeos y en el Anexo V las de los bancos.

ESTUDIO DE MATERIALES DE BANCOS DE PRÉSTAMO

De acuerdo a la información que se tienen de tres bancos de materiales que actualmente se encuentran en proceso de explotación y que se encuentran en sitios relativamente cercanos al sitio de interés a continuación se describe las características de cada uno de ellos.

Estos bancos se localizaron con el propósito de utilizar el material en la construcción de las diferentes capas que conformaran los pavimentos de la vialidad requerida. Los bancos se denominaron "San Pedro", "Cervantes" y "Totolcingo".

El banco "San Pedro" se ubica a 9 Km de distancia del lugar analizado, muy próximo a la termoeléctrica localizada en la autopista a las Pirámides, como se indica en el anexo V. El material que conforma al banco es una toba limosa café cuyo producto disgregado es de baja plasticidad (ML), las propiedades de este material se analizaron por un laboratorio y se describen en el anexo V.

De acuerdo a los resultados presentados, las características del material del banco "San Pedro" cumplen con las especificaciones de calidad como material de subrasante (ver anexo III) con un límite líquido menor del 50% y un valor relativo de soporte mayor del 10% cuando es compactado con un valor igual o mayor al 95% de su peso volumétrico seco máximo.

El banco "Cervantes" se localiza aproximadamente a 12.5 Km de distancia del sitio de interés, sobre la Vía José López Portillo, casi en la intersección con la carretera Coacalco-Tultepec como se muestra en el anexo V. El material de este banco es una toba arenolimsa. En el anexo V se describen las propiedades del material disgregado de este banco.

Los materiales de los bancos "Cervantes" y "San Pedro" son adecuados para formar la capa subrasante del pavimento, siempre y cuando éstos sean compactados al menos al 95% de su peso volumétrico seco máximo.

Finalmente el banco "Totolcingo" se localiza a 13.5 Km de distancia del sitio de interés muy cercano al banco "San Pedro" como se muestra en el anexo V. Está formado por una grava mal graduada con arena y escasos finos no plásticos. En el anexo V se resumen las propiedades del material disgregado determinados en el laboratorio.

Considerando las características del banco "Totolcingo" este se puede utilizar como base y sub-base del pavimento, según las normas de control de calidad que se muestra en el anexo III.

5. CARACTERÍSTICAS ESTRATIGRÁFICAS Y FÍSICAS DEL SUBSUELO

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS.

De acuerdo a la zonificación del subsuelo del Valle de México y en función de la exploración realizada, el predio de interés se encuentra en la zona II denominada de Transición, excepto la zona final que de acuerdo a la exploración realizada se encuentra en la frontera de la zona de Lago y la de Transición.

El predio de interés se ubica en la frontera entre la zona de transición y la de Lago, y se localiza entre la Sierra de Guadalupe y el Lago de Texcoco y en general el sitio estudiado se encuentra en zona de transición de acuerdo a la exploración realizada, y en forma general presenta la siguiente secuencia estratigráfica:

- Entre la superficie y 3 m de profundidad, se encuentran arcilla limosa orgánica con gran cantidad de huecos dejados por raíces fósiles degradadas, y limo arcillo arenoso con raíces, grumosos y fisurados (zona suroriente del predio), con contenido de agua medio de 40 %, de consistencia media a blanda.

-A continuación con espesor medio de 4 m se tiene arcilla de alta plasticidad, con contenido de agua medio de 240 %, de consistencia blanda.

- Subyaciendo a los materiales arenosos, con espesor medio de 1.5 m se tiene arcilla de alta plasticidad, poco limosa, con contenido de agua medio de 200 % y consistencia blanda.

- Enseguida con espesor medio de 1.5 m se tienen capas interestratificadas de arcillas limosas poco arenosas y limos poco arenosos, con contenido de agua medio de 45 % y compacidad media.

- Enseguida con espesor del orden de 0.5 m se encuentra una capa de arena fina, uniforme, poco limosa, negra, con contenido de agua medio de 50%, de compacidad media, detectada únicamente en sondeo SM-1.

- Finalmente hasta la máxima profundidad explorada se encuentra una capa de 4 m de espesor de arcilla alta plasticidad, con contenido de agua medio de 150 % y consistencia blanda a media.

A continuación se presenta la descripción estratigráfica detallada encontrada de uno de los sondeos realizados en sitio de interés para conocer las características de los depósitos profundos:

SONDEO MIXTO SM - 1

Profundidad	Descripción
(m)	
0.00 -0.40	Materiales de relleno constituidos por basura, capa de suelo vegetal, en ocasiones contaminado con azufre y empacados en una matriz areno -arcillosa café y gris de color verdoso, en estado suelto.

0.40 -1.50

Arcilla poco limosa con poca arena fina, de color gris oscuro, con

contenido de agua medio de 50%, medianamente compacto, índice medio de resistencia a la penetración estándar (IRPE) de 30 golpes.

1.50 -3.00

Arcilla limosa con escasa arena, de color gris claro y verdoso. con contenido de agua medio de 125%, de consistencia variable entre blanda y media, índice medio de resistencia a la penetración estándar (IRPE) de 23 golpes; de limite liquido igual 82% y limite plástico de 27%; constituido granulométricamente por 4% de arenas y 96% de finos; de acuerdo al SUCS pertenece al grupo CH; con cohesión media de 2.5 ton/m² y peso volumétrico de 1.45 ton/m³, determinado en pruebas triaxiales rápidas UU no consolidada - no drenada; densidad de sólidos medio de 2.50.

3.00 - 4.50

Arcilla con escasa arena fina, gris verdoso claro, con contenido de agua medio de 250%, IRPE de 6 golpes y consistencia blanda. Presenta las siguientes características:

- límite líquido de 318%
- límite plástico de 174%
- pertenece al grupo OH-MH según el SUCS
- cohesión de 1.7 ton/m² determinados en prueba de compresión triaxial no consolidada no drenada.
- peso volumétrico natural de 1.22 ton/m³.

4.50 - 5.00

Arcilla con escasa arena fina, gris verdoso claro, con contenido de agua medio de 170%, de consistencia blanda, índice medio de resistencia a la penetración estándar (IRPE) de 6 golpes; de acuerdo al SUCS pertenece al grupo CH, densidad de sólidos igual a 2.43.

5.00 - 7.00

Arcilla con escasa arena fina gris verdoso, con contenido de agua variable entre 200 y 367%, IRPE de 11 golpes y consistencia media.

Presenta las siguientes características:

- 4% de arena
- 96% de material fino
- límite líquido de 418%
- límite plástico de 54%

- pertenece al grupo CH según el SUCS.
- Cohesión de 2.2 ton/m², determinados en prueba de compresión triaxial no consolidada no drenada.
- Peso volumétrico natural de 1.15 ton/m³.

7.00 - 8.00

Arcilla poco limosa y limo poco arcilloso con escasa arena gris verdoso y oscuro. con contenido de agua medio de 60%. de consistencia muy blanda, índice medio de resistencia a la penetración estándar (IRPE) de 15 golpes; de acuerdo al SUCS pertenece al grupo CH; densidad de sólidos medio de 2.46.

8.00 - 9.00

Arcilla con escasa arena, gris verdoso. con contenido de agua medio de 220%, IRPE de 7 golpes y consistencia blanda, pertenece al grupo CH según el SUCS

9.00 - 10.50

Arcilla poco limosa con escasa arena fina, café claro y gris verdoso, con contenido de agua medio de 120%, IRPE de 12 golpes y consistencia variable entre media y blanda. Presenta las siguientes características:

- límite líquido de 66%

- límite plástico de 22%
- pertenece al grupo CH según el SUCS
- con resistencia al esfuerzo cortante de 2 ton/m², determinada en prueba de
- compresión axial no confinada, peso volumétrico natural de 1.25 ton/m³.

10.50 - 14.50

Arcilla con escasa arena fina poco limosa en su parte superior, de color café claro y gris verdoso, con contenido de agua medio de 150%, IRPE de 17 golpe y consistencia variable entre media y blanda. Presenta las siguientes características:

- límite líquido de 202%
- límite plástico de 110%
- pertenece al grupo OH-MH según el SUCS

El nivel de aguas freáticas se detectó en la fecha en que se realizó la exploración a 4.5m de profundidad y de información de la comisión de Aguas del Valle de México se sabe que a 17m de profundidad se detiene un abatimiento piezométrico de 12 ton/m²

En general las características estratigráficas de los materiales del subsuelo, en cada uno de los pozos a cielo abierto excavados, definidas mediante los trabajos de exploración realizados, presentan la siguiente secuencia:

POZO A CIELO ABIERTO PCA - 1

Profundidad	Descripción
(m)	
0.00 - 1.00	Capa vegetal, constituida por una arcilla arenosa con raíces. Material de relleno constituido por arcilla empacada en arena, en estado suelto, con basura y bastantes raíces fósiles degradables.
1.00 - 1.50	Correspondiente a los materiales de cimentación del pavimento, o subrasante, se tiene un limo arenoso poco arcilloso, café oscuro, con algunas raicillas, con contenido de agua medio de 57%, de consistencia media, con límite líquido de 88%, límite plástico de 50%; una distribución granulométrica de 17% de arena y 83% de finos, del grupo OH - MH según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), con resistencia en compresión axial no confinada de 19.7 ton/m ² , peso volumétrico natural de 1.38 ton/m ³ y densidad de sólidos de 2.37; de peso volumétrico seco de 0.94 ton/m ³ y contenido de agua óptimo de 61%, determinados en prueba proctor estándar. Con valor relativo de soporte (CBR) en

muestras inalteradas, en estado natural de 20.7% y saturado de 14.3%.

POZO A CIELO ABIERTO PCA - 2

Profundidad (m)	Descripción
0.0 - 0.85	Capa vegetal. Material de relleno constituido por arcilla empacadas en arena, en estado suelto, con basura y bastantes raíces fósiles degradables.
0.85 - 1.50	Se tiene un limo arenoso poco arcilloso, café oscuro, con algunas raicillas, con contenido de agua medio de 41%, de consistencia media, con límite de 64%, plástico de 19%; una distribución granulométrica de 6% de arena y 94% de finos, del grupo CH según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), peso volumétrico natural de 1.3 ton/m ³ y peso volumétrico seco de 0.92 ton/m ³ y contenido de agua óptimo de 41%. Con valor relativo de soporte (CBR), en muestras inalteradas, en estado natural de 8.9 % y saturado de 5.1 %

POZO A CIELO ABIERTO PCA - 3

Profundidad	Descripción
(m)	
0.0- 0.65	Capa vegetal constituida por una arcilla arenosa con raíces. Material de relleno constituido por arcilla empacada en arena, en estado suelto, con basura y bastantes raíces fósiles desagradables.
0.65 - 1.50	Correspondiente a los materiales de cimentación del pavimento, o subrasante, se tiene un limo arenoso poco arcilloso, café oscuro, con algunas raicillas, con contenido de agua medio de 26%, de consistencia media, con límite líquido de 52%, plástico de 31%. una distribución granulométricas de 65% de arena y 35% de finos, del grupo OH - CH según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), peso volumétrico natural de 1.46 ton/m ³ y peso volumétrico seco de 1.16 ton/m ³ y humedad óptima de 26%. Con valor relativo de soporte (CBR), en muestras inalteradas, en estado natural de 5.7 % y saturado de 2.3 %.

POZO A CIELO ABIERTO PCA - 4

0.00 – 0.90

Descripción

Capa vegetal constituida por una arcilla arenosa con raíces. Material de relleno constituido por arcilla empacada en arena, en estado suelto, con basura y bastantes raíces fósiles degradables.

0.90 - 1.50

Limo arenoso poco arcilloso, café oscuro, con algunas raicillas, con contenido de agua medio de 37%, de consistencia media, con límite líquido de 72%, plástico de 40%; una distribución granulométrica de 2% de arena y 98% de finos, del grupo OH - MH según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); de peso volumétrico natural de 1.26 ton/m³ y contenido de agua óptimo de 37%, determinados en prueba proctor estándar. Con valor relativo de soporte (CBR), en muestras inalteradas, en estado natural de 11.1% y saturado de 5.2%.

De acuerdo al estado de esfuerzos del subsuelo en el sitio de interés se concluye que el depósito arcilloso localizado entre la superficie y 3.0 m se encuentra preconsolidado por desecación con un esfuerzo de preconsolidación mayor promedio en 8 ton/m² al esfuerzo efectivo actual, en su parte superior; y de 4.0 ton/m², en su parte inferior; y a partir de dicha profundidad, y hasta 14 m

tienen una diferencia entre los esfuerzos efectivos actuales de la estructura de los depósitos arcillosos y el esfuerzo de preconsolidación, variable entre 3.5 y 1.5 ton/m², decrecentándose con la profundidad.

De acuerdo a las características estratigráficas de los depósitos del subsuelo y a la zonificación geotécnica de la Ciudad de México el predio de interés se encuentra en la zona II (zona de Transición), excepto en la zona sur-oriente donde se encuentra una zona de frontera entre la de transición y de la de Lago de acuerdo a la exploración realizada.

Con base en los sondeos realizados y al resultado de las pruebas de laboratorio es posible establecer en forma general que la estratigrafía superficial existente está conformada por una carpeta asfáltica en mal estado que fue recientemente reencarpetada, la que se apoya en una capa de base hidráulica formada por gravas con arena arcillo limosa café, la que a su vez descansa sobre una capa subrasante de arena limo arcillosa café con gravas y en algunas zonas y subyaciendo a la estructura del pavimento se detectan suelos areno arcillo limosos café obscuro, de consistencia media. Hacia las partes laterales del arroyo existente se tienen materiales de mala calidad constituidos por basura con espesor medio de 90 cm. Subyaciendo a estos se tienen materiales arena arcillo limosos café claro, de consistencia media.

En el Anexo II se presentan los perfiles estratigráficos de cada uno de los sondeos y se incluyen a demás datos geotécnicos generales en que se indican las características que se tomaron en cuenta para el estudio.

6. ANALISIS DE LOS PAVIMENTOS

Con el objeto de conocer las características y condiciones actuales que presentan los pavimentos y las áreas laterales a la vialidad existente se realizó una evaluación física, mediante un recorrido en toda la longitud de la vialidad para basándose en ello calificar los diferentes tipos de fallas existentes.

En el anexo IV fotográfico se muestra algunos deterioros que se manifiestan, sobre las superficies de rodamiento. Esta parte del estudio consistió en evaluar el tipo, extensión y severidad de los daños y en función de ellos dar las recomendaciones necesarias. El informe fotográfico que se muestra en el anexo IV complementa esta parte del estudio.

6.1 DETERIOROS TIPICOS Y CAUSAS DE FALLA.

Enseguida se hace una breve descripción de los daños más importantes que se observaron antes del reencarpetado, dado que en el comportamiento del pavimento a futuro se verá reflejado.

AGRIETAMIENTOS.

Antes de los trabajos de reencarpetado se tenía el conocimiento de agrietamientos menores en forma de mapa y piel de cocodrilo en toda la longitud de la vialidad existente, predominando en las roderas centrales de ambos carriles, llegando a tener aberturas de varios centímetros calificándolas como severas las cuales fueron ocultadas por los trabajos de reencarpetamiento reciente, lo cual dificulta la observación directa, con excepción de pequeños tramos en los cuales los daños son menores y moderados.

Las causas principales y probables de estos deterioros posiblemente sean por una deficiente compactación de la capa subrasante, falta de estructura del pavimento, deficiente drenaje e inadecuado mantenimiento.

Las causas principales estimadas son por falta de capacidad estructural, deficiente drenaje y mantenimiento.

DEFORMACIONES

Estos deterioros se manifiestan como depresiones y es difícil estimarles actualmente por el bacheo intenso en varias zonas, pero se consideran que existen principalmente en las partes laterales y son causados por falta de compactación en la capa subrasante y falta de estabilidad en la carpeta.

En toda la longitud de la vialidad se observa en forma visual las deformaciones existentes que aunque se haya colocado el reencarpetado prevalecen, lo anterior es debido a la falta de capacidad estructural en la mayoría de la longitud de la vialidad existente, como se observa en el reporte fotográfico. En el caso de no rehabilitar en forma adecuada estas deformaciones se tendrán un número de accidentes importante es ésta.

DESPRENDIMIENTO DE PARTÍCULAS.

Este tipo de daños se pueden identificar como desprendimientos locales y generales.

La causa de estos daños se deben a la segregación de la carpeta asfáltica por el tránsito de las cargas y a intemperismo por bombeo por falta de drenaje superficial eficiente. No se ha observado, pero no debe descartarse la aparición de estos a mediano plazo.

BACHEO.

De acuerdo a observaciones hechas antes del reencarpetado se observo que los pavimentos han tenido un intenso bacheo superficial, en casi toda su longitud, canalizándose principalmente al centro de las áreas pavimentadas, lo cual es un indicio de la falta de estructura ante el incremento de las cargas.

Se estima que muchos de estos baches se han presentado en forma repetitiva en los mismos sitios y se pueden catalogar de moderados.

TRABAJOS DE CONSERVACIÓN.

En general los trabajos de conservación han sido de poca calidad y han consistido fundamentalmente en parchar baches y aplicar riegos de alivio, aunque últimamente se determinó la necesidad de colocar una sobre carpeta asfáltica de aproximadamente 9 cm.

El drenaje superficial y longitudinal se encontró deficiente y con mal mantenimiento, lo cual agrava aun más el deterioro de los pavimentos.

6.2 ESTRUCTURACION ACTUAL DE LOS PAVIMENTOS.

Con el objeto de aplicar el criterio propuesto por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, durante el estudio de campo, se llevó a cabo la exploración directa de los pavimentos, para conocer su estructuración real y verificar el nivel de calidad de los materiales que los forman y de los esperados en su ampliación.

Con base en los resultados de campo y laboratorio, se pueden hacer los siguientes comentarios:

TERRENO NATURAL.

En General el terreno natural por debajo del cuerpo del pavimento existente y en la ampliación proyectada de la vialidad está constituido por limos arenosos poco arcillosos con gravas aisladas, de color café oscuro, de compresibilidad media y no expansivos (SC, SM), con excepción de la parte superior de la ampliación donde se tienen espesores de materiales de relleno de mala calidad constituido por basura empacados en una matriz limo arcillo arenosa en estado suelto, con un espesor medio de 90 cm.

En general se tiene un limo arenoso poco arcilloso, café oscuro, con algunas raicillas, con contenido de agua medio de 57 %, de consistencia media, con límite líquido de 88 %, límite plástico de 50 %; una distribución granulométrica de 17 % de arena y 83 % de finos, del grupo OH - MH según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), con resistencia en compresión axial no confinada de 19,7 ton/m², peso, volumétrico natural de 11.38 ton/m³ y densidad de sólidos de 2.37; De peso volumétrico seco de 0.94 ton, /m³ y contenido de agua óptimo de 61 %, determinados en prueba proctor estándar. Con valor relativo de soporte (cbr) en muestras inalteradas, en estándar. Con valor relativo de soporte estado natural de 9.4 % y saturado de 5.3 %.

Los parámetros de resistencia medidos en las pruebas de valor relativo de soporte (VRS) aplicados a muestras representativas del terreno natural, en condiciones saturadas y reproducidas al porcentaje de compactación obtenido en el campo, dan valores comprendidos entre 6.3% y 3.2%.

Por lo anterior se juzga adecuado utilizar para diseño un VRS de 5.3%, en el suelo de cimentación.

CAPA SUBRASANTE

La capa subrasante esta constituida por arenas limo arcillosas, con gravas aisladas, color café, con espesores mayores a 40 cm. El porcentaje de compactación varia de 85 a 95 % predominando valores del orden de 90% (mal); los finos son de baja plasticidad, variando el límite líquido entre 32 y 49% y el índice plástico entre 1 0 y 23%, con contracciones lineales entre 4 y 8 (un poco altas). Los suelos no presentan características expansivas y la curva granulométrica se aloja en general entre la zona 1 y 3 ver anexo III.

Los parámetros de resistencia medidos en las pruebas de valor relativo de soporte (VRS) aplicados a muestras representativas, en condiciones saturadas y reproducidas al porcentaje de compactación en el campo, dan

valores entre el 9 y 19% (bajos menores a 30%), mas sin embargo bien compactados (95%) los VRS dan valores entre 25 y 90% los que si son aceptables.

TRABAJOS DE GABINETE

La información de la magnitud de las deflexiones obtenidas con la viga Benkelman, se analiza y se procesa estadísticamente para obtener los valores de deflexión promedio, desviación estándar, varianza, deflexión al 80 porciento y deflexión estándar.

La deflexión crítica característica, es la que resulta mayor entre la deflexión estándar y la correspondiente al 80 porciento, y es el valor que se debe considerar para calificar el grado de fatiga de la estructura del pavimento.

Las deflexiones mayores de 20×10^3 pulgadas en pavimentos flexibles marcan notoriamente el estado precario de un pavimento, a partir del cual la aparición de daños se acelera notablemente, por lo cual es urgente su rehabilitación o reconstrucción.

ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS PARA REHABILITACION.

Para el análisis y evaluación de los pavimentos existentes se tomaron en consideración los siguientes aspectos:

- Medición de espesores y grado de compactación de cada una de las capas de la estructura de los pavimentos.
- Características físicas y mecánicas de los materiales, obtenidas en el laboratorio.
- Evaluación física de la superficie de los pavimentos.
- Medición de deflexiones con viga Benkelman.

- Características del tránsito, en base a un aforo proporcionado por la AIASA S.A DE C.V.

A continuación se presentan los criterios y consideraciones adoptados en el diseño:

- Método del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

- Nivel de confianza = 0.9
- Nivel de rechazo = 2.5
- VRS terreno de cimentación = 5.3%
- VRS capa subrasante = 15.0%
- Composición del tránsito (vehículos cargados y/o vacíos).
- Coeficiente de daño para $Z = 0, 15, 30$ y 60 cm.
- Tránsito equivalente acumulado:

*Aforo realizado en el tramo comprendido en Abril del 2000.

*Aforo observado en un lapso de tiempo de 18 horas.

*Distribución del tránsito (vehículos tipo "A" = 87%, Automóviles A-2, Vehículos tipo "B" = 2%, Autobuses ", Microbuses B-2; Vehículos tipo "C" = 11 %, Camiones C-3, Trailers T3-S2-R4).

*Tránsito medio diario anual = 6,128 vehículos.

*Tránsito medio diario anual, estimado en el tramo en estudio, con coeficiente de inducción de tránsito (40%) por ser zona habitacional e industrial con mayor crecimiento y, actualizando el aforo, con tasa de crecimiento del 5% anual = $TDPA = (6,128) (1.40) (1.05) 9,009$ vehículos.

*Tránsito inicial en el carril del proyecto = $0.5 \times 9,009 = 4,504$ vehículos.

Resumiendo, la capa subrasante en la vialidad existente requiere ser recompactada para que cumpla con las normas de calidad.

BASE HIDRÁULICA

La base esta formada por gravas arenosas mal graduadas, con pocos finos arcillosos, color café, con espesores que varían entre 22 y 34 cm. predominando valores promedio de 28 cm.

El porcentaje de compactación varía entre 90 y 96% predominando valores del orden de 93% (ligeramente menor al recomendado), los finos son de baja plasticidad, variando el límite líquido entre 23 y 36% con valores promedio menores a 30%, el índice plástico entre 8 y 18%, con contracciones lineales entre 3 y 5% y la curva granulométrica se aloja generalmente en la zona 1, ver anexo III.

Los parámetros de resistencia medidos en pruebas de valor relativo de soporte (VRS) estándar, dan valores entre 80 y 98 %, predominando 92% y el valor cementante resulta mayor a 3.7.

Resumiendo los materiales que conforman la capa de base hidráulica se pueden considerar aceptables, con la salvedad de que deberían presentar una compactación próxima al 100% por el tipo de vialidad de que se trata y además los primeros centímetros superiores presentan alguna saturación al no estar bien cubiertos por la carpeta asfáltica antes del reencarpelado colocado últimamente.

CARPETA ASFÁLTICA

De la evaluación se define que la carpeta asfáltica antes del reencarpelado ya no tiene ninguna función estructural, por el alto deterioro y degradación que han sufrido los materiales, en cambio la carpeta recién colocada posee características adecuadas las cuales tendrán una función adecuada en función de las características que posea la subrasante que deberá tener las condiciones antes señaladas.

6.3 EVALUACION DE LA ESTRUCTURA ACTUAL DE LOS PAVIMENTOS POR DEFLEXIONES.

TRABAJOS DE CAMPO

Para evaluar el estado estructural de los pavimentos en las vialidades, generalmente se efectúa la medición de deflexiones con viga Benkelman en las roderas externas tanto del carril izquierdo como del derecho, alternándolas a cada 20 m, para dar una configuración en tresbolillo.

Para las determinaciones se emplea un camión con un peso de 8,200 Kg en el eje trasero y con presión de llantas de 6 Kg /CM2. la localización de los puntos de medición se efectúa en los cadenamientos ya existentes y se dejan marcas con pintura roja sobre el pavimento. En este caso se juzga que no se justificaba la ejecución de tales mediciones ante la evidente manifestación de las deflexiones en el camino existente

*Coeficiente de acumulación de tránsito para n= 10 y 15 años y tasa de crecimiento anual del tránsito de 5%.

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

$$CT_{10} = 4,600 \quad CT_{15} = 7,900$$

*Numero de ejes equivalentes y tránsito acumulado:

	n=10 años	n = 15 años
Z=0	1.80 x 10 ⁸	3.25 x 10 ⁸
Z=15	1.22 x 18 ⁸	2.15 x 10 ⁸
Z=30	1.04 x 10 ⁸	1.95 x 10 ⁸
Z = 60	1.40 x 10 ⁸	2.56 x 10 ⁸

*Espesores requeridos arriba del terreno natural:

n= 10 años Espesor requerido = 92 cm.

n= 15 años Espesor requerido = 95 cm.

*Espesores requeridos arriba de la subrasante:

n= 10 años Espesor requerido = 42 cm.

n= 15 años Espesor requerido = 45 cm.

De acuerdo a lo anterior se concluye lo siguiente:

Mal estado de la carpeta asfáltica existente antes del reencarpetao sin ningún valor estructural y la que se tiene por el reencarpetao es adecuada sin embargo la configuración actual de la superficie de rodamiento por deformaciones no es aceptable por lo que se recomienda una reconstrucción de la vialidad existente, recompactando la subrasante, la base y la carpeta existente reciclarla con un 4% de cemento Portland, previa autorización de este porcentaje por la supervisión y el laboratorio con el objeto de garantizar la calidad del asfalto. Esta conclusión esta en función de las condiciones obtenidas después del reencarpetao Espesor equivalente requerido arriba de la subrasante = 42 cm. Si se considera el valor crítico de sub-base actual de 20 cm. + 10 cm. de base y 8 cm. de carpeta asfáltica, se cumple con lo requerido.

Para fines prácticos constructivos se sugiere construir 20 cm. de base y 9 cm. de concreto asfáltico elaborado en planta y o reciclado del existente en la actualidad con un tratamiento adecuado.

6.4 ESTRUCTURACION PROPUESTA

En toda la longitud se requiere, levantar, triturar y reciclar con 4% de cemento Portland la carpeta asfáltica y la base hidráulica existente, renivelando la superficie de rodamiento y posteriormente compactar la carpeta asfáltica y la base hidráulica al 98 % respectivamente.

Escarificando y compactando previamente la capa subrasante al 95% de su peso volumétrico seco máximo, garantizando así un VRS del orden del 15%. Posteriormente construir una capa de base de 20 cm. compactada al 98 % y construyendo después una carpeta de concreto asfáltico de 9 cm. de espesor con mezcla controlada y compactada al 98%; finalmente dotar a los pavimentos con un riego de sello.

Previamente al tendido de la capa de base reciclada, deberá verificarse en varios sitios la compactación que tiene la capa subrasante. la cual deberá estar al 95% como mínimo, con respecto a su peso volumétrico seco máximo; de no ser así se requerirá también proceder a escarificarla y compactarla al 95%, previo a lo anterior deberá realizarse una nivelación que permita dejar superficies debidamente configuradas

En las pruebas que se realizaron en los sondeos efectuados se obtuvieron valores aceptables, pero son solo valores puntuales a cada 500 m de separación.

NOTA GENERAL: Entre la capa de base reciclada y la base asfáltica, deberá de aplicarse un riego de impregnación y un riego de liga, y entre la capa de base asfáltica y la carpeta de concreto asfáltico se deberá aplicar un riego de liga.

6.5 DISEÑO DE PAVIMENTOS

Para la ampliación de la vialidad su diseño se realizó con base en las características de la subrasante, a la intensidad y magnitud de las cargas, a la composición y crecimiento del tránsito que circulará.

6.5.1 AFOROS VEHICULARES

Se realizaron aforos vehiculares durante los periodos de máxima demanda vehicular con duración de varias horas. Estos periodos de máxima demanda vehicular se seleccionaron con base en los resultados de las

estaciones maestras, las cuales se establecen de acuerdo a los puntos estratégicos del mayor tránsito inducido en la zona:

Los vehículos con dirección Vía Morelos-Av. Central y viceversa, utilizan la Calzada de la Viga.

En el Anexo VI se presentan los resultados de los aforos vehiculares realizados, desglosando los volúmenes de vehículos ligeros, pesados y su total.

6.5.2 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Se analizaron pavimentos de tipo flexible constituido por concreto asfáltico, de acuerdo a lo siguiente:

MÉTODOS DE DISEÑO EMPLEADOS

Para el diseño del pavimento se emplearon los siguientes métodos: el adoptado por la SCT, el establecido por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y el empleado por el Cuerpo de Ingenieros de la U.S. Army.

DATOS PARA EL PROYECTO DEL PAVIMENTO

Este tipo de pavimento analizado es el flexible, que incluye como capa de rodamiento una carpeta asfáltica. La selección se basó en la considerable economía que en el costo inicial representa este tipo de pavimento.

TRÁNSITO

El factor que considera las fuerzas aplicadas por los vehículos en un pavimento flexible, es la intensidad de tránsito de vehículos de diferentes capacidades. Para el uso del método de diseño adoptados por la SCT se necesita conocer el Volumen Diario Promedio Anual (VDPA), el cual se consideró con una intensidad de tránsito de diferentes tipos de vehículos con capacidad de carga máxima, circulando en un solo sentido de 644 vehículos por día que transitarán en la vialidad en estudio, esta cantidad resultó del aforo

vehicular efectuado en la zona. El método del Instituto de Ingeniería establece para el valor de VDPA un número de ejes equivalentes de vehículos de 8.2 ton circulando por la zona en estudio, para este caso se calculó de 7.4 millones de ejes equivalentes.

El dato adicional del tránsito que se empleo en el diseño del pavimento fue una vida útil para pavimentos flexibles de 20 años.

FACTORES DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES DE LA CAPA SUBRASANTE

Los métodos de diseño empleados están basados en el valor relativo de soporte (VRS); para establecer este valor se consideraron todos los ensayos realizados en el laboratorio. De los resultados de estas pruebas se seleccionó en forma estadística y dentro de la seguridad, empleando el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el VRS de diseño, obteniéndose para este parámetro los siguientes valores:

VRS ESTANDAR SATURADO = 5.3 % MATERIAL DEL TERRENO NAT.)

VRS CRITICO NATURAL = 9.4 % (MATERIAL DEL TERRENO NAT.)

6.6 CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE

Los materiales que constituirán la subrasante de los pavimentos corresponden a un limo arenoso poco arcilloso, café oscuro, con algunas raicillas, con contenido de agua medio de 57 %, de consistencia media, con límite líquido de 88 %, límite plástico de 50 %; una distribución granulométrica de 17 % de arena y 83 % de finos, del grupo OH - MH según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (sucs), con resistencia en compresión axial no confinada de 19.7 ton/m² peso volumétrico natural de 1.38 ton/M³ y densidad de sólidos de 2.37; De peso volumétrico seco de 0.94 ton/M³ y contenido de agua óptimo de 61 %, determinados en prueba proctor estándar.

Con valor relativo de soporte (cbr) en muestras inalteradas, en estado natural de 9.4 % y saturado de 5.3 %

La determinación del módulo de reacción de los materiales de apoyo del pavimento se determinó a través de su correlación con el valor relativo de soporte (CBR). Considerando un valor del CBR de 5.3 %, corresponde un módulo de reacción de la subrasante de 4.2 Kg/cm³, este valor se incrementa en función de las características y el espesor de la capa de base sobre la que se apoyará la carpeta que constituirá el pavimento. Considerando que se tendrá una base constituida por materiales granulares que satisfacen las especificaciones de la S.C.T., y para un espesor de la base de 20 cm, se incrementa el módulo de reacción de la subrasante a 5 Kg/cm³.

El pavimento de tipo flexible para la vialidad, se diseñó empleando con los criterios y datos antes establecidos y fue revisado con el método de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, considerando los siguientes parámetros de resistencia de los elementos que lo forman:

CBR	Subrasante	5.3 %
CBR	Material de sub-base	50 %
CBR	Material de base	80 %
Vida de proyecto		20 años
EWL (Número de repeticiones de la carga equivalente a 5 000 lb)		7.4 millones
Curva de diseño		V

De acuerdo a lo anterior se obtuvo la siguiente sección del pavimento:

Espesor total de pavimento	49 cm
Espesor de la sub-base	20 cm
Espesor de la base	20 cm
Espesor de la carpeta asfáltica	9 cm

Las especificaciones de materiales y para el procedimiento constructivo del pavimento de tipo flexible se presentan en el anexo II.

6.7 LINEAMIENTOS GENERALES DE CONSTRUCCION.

A continuación se indican los aspectos que durante la construcción se deberán llevar a cabo.

ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

6.7.1 NIVELES

Se harán excavaciones y se construirán rellenos para que la subrasante en las ampliaciones tenga los niveles indicados en el proyecto.

Para eliminar la capa de suelo que contiene materia orgánica, deberá hacerse un despalme mínimo de 90 cm. A continuación se compactará el material hasta alcanzar un grado de compactación de 90% con respecto a la prueba próctor estándar. El material producto del despalme será desechado.

6.7.2 MATERIALES

Para construir los pavimentos se requerirán materiales para terracerías, sub-base, base, y carpeta asfáltica.

Las características que deberán tener los materiales son las siguientes:

6.7.2.1 PARA TERRACERÍAS

Podrán ser utilizadas mezclas de gravas, arenas y material fino, que satisfagan las siguientes especificaciones:

-límite líquido	40 % máx.
-índice plástico	15 % máx.
-contracción lineal	8 % máx.
-valor relativo de soporte	10 % mín.
-contenido de agua óptimo	25 % máx.
-peso volumétrico seco máximo	1,300 Kg/cm ³

6.7.2.2 PARA SUB-BASE

a) De granulometría

La curva granulométrica deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 (ver fig 4), adoptando una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas y no tener, cambios bruscos de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 200 al que pasa la malla No. 40, no deberá ser superior a 0.65

b) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte (CBR), tamaño máximo y peso volumétrico, las siguientes,

	Zonas granulométricas del material		
	1	2	3
Contracción lineal, %	4.5 máx	3.5 máx	2.5 máx
Valor cementante, KglCm ²	3.5 mín	2.5 mín	2.5 mín
Valor relativo de soporte %	50 mín	50 mín	50 mín
Tamaño máximo del agregado	3/8" max	1" max	2" max
Peso volumétrico seco máximo Kg / cm ³		1700	1700

1700

6.7.2.3 PARA BASE

a) De granulometría

La curva granulométrica deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2 (ver fig. 5), adoptando una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, y no tener cambios bruscos de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 200 al que pasa la malla No. 40, no deberá ser superior a 0.65.

b) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte (CBR), tamaño máximo y peso volumétrico seco máximo, las siguientes.

	Zonas granulométricas del material	
	1	2
Contracción lineal, %	3.5 máx	2.0 máx
Valor cementante, Kg/cm ²	4.5 mín	3.5 mín
Valor relativo de soporte, %	80 mín	80 mín
Tamaño máximo del agregado	2" máx	1" máx
Peso volumétrico seco máximo Kg/cm ³	1 800 mín	1800 mín

6.7.2.4 PARA CARPETA ASFÁLTICA

El contratista deberá proponer la planta de asfalto que suministre la mezcla, la cuál deberá ser calificada por el Director de la obra, de acuerdo con las normas marcadas a continuación:

Para construir la carpeta deberá utilizarse concreto asfáltico mezclado en caliente, con las siguientes características en prueba Marshall, relación de vacíos estabilidad flujo contenido de asfalto

Reacción de vacíos	3-5 %
Estabilidad	850 Kg
Flujo	2 a 4.5 mm
Contenido de asfalto el óptimo	+/- 0.2 % obtenido en la prueba Marshall

En la mezcla deberá emplearse cemento asfáltico No. 6 con las siguientes características:

penetración	80 – 100 grados
punto de inflamación	232 ° C mín
ductilidad	100 cm mín
solubilidad	99.5 % mín
viscosidad	85 mín

La curva granulométrica del agregado pétreo deberá quedar comprendida entre los límites marcados en la fig. 6, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

Las características físicas del agregado pétreo deberán satisfacer los siguientes valores:

tamaño máximo	¾"
contracción lineal	2.0 % máximo
desgaste "Los Ángeles"	40 % máximo
forma de partículas	35 % máximo
equivalente de arena	55 % mínimo

Afinidad con el asfalto:

- | | |
|--|-------------|
| * desprendimiento por fricción | 25 % máximo |
| * pérdida de estabilidad por inmersión de agua | 25% máximo |

6.7.3 GRADOS DE COMPACTACION

Los grados de compactación que deberán alcanzarse en las diferentes capas que forman el pavimento serán las siguientes:

Subrasante: 90%- con respecto a la prueba Proctor estándar

Terracerías: 90% con respecto a la prueba Proctor estándar

Sub-base: 95% con respecto a la prueba Porter estándar

Base: 98% con respecto a la prueba Porter estándar

Carpeta asfáltica: 98% con respecto a la prueba Marshall

Para el control de compactación, se recomienda que desde las primeras capas tendidas de cada tipo de material, se desarrolle un terraplén de prueba, para definir el número de pasadas óptimo, con el equipo elegido, que sean necesarias para alcanzar el grado de compactación especificado.

6.7.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

En las ampliaciones de la vialidad se despalmará el terreno natural 90 cm en las áreas laterales donde se ampliará la vialidad, eliminando la capa de suelo orgánico, a continuación se recompactará hasta tener el grado de compactación especificado.

En caso de requerir terracerías para alcanzar el nivel de proyecto, se colocarán capas de material con espesor suelto máximo de 20 cm, con humedad cercana a la óptima (+/- 2 %) y se compactarán hasta obtener el grado de compactación especificado.

A continuación se hará una escarificación a 5cm de profundidad de la subrasante o terracería y se colocará la sub-base en capas con espesor suelto máximo de 20 cm. Para compactar se deberá humedecer y homogeneizar el material hasta alcanzar un valor cercano a la humedad óptima (+/- 2%). Se darán el número de pasadas necesario para obtener el grado de compactación especificado.

A continuación se hará una escarificación a 5 cm de profundidad de la sub-base y se colocará la base en capas con espesor suelto máximo de 20cm. Para compactar se deberá humedecer y homogeneizar material hasta alcanzar un valor cercano a la humedad óptima (+/-2%). Se dará el número de pasadas necesario para obtener el grado de compactación especificado.

Terminada la base, se dejará orear por un periodo mínimo de 24 hrs, a continuación se barrerá la superficie y se aplicará un riego de impregnación con emulsión asfáltica cationica superestable o similar a razón de 1.7 lts/m², conservándose este por un mínimo de 24 hrs, hasta comprobar mediante pruebas de campo la penetración del asfalto a la base, en caso necesario diluir con agua para optimizar la penetración.

A continuación se aplicará un riego de liga con emulsión asfáltica cationica de fraguado rápido RR-2K a razón de 0.7 lts/m², de 2 a 4 horas antes del tendido de la carpeta asfáltica.

Previamente al tendido de la mezcla asfáltica deberá aplicarse encima del riego de liga unas paladas de mezcla, para evitar que el tránsito necesario de construcción levante dicho riego. Posteriormente y para evitar la segregación se tenderá la mezcla con una máquina terminadora (finisher) en un espesor tal que una vez compacto se tenga el de proyecto. La velocidad de la maquina terminadora al colocar la mezcla deberá estar comprendida entre 2 y 4 Km/hora.

Para obtenerse los espesores de material compacto de proyecto deberán controlarse los espesores que van dejando la terminadora según la siguiente relación:

Esesor de proyecto x 1.3 (abundamiento) = esesor tendido por terminadora

La temperatura recomendable para el tendido debe estar comprendida entre 100°C y 130°C, debiendo evitarse este, cuando la temperatura ambiente sea menor a los 10°C.

La mezcla asfáltica deberá compactarse a una temperatura comprendida entre 90° y 110°C, siendo la óptima 100° C. La compactación se hará longitudinalmente traslapando a toda rueda, iniciando de la parte baja hacia la parte alta, avanzando de la guarnición al centro del arroyo, el equipo recomendado es el siguiente:

a) Para la compactación inicial deberá emplearse una compactadora de rodillos lisos tipo Tandem de 6 a 8 ton con una velocidad que no debe exceder de 5 Km/hora para evitar el levantamiento de la mezcla caliente, se traslapará entre pasada y pasada media rueda, con el objeto de darle el acomodo inicial al material.

b) Una vez que la compactadora Tandem deje huellas apenas perceptibles se procederá a compactar la capa con una compactadora de tres rodillos lisos y un peso de 12 ton hasta que las huellas de esta sean muy leves.

c) La compactación final de la mezcla se dará con una compactadora neumática que borre las huellas que deja la maquina de 12 ton, hasta dejar una superficie afinada adecuada al tránsito de vehículos.

Se impermeabilizara la carpeta asfáltica aplicando un sello con cemento como se indica a continuación:

a) Una vez compactada y recibida la carpeta asfáltica y que esta haya adquirido la temperatura ambiente y antes de proceder al sello con cemento, deberá barrerse perfectamente la superficie, dejándose libre de polvo e impurezas.

b) Posteriormente se distribuirá el cemento portland en seco sobre la superficie de la carpeta a razón de $3/4 \text{ Kg/cm}^2$, tallándose enérgicamente con cepillos de fibra contra la superficie, a fin de que penetre en la porosidad de la carpeta asfáltica.

c) Después se adicionara el agua necesaria (1 a 1.5 lts/m^2 aproximadamente) para formar una lechada de consistencia media, la cual se distribuirá enérgicamente con los mismos cepillos, hasta lograr una superficie uniforme. En vías donde las pendientes sean mayores del 3 % deberán tomarse las precauciones necesarias al adicionar el agua para evitar escurrimientos y deslaves.

d) Se dejara reposar este sello cuando menos 6 horas para evitar que el tránsito lo levante.

6.7.5 CONTROL DE CALIDAD

Materiales de terracerías, subrasante, base y sub-base

a) Deberán verificarse las características de los materiales a emplearse en el pavimento, de acuerdo con lo especificado en el inciso 6.7.2.

b) Para verificar los grados de compactación alcanzados, se llevarán acabo pruebas en cada capa se recomienda hacer una prueba por cada 50 m^3 de material compactado

c) Para conocer las variaciones del peso volumétrico seco máximo de los materiales se recomienda hacer una prueba proctor o porter, según se requiera, por cada 500 m³ de material compactado o cuando cambie el tipo de material

d) El material empleado deberá estar exento de materia orgánica y partículas extrañas.

6.7.5.1 CARPETA ASFÁLTICA

a) Se deberán efectuar las pruebas indicadas en el inciso 6.7.2. a los materiales empleados.

b) Deberán verificarse las características del concreto asfáltico cada día de tendido mediante pastillas Marshall.

c) Se controlará la temperatura de la mezcla asfáltica, de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

Al salir de la planta	120 a 150°C
Al tender	100°C
Al compactar	90°C

En general la compactación deberá terminarse a 70°C mínimo.

d) Posteriormente deberán efectuarse pruebas de compactación y permeabilidad en la carpeta terminada.

6.7.6 CAPA SUBRASANTE

Esta capa deberá tener 45 cm de espesor mínimo y presentar una compactación entre el 90 y 95% con respecto a su peso volumétrico seco máximo Proctor.

Lo cual deberá de verificarse en la obra por la supervisión y el contratista, de no ser así deberá de recompactarse, para lo cual se requerirá escarificar y homogeneizar hasta alcanzar la humedad óptima.

BASE HIDRÁULICA ESTABILIZADA

Se escarificaran y reciclaran, la carpeta asfáltica y la base hidráulica existente, triturando la primera a tamaño máximo de 1 1/2", incorporándoles un 4% de cemento Portland en peso, homogeneizándose posteriormente todos los materiales, con la humedad óptima requerida, para compactarla al 98% de su peso volumétrico seco máximo Porter.

La supervisión y la contratista deberán verificar el porcentaje óptimo de cemento Portland requerido, así como la compactación alcanzada. Se sugiere hacer un tramo de prueba.

RIEGO DE IMPREGNACIÓN

Sobre la base terminada, superficialmente seca y barrida se aplicará en toda el área un riego de impregnación, con un producto asfáltico tipo FM-1 o similar a razón de 1.5 lts/m².

RIEGO DE LIGA

Sobre la base impregnada se aplicara en toda el área un riego de liga con un producto asfáltico tipo FR-3 o similar, a razón de 0,5 lts/M².

CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO

En la ampliación de la vialidad el concreto asfáltico deberá ser elaborado en planta, con materiales pétreos de banco previamente analizados y aprobados por la supervisión y la contratista, a fin de garantizar su calidad de acuerdo a las normas SCT vigentes.

El grado de compactación de esta capa deberá ser del 98% mínimo, con respecto al peso volumétrico de la mezcla debidamente dosificada y elaborada por la contratista en su oportunidad y aprobada por la supervisión. El espesor mínimo compacto deberá ser de 9 cm.

Se sugiere compactar inicialmente con un rodillo liso de 7 ton, utilizando posteriormente un rodillo neumático de 15 ton y, finalmente un rodillo liso para borrar las huellas del neumático.

RIEGO DE SELLO

Sobre la carpeta de concreto asfáltico terminada se aplicará un riego de sello, utilizando material pétreo 3A o 3E y producto rebajado del tipo FR-3 o emulsión de fraguado medio, a razón de 10 lts/m² y 0.9 lts/m² respectivamente. El material pétreo deberá proceder de un banco calificado por la contratista y la supervisión, la cual aprobará basándose en pruebas de laboratorio, que cumpla con normas SCT vigentes.

Se podrán emplear aditivos para mejorar la adherencia de los materiales pétreos, cuyo tipo y dosificación deberán ser proporcionados por la supervisión y el laboratorio de control de calidad.

Se propone realizar tramos de prueba con el objeto de calificarlos y tomar las medidas pertinentes para su aprobación.

6.8 CARACTERISTICAS GENERALES DE BANCOS DE MATERIALES.

De acuerdo a la información que se tienen de tres bancos de materiales que actualmente se encuentran en proceso de explotación y que se encuentran en sitios relativamente cercanos al sitio de interés a continuación se describe las características de cada uno de ellos.

Estos bancos se localizaron con el propósito de utilizar el material en la construcción de las diferentes capas que conformaran los pavimentos de la vialidad requerida. Los bancos se denominaron "San Pedro, Cervantes" y "Totolcingo".

El banco "San Pedro" se ubica a 9 km. de distancia del lugar analizado, muy próximo a la termoeléctrica localizada en la autopista a las Pirámides, como se indica en el anexo V. El material que conforma al banco es una toba limosa café cuyo producto disgregado es de baja plasticidad (ML), las propiedades de este material se analizaron por un laboratorio y se describen en el anexo V.

De acuerdo a los resultados presentados, las características del material del banco "San Pedro" cumplen con las especificaciones de calidad como material de subrasante (ver anexo III) con un límite líquido menor del 50% y un valor relativo de soporte mayor del 10% cuando es compactado con un valor igual o mayor al 95% de su peso volumétrico seco máximo.

El banco "Cervantes" se localiza aproximadamente a 12.5 Km de distancia del sitio de interés, sobre la Vía José López Portillo, casi en la intersección con la carretera Coacalco-Tultepec como se muestra en el anexo V. El material de este banco es una toba arenolimsa. En el anexo V se describen las propiedades del material disgregado de este banco.

Los materiales de los bancos "Cervantes" y "San Pedro" son adecuados para formar la capa subrasante del pavimento, siempre y cuando éstos sean compactados al menos al 95% de su peso volumétrico seco máximo.

Finalmente el banco "Totolcingo" se localiza a 13.5 km de distancia del sitio de interés muy cercano al banco "San Pedro" como se muestra en el anexo V.

Está formado por una grava mal graduada con arena y escasos finos no plásticos. En el anexo V se resumen las propiedades del material disgregado determinados en el laboratorio.

Considerando las características del banco "Totolcingo" este se puede utilizar como base y sub-base del pavimento, según las normas de control de calidad que se muestra en el anexo III.

6.9 NORMAS DE CALIDAD.

Las normas de calidad y especificaciones a las que se deberán sujetar a los materiales en las diferentes capas de la estructura de los pavimentos, son las que establece la Secretaria de Comunicaciones y Transportes en su libro 4, parte 4.01, para bases estabilizadas con cemento Portland y/o cemento asfáltico (base negra), riegos de impregnación y de liga, carpeta de concreto asfáltico elaborado en planta y riegos de sello, debiéndose tomar en consideración la intensidad del tránsito esperado.

Los procedimientos de construcción y el equipo que se emplee, también estarán apegados a lo establecido por la SCT y, por la importancia de la obra, se requiere llevar a cabo un riguroso control de calidad de los materiales, compactaciones y espesores, bajo la vigilancia y responsabilidad de una supervisión adecuada,

Se deberá de dotar a los pavimentos de un drenaje superficial, longitudinal y transversal eficiente, ya que en parte la falla de los pavimentos se ha debido a deficiencias en el drenaje.

6.10 CONSERVACION Y MANTENIMIENTO.

Por la importancia que revisten los pavimentos en estas áreas, de tránsito intenso esperado según aforo, se hace evidente la necesidad de efectuar un mantenimiento preventivo oportuno, basado en evaluaciones físicas de la superficie (cada año) y en mediciones de deflexiones (cada dos años), para programar: riegos de sello o de taponamiento, bacheos y renivelaciones

cuando así lo requieran. Se sugiere construir riegos de sello cada dos o tres años.

El drenaje deberá de mantenerse en condiciones eficientes con el objeto de evitar azolves en ductos y alcantarillas. También se vigilara que la pendiente transversal de la superficie de rodamiento no se pierda y se trate de conservar la establecida en el proyecto.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de mecánica de suelos que se realizó en "La Calzada la Viga en Ecatepec en el Estado de México" tiene la finalidad de proporcionarle datos al proyectista para la rehabilitación de este pavimento y así tenga los datos suficientes para realizar la obra, para lo cual se tomaron en cuenta aspectos fundamentales como son: características estratigráficas y físicas del subsuelo, exploración y muestreo, pruebas de laboratorio, ubicación de bancos de materiales y aforos vehiculares.

Se analizaron cuidadosamente los resultados con base en la experiencia ingenieril, y antes de establecer los parámetros de diseño más adecuados se tomaron en cuenta diversas características tales como tipo de vialidad, tránsito, clima, condiciones regionales y vida del proyecto, etc.

Paralelamente a esa decisión, deberán analizarse también las condiciones más económicas, considerando disponibilidad de materiales, construcción por etapas y facilidad de conservación.

De acuerdo con los estudios y análisis realizados se concluye lo siguiente:

- En la superficie de rodamiento de los pavimentos flexibles en operación antes del reencarpetado refleja principalmente tres estados de deterioros, manifestados por agrietamientos tipo piel de cocodrilo y forma de mapa, desprendimientos de carpeta asfáltica y bacheo, por lo que es necesario restablecer las condiciones del pavimento a las mas adecuadas para operen correctamente que aunque se coloco un reencarpetado no es suficiente para garantizar la operación de la vialidad a futuro.

- La evaluación física, la determinación directa de espesores y las deflexiones observadas acusan para el tránsito actual, una estructura de pavimentos débil que requiere reforzarse, incrementando el espesor de la base.

- Las características del subsuelo natural, revelan una resistencia baja del orden del 4% y la capa subrasante en la vialidad presenta porcentajes de

compactación bajos en casi toda su longitud de acuerdo a los sondeos realizados. Los valores de resistencia de la capa subrasante varían entre 6.3 y 3.2%.

- La base hidráulica, presenta características físicas y mecánicas adecuadas, pero por el fuerte deterioro de la carpeta asfáltica (la cual no tiene prácticamente un valor estructural), esta también se ha visto afectada, por lo que se recomienda incrementar su espesor a 20 cm y recompactarla, incorporándole 4% de cemento Portland previamente autorizado por la supervisión y el laboratorio.

- La falta de un drenaje superficial y longitudinal eficiente, a contribuido a acelerar el daño en los pavimentos y, a pesar del intenso bacheo superficial no se ha podido frenar el deterioro, por lo que será necesario dotar a la vialidad de un sistema de drenaje adecuado que garantice la vida útil del pavimento.

Considerando lo anteriormente expuesto se recomienda lo siguientes.

- Se hace necesario llevar durante la obra, un control de calidad riguroso para garantizar la estructuración de refuerzo propuesta.

- Se sugiere rehabilitar y/o reconstruir los pavimentos en los espesores de base mas carpeta de concreto asfáltico, así como los porcentajes de compactación y lineamientos generales de construcción.

- Se considera fundamental someter a la consideración de la supervisión y autoridades la elección de los bancos de materiales, tomando en consideración la calidad mas que el costo.

- Será necesario antes de proceder a la reconstrucción de la vialidad verificar las zonas donde se requiere una renivelación.

- Es primordial la programación del mantenimiento y conservación preventivo y periódico de la vialidad.

- Deberá construirse un drenaje eficiente que garantice el desalojo adecuado del agua pluvial y establecer una campaña de desazolve oportuno, antes de la época de lluvias.

- Las normas de calidad de los materiales y los procedimientos de construcción para las áreas por reconstruir y/o rehabilitar, deberán sujetarse a las normas vigentes que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes establece.

- La capacidad estructural de un pavimento deberá comprender también el análisis de la resistencia de los materiales que constituyen a cada una de las capas, incluyendo la subrasante, y en algún caso, el que forme la terracería.

- De acuerdo a las características estratigráficas de los depósitos del subsuelo y a la zonificación geotécnica de la Ciudad de México el predio de interés se encuentra en la zona II (zona de Transición), excepto en la zona sur-oriente donde se encuentra una zona de frontera entre la de transición y de la de Lago de acuerdo a la exploración realizada.

- Causas principales y probables de estos deterioros posiblemente sean por una deficiente compactación de la capa subrasante, falta de estructura del pavimento, deficiente drenaje e inadecuado mantenimiento.

Adicionalmente al concepto de nivel de servicio es importante considerar las condiciones de la superficie de rodamiento en lo que se refiere a agrietamientos, deformaciones permanentes y cualquier otro deterioro cuya presencia, como se menciono anteriormente, no siempre debe atribuirse a insuficiencia estructural.

Por lo que se refiere a la capacidad estructural de un pavimento, esta característica se ha relacionado, para fines de valuación, con la medición de la deflexión del pavimento cuya capacidad estructural se desea valorar. Las deflexiones de un pavimento flexible bajo una carga estática pueden ser determinadas con equipos tales como la viga de Benkelman o un curvómetro Dehlen.

La valuación de la capacidad estructural de un pavimento deberá comprender también el análisis de la resistencia de los materiales que constituyen a cada una de las capas, incluyendo la subrasante, y en algún caso, el que forme la terracería.

La valuación final de la capacidad estructural deberá tener en consideración los resultados obtenidos con el uso de los criterios deflexión y resistencia, lo cual es particularmente importante si se toma en cuenta que las correlaciones existentes

entre las medidas de deflexión, espesor y calidad del pavimento, así como el tránsito que circule por ellos.

La limitación del método de la deflexión es que no considera la distribución de esfuerzos con respecto a la profundidad. Finalmente la resistencia dependerá básicamente del valor relativo de soporte de la subrasante VRS, el cual se determinó en las muestras obtenidas del lugar y a las cuales se les realizó las pruebas de laboratorio correspondiente, estableciendo la sección más adecuada para la vialidad en estudio.

Considerando la información geotécnica obtenida tanto en campo como del laboratorio y tomando en cuenta las condiciones actuales y futuras del volumen del tránsito, se diseñó el pavimento de tipo flexible con superficie de rodamiento constituido por una carpeta asfáltica, estableciendo su procedimiento constructivo y tomando en cuenta las características de la sección actual de la vialidad existente y las propias del subsuelo en sus partes laterales donde se tendrá la ampliación de la vialidad proyectada.

En este informe se describen los trabajos realizados, se reportan los resultados obtenidos y se consignan las recomendaciones para el diseño y reconstrucción del pavimento de tipo flexible proyectado, así como para el procedimiento constructivo de los pavimentos y del control de calidad de los materiales que los constituirán.

se efectuó la exploración de los materiales de la parte superficial del subsuelo, para lo cual se excavaron 4 pozos a cielo abierto a 1.5 m de profundidad con respecto al nivel actual del terreno, repartidos en toda la longitud del tramo en estudio, su ubicación se muestra en la figura 2 y en el Anexo 1 se muestran los perfiles de los pozos a cielo abierto excavados.

En los pozos excavados se procedió a efectuar el levantamiento de la clasificación visual y manual de todos los materiales encontrados mediante técnicas

de campo, posteriormente, se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas (cúbicas) de cada uno de ellos, para posteriormente analizarlas en el laboratorio y definir su aptitud para ser usadas en la construcción de las terracerías y capa subrasante de apoyo de las capas del pavimento.

Para localizar préstamos de materiales para las capas de la estructura de pavimento, se tomo en cuenta la información de las zonas cercanas a la de interés, localizándose 3 bancos actualmente en explotación con características adecuadas, para formar las diferentes capas de la sección estructural del pavimento.

Con el fin de conocer las condiciones actuales de la estructura de los pavimentos y poder juzgar su capacidad operativa tomando en cuenta la ampliación de esta vialidad, se llevo a cabo una evaluación física de la superficie actual de ellos, estableciéndose posteriormente en forma estratégica la ubicación de 4 sondeos superficiales, localizados con separaciones de 500 m. aproximadamente entre cada uno.

Los sondeos se efectuaron mediante pozos a cielo abierto excavados en forma manual con pico, pala, marro y barreta, alcanzando una profundidad promedio de 1.50 m. desde la superficie actual, obteniéndose muestras inalteradas y alteradas representativas de cada una de las capas que conforman la estructura de los pavimentos y del terreno natural.

En el campo se efectuó la clasificación visual y al tacto de cada uno de los estratos, mediante técnicas de campo como son: dilatancia, tenacidad y resistencia, midiéndose simultáneamente los espesores de carpeta asfáltica, base y subrasante.

En cada una de las capas se determinaron las condiciones actuales en que se encuentran los diversos elementos estructurales de los pavimentos existentes y de las áreas laterales de los mismos.

Finalmente se efectuó una inspección y muestreo a los bancos de materiales existentes, cercanos a la zona de estudio, encaminados a la obtención de materiales de base y carpeta principalmente y que en la actualidad se encuentren en explotación y cuenten con equipo de procesamiento.

Todas las muestras obtenidas se identificaron, clasificaron y empacaron adecuadamente para su envío al laboratorio para su análisis respectivo.

En los sondeos realizados no se encontró el nivel freático, de acuerdo a datos obtenidos del sitio de interés se encuentra a 4.5 m de profundidad.

En figura 2 se presenta la ubicación de los sondeos efectuados y en la figura 4 se muestra la estructura actual de los pavimentos, ilustrándose en el anexo fotográfico los trabajos de campo llevados a cabo.

- Es importante un programa de Control de Calidad ya que es determinante el criterio con el que habrá de manejarse la información, la cual deberá estar dispuesta para uso futuro como referencia en zonas aledañas a este lugar de interés.

ANEXO
I
MEMORIA DE CALCULO

DISEÑO DE PAVIMENTO

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

El pavimento flexible que se construirá en las distintas zonas de circulación de Vehículos en las vialidades interiores de la nave se diseño aplicando el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, para el periodo de vida útil de veinte años, considerando que la superficie del terreno natural es sensiblemente horizontal, que los depósitos superficiales del subsuelo son materiales cohesivos y homogéneos en toda el área y que están constituidos por arcilla poco arenosa, café, con distintas tonalidades, cuyo contenido de agua medio es 22%, valor relativo de soporte en estado natural promedio de 2.9% y en especímenes recompactados al 90% de su peso volumétrico seco máximo PVSM obtenido en la prueba proctor estándar de 6.1% y recompactados al 95% de su PVSM de 8.6%.

De acuerdo a las vialidades y cajones de estacionamiento que contempla el proyecto, se estima que sobre el pavimento circularan alrededor de 500 vehículos diarios, de los cuales 35% serán de carga y el 65% automóviles y camionetas ligeras, los cuales circularan sobre una vialidad principal, pero maniobrarán en diferentes zonas, dando lugar a que existan áreas con diferente flujo vehicular, lo que dará como resultado que el pavimento tenga áreas con distintos espesores.

Para el diseño de la sección estructural de pavimento se consideraron los siguientes parámetros de resistencia de los elementos que lo formaran:

CBR suelo de cimentación	2.9%
CBR capa subrasante	15% compactada al 90%
CBR capa sub-base	50% compactada al 95%
CBR capa base	80% compactada al 98%

El valor relativo de soporte, CBRC se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$CBRC = CBR (1 - CV)$$

En la cual:

CBR: valor relativo de soporte de cada material

C: factor que depende del nivel de confianza, considerado de 80%

V: coeficiente de variación de los valores de prueba, considerada de 15%

Para el suelo natural y 5% para los otros materiales.

Se obtuvieron los siguientes valores de valor relativo de soporte crítico:

CBRC suelo natural	2.6 %
CBRC capa subrasante	14.4 %
CBRC capa sub-base	48 %
CBRC capa base	76.8 %

Se estimo que el tránsito diario anual, TDAP_i, será de 500 vehículos, que tendrá una tasa de crecimiento anual de 3%, con la siguiente composición probable del tránsito.

T3 - S2	Tractor de tres ejes con remolque de dos ejes	30	0.03	1	0.0
T2 - S2	Tractor de dos ejes con semiremolque de dos ejes	10	0.01	1	0.0
C3	Camión de tres ejes	80	0.08	1	0.0
C2	Camión de dos ejes	40	0.04	0.5	0.5
A' - 2	Camión ligero con capacidad de hasta 3 ton.	40	0.04	0.1	0.9
A - 2	Automóvil	300	0.3	0.0	1.0
	TOTAL	500	0.5		

El tránsito equivalente o número de cargas estándar, de 8.2 ton por eje, acumulado al final del periodo de análisis, EL, requiere de la determinación de los coeficientes de daño por eje y por vehículo, el que se calcula mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$EL = (TDPA) (CD) (CT) \sum_{i=1}^P C_i (W_i E_{dm} + (1 - W_i) E_{dv})$$

donde:

- C_i: proporción de cada tipo de vehículo (i) en la corriente de tránsito (composición)
- CD: proporción del número de vehículos en el carril de proyecto (distribución direccional)
- CT: coeficiente de acumulación del tránsito al cabo de veinte años de operación, con una tasa.

De crecimiento anual del 3%, obteniendo mediante la siguiente ecuación.

$$CT = \frac{365 [(1+r)^n - 1]}{R}$$

En la cual:

- n: número de años de servicio
- r: tasa de crecimiento anual
- dm: coeficiente de daño del vehículo tipo i cargado
- dv: coeficiente de daño del vehículo tipo i vacío
- TDPA: volumen de tránsito diario promedio anual en el año inicial de operación
- W_i: proporción de vehículos cargados por cada tipo de vehículos, i
- L: número de aplicaciones de carga estándar producidas por p tipo de vehículos durante n años

Los coeficientes de daño varían con la profundidad y el tipo de vehículo, se considero las condiciones correspondientes a un camino tipo "B", se tienen los siguientes coeficientes:

Tipo de vehículos	Coeficiente de daño bajo carga Máxima (dm)	Coeficiente de daño vacío de (cv)
-------------------	---	--------------------------------------

		Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60
T3 - S2	1*	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.079	0.019	0.010
	2**	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.017	0.002	0.001
	3**	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.017	0.002	0.001
	E	5.000	3.491	2.250	2.249	5.000	0.113	0.023	0.012
T2 - S2	1*	1.000	0.261	0.106	0.071	1.000	0.071	0.016	0.009
	2**	1.000	1.234	1.483	1.630	1.000	0.071	0.016	0.009
	3**	2.000	1.615	1.072	1.089	2.000	0.012	0.001	0.001
	E	4.000	3.110	2.661	2.790	4.000	0.154	0.033	0.019

Tipo de Vehículos	Coficiente de daño bajo carga Máxima (dm)	Coficiente de daño vacío de (cv)
-------------------	--	-------------------------------------

		Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60	Z = 0	Z = 15	Z = 30	Z = 60
C3	1*	1.000	0.261	0.106	0.071	1.0	0.106	0.028	0.016
	2**	2.000	1.615	1.072	1.089	2.0	0.021	0.002	0.001
	E	3.000	1.876	1.178	1.160	3.0	0.127	0.30	0.017
C2	1*	1.0	0.261	0.103	0.071	1.0	0.044	0.009	0.004
	2**	1.0	1.234	1.483	1.630	1.0	0.044	0.009	0.004
	E	2.0	1.495	1.589	1.701	2.0	0.088	0.018	0.008
A' 2	1*	0.268	0.003	0.000	0.000	0.268	0.001	0.000	0.000
	2**	0.268	0.061	0.023	0.015	0.268	0.001	0.000	0.000
	E	0.536	0.064	0.023	0.015	0.536	0.002	0.000	0.000

* Eje sencillo

** Eje tandem

La carpeta se diseñó como una capa superficial empleando profundidad de daño $Z = 0$ cm, la base para una profundidad de daño $Z = 15$ cm, la sub-base para una profundidad de daño de $Z = 30$ cm y para la capa subrasante la profundidad de daño empleada $Z = 60$ cm y el número de cargas estándar acumulado al final del análisis, EL, o tránsito equivalente obtenido en el siguiente:

Area capa	Camino de Acceso	Calles laterales	Andenes de circulación y estacionamiento
	$\leq L$	$\leq L$	$\leq L$
Carpeta	5.2 x 10	2.6 x 10	1.3 x 10
Base	3.1 x 10	1.6 x 10	0.8 x 10
Sub-base	2.2 x 10	1.1 x 10	0.6 x 10
Tercerías	2.2 x 10	1.1 x 10	0.6 x 10

Como se estima un buen control de construcción y conservación adecuada se eligió un nivel de confianza $Q_u = 0.7$

Para establecer los espesores equivalentes, Z_i , mínimos sobre una capa, se utilizó el monograma de diseño indicado en el instructivo de Diseño de Pavimentos, correspondiente al nivel de confianza, $Q_u = 0.7$ y los argumentos de entrada L y cbr_c , que se muestran en la figura 96.

VIALIDAD PRINCIPAL

Material de Capa	CBR _c	Espesor Equivalente Para $Z = 0$	Espesor Equivalente Para $Z = 15$ cm	Espesor Equivalente Para $Z = 30$ cm	Espesor Equivalente Para $Z = 60$ cm
Carpeta	-----	$Z_1 = 17$ cm			
Base	76.8		$Z_2 = 23$ cm		
Sub-base	48.0			$Z_3 = 28$ cm	
Subrasante	14.4				$Z_4 = 75$ cm
Suelo de cimentación	2.6				

Espesor de carpeta $Z_1 = 17 \text{ cm}$ (espesor equivalente), $Z_1 a_1 = 8.5 \text{ cm}$ (espesor requerido)

Espesor de base $Z_2 - Z_1 = 23 - 17 = 6 \text{ cm}^*$

Espesor de sub-base $Z_3 - Z_2 = 28 - 23 = 5 \text{ cm}^*$

Espesor de subrasante $Z_4 - Z_3 = 75 - 28 = 47 \text{ cm}$

Considerando razones constructivas y de durabilidad, el espesor del pavimento será:

Capa	Espesor
Carpeta	10 cm
Base	15 cm
Sub - base	15 cm
Tercería	25 cm**

PATIO DE MANIOBRAS

Material de capa	CBRc	Espesor Equivalente Para $Z = 0$	Espesor Equivalente Para $Z = 15 \text{ cm}$	Espesor Equivalente Para $Z = 30 \text{ cm}$	Espesor equivalente Para $Z = 60 \text{ cm}$
Carpeta	-----	$Z_1 = 14 \text{ cm}$			
Base	76.8		$Z_2 = 20 \text{ cm}$		
Sub-base	48.0			$Z_3 = 25 \text{ cm}$	
Subrasante	14.4				$Z_4 = 70 \text{ cm}$
Suelo de Cimentación	2.6				

Espesor de carpeta $Z1 = 14$ cm (espesor equivalente), $Z1 - a1 = 7$ cm (espesor requerido)

Espesor de base $Z2 - Z1 = 20 - 14 = 6$ cm*

Espesor de sub-base $Z3 - Z2 = 25 - 20 = 5$ cm*

Espesor de subrasante $Z4 - Z3 = 70 - 25 = 45$ cm

Considerando razones constructivas y de durabilidad, el espesor del pavimento será:

Capa	Espesor
Carpeta	10 cm
Base	15 cm
Sub – base	15 cm
Terracería	20 cm**

* Por especificación el espesor mínimo es de 15 cm.

** Al aumentar el espesor de la base por especificaciones reducir el espesor del terraplén

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

ANDEN DE CIRCULACION Y ESTACIONAMIENTO

Material de capa	CBRc	Espesor Equivalente Para Z = 0	Espesor Equivalente Para Z = 15 cm	Espesor Equivalente Para Z = 30 cm	Espesor Equivalente Para Z = 60 cm
Carpeta	-----	Z1 = 11 cm			
Base	76.8		Z2 = 11 cm		
Sub-base	48.0			Z3 = 23 cm	
Subrasante	14.4				Z4 = 65 cm
Suelo de Cimentación	2.6				

Espesor de carpeta $Z_1 = 11$ cm (espesor equivalente), $Z_1 a_1 = 5.5$ cm (espesor requerido)

Espesor de base $Z_2 - Z_1 = 18 - 11 = 7$ cm*

Espesor de sub-base $Z_3 - Z_2 = 28 - 23 = 5$ cm*

Espesor de subrasante $Z_4 - Z_3 = 65 - 23 = 42$ cm

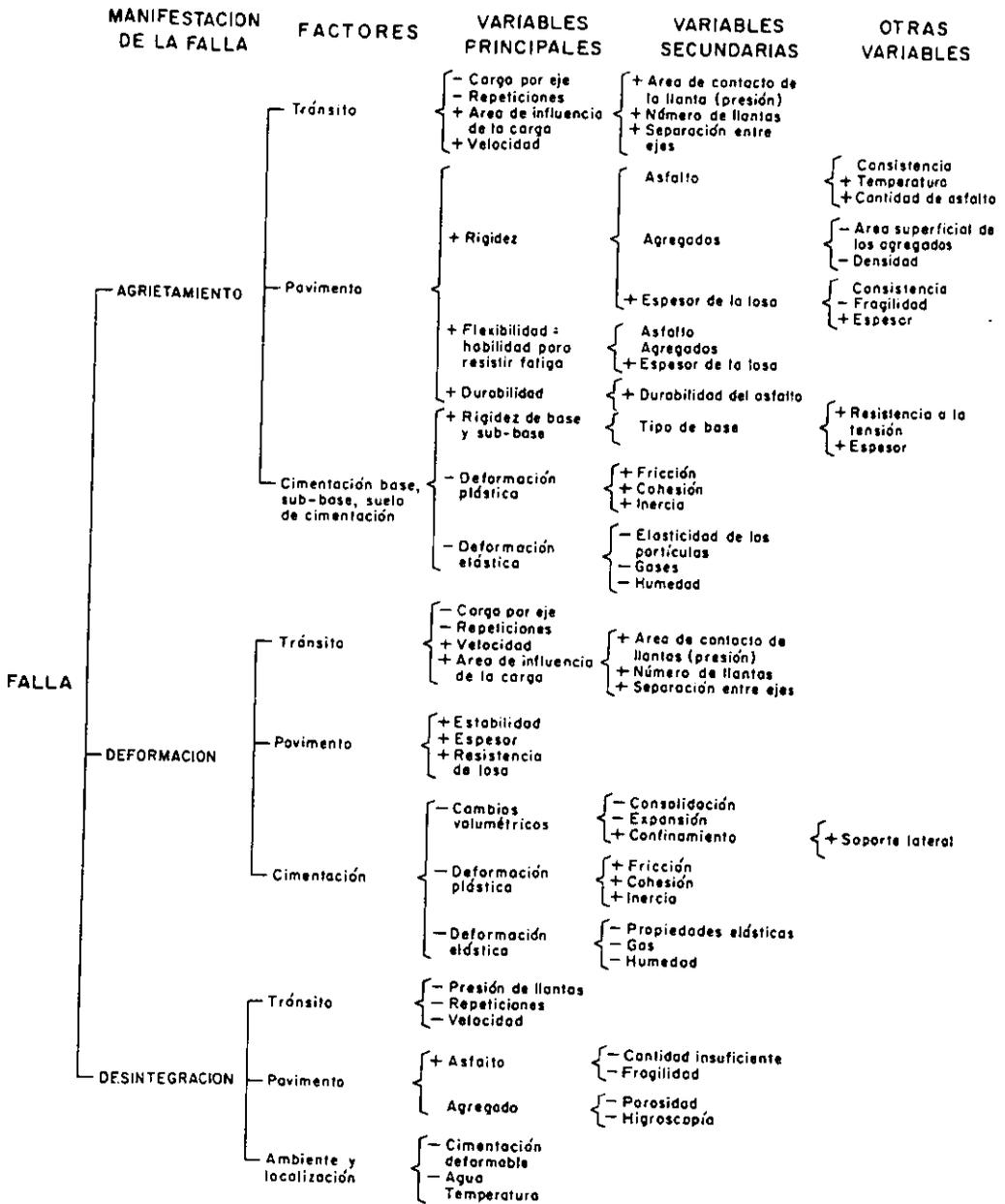
Considerando razones constructivas y de durabilidad, el espesor del pavimento será:

Capa	Espesor
Carpeta	7.5 cm
Base	15 cm
Sub - base	15 cm
Terceña	20 cm**

En las figuras 20 a 22 se muestran las secciones estructurales del pavimento en las distintas zonas, la que se muestra en la figura 18

En el anexo II se presentan las especificaciones necesarias para la construcción de pavimentos.

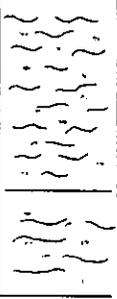
VARIABLES PRINCIPALES QUE INTERVIENEN EN LA FALLA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE *



N O T A S

- Conceptos que son perjudiciales o destructivos si aumentan
- + Conceptos que son benéficos si aumentan
- * Del artículo de F. N. Hveem y G. B. Sherman

A N E X O
II
PRUEBAS DE
LABORATORIO Y PERFILES DE POZOS

PROF (M)	Descripción	Perfil Estratigrafico	GRUPO SUCS	W	LL	LP	IP	G	A	F	U C	U 0	9h	Ss	Simbologia
	PCA - I														
	Material de relleno constituido Por basura empacada en un limo arenoso poco arcilloso, café grisáceo.														
	Limo poco arcilloso arenoso, café grisáceo oscuro		ML - OL	26	50	30	20	0	26	74			1.39		
	Humedad optima = 15% Contracción lineal = 6.1% VRS. Saturado = 2.28% VRS. Natural = 8.6% Peso volumétrico seco = 1.211 ton/m ²														

- 
- ARCILLA
- 
- LIMO
- 
- ARENA
- 
- GRAVA
- 
- RELLENO

MAT ORGANICA

W Contenido de agua
 LL límite líquido
 LP límite Plástico
 IP Índice Plástico
 G Gravas
 A Arenas
 F Finos
 Ss Densidad de solidos
 UU Prueba de
 compresión triaxial no
 consolidada no drenada
 C Cohesión (ton/m)
 Ø Angulo de fricción
 interna
 9h Peso volumétrico
 (ton/m)
 VRS: Valor relativo
 de soporte

PROF (M)	Descripción	Perfil Estratigrafico	GRUPO SUCS	W	LL	LP	IP	G	A	F	U C	U θ	g _h	S _s	Simbologia	
	PCA - 2															
	Material de relleno constituido Por basura empacada en un limo arenoso poco arcilloso, café grisáceo.															<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="margin-bottom: 5px;">ARCILLA</div> <div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="margin-bottom: 5px;">LIMO</div> <div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="margin-bottom: 5px;">ARENA</div> <div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="margin-bottom: 5px;">GRAVA</div> <div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="margin-bottom: 5px;">RELLENO</div> <div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> </div>
	Limo poco arcilloso arenoso, fino, café grisáceo		CL	18	34	12	22	0	40	60			1.33			
	Humedad óptima = 19% Contracción lineal = 2.8% VRS. Saturado = 6.32% VRS. Natural = 9.26% Peso volumétrico seco = 1.115 ton/m ²															MAT ORGANICA W Contenido de agua LL limite líquido LP limite Plástico IP Índice Plástico G Gravas A Arenas F Finos S _s Densidad de sólidos UU Prueba de compresión triaxial no consolidada no drenada C Cohesión (ton/m) θ Angulo de fricción interna g _h Peso volumétrico (ton/m) VRS: Valor relativo de soporte

PROF (M)	Descripción	Perfil Estratigrafico	GRUPO SUCS	W	LL	LP	IP	G	A	F	U C	U θ	9h	Ss	Simbologia
	PCA - 3														
	Material de relleno constituido Por basura empacada en un limo arenoso poco arcilloso, café grisáceo.														
	Limo arenoso fino, poco arcilloso, café grisáceo		CL	16	27	14	13	0	56	44			1..55		
	Humedad optima = 18% Contracción lineal = 3.0% VRS. Saturado = 3.24% VRS. Natural = 3.46% Peso volumétrico seco = 1.312 ton/m2														



ARCILLA



LIMO



ARENA



GRAVA



RELLENO



MAT ORGANICA

W Contenido de agua

LL Limite liquido

LP limite Plastico

IP Indice Plastico

G Gravas

A Arenas

F Finos

Ss Densidad de solidos

UU Prueba de

compresión triaxial no

consolidada no drenada

C Cohesión (ton/m)

θ Angulo de fricción

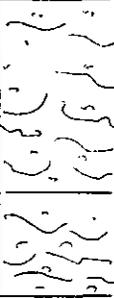
interna

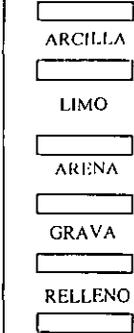
9h Peso volumétrico

(ton/m)

VRS: Valor relativo

de soporte

PROF (M)	Descripción	Perfil Estratigrafico	GRUPO SUCS	W	LL	LP	IP	G	A	F	U C	U θ	9h	Ss	Simbologia
	PCA - 4														
	Material de relleno constituido Por basura empacada en un limo arenoso poco arcilloso, café grisáceo.														
	Limo arenoso fino, poco arcilloso, café grisáceo		CL	16	26	14	12	0	43	57			1.60		
	Humedad optima = 16% Contracción lineal = 2.9% VRS. Saturado = 4.56% VRS. Natural = 10.96% Peso volumétrico seco = 1.378 ton/m2														



MAT ORGANICA

W Contenido de agua
LL limite liquido
LP limite Plastico
IP Indice Plastico
G Gravas
A Arenas
F Finos
Ss Densidad de solidos
UU Prueba de compresión (triaxial) no consolidada no drenada
C Cohesión (ton/m)
θ Angulo de fricción interna
9h Peso volumétrico (ton/m)
VRS: Valor relativo de soporte

PORCENTAJE DE FINOS

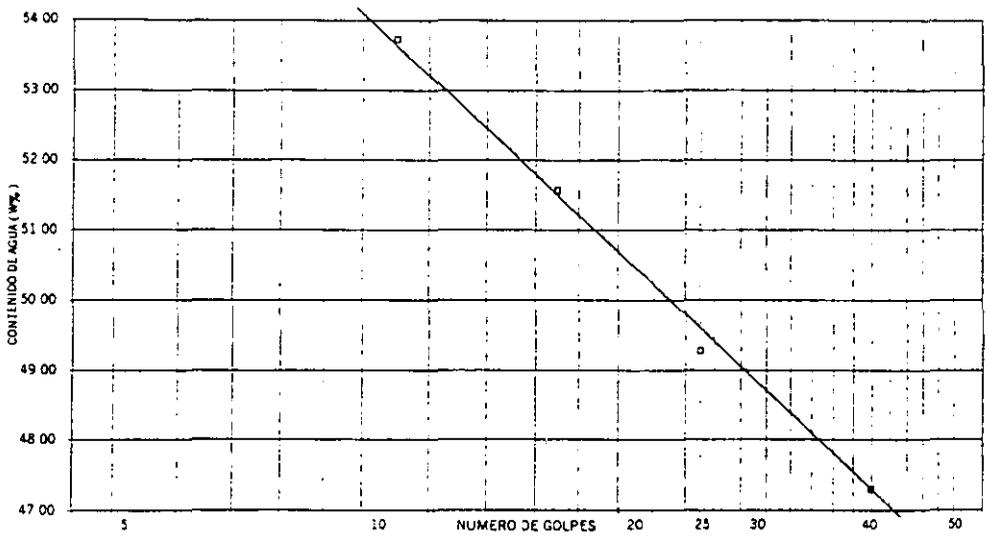
PROCEDENCIA:

CALZ. LA VIGA ECATEPEC

SONDEO:

PCA's

MUESTRA:	PROFUNDIDAD m	Ws+tara gr.	Ws. Lavado +tara	W.tara gr	W total del material	W finos	% Finos
PCA - 1 MC	1.20 - 1.40	90.20	43.50	26.90	63.30	46.70	73.78
PCA - 2 MC	1.10 - 1.30	98.20	53.90	24.10	74.10	44.30	59.78
PCA - 3 MC	1.10 - 1.40	102.70	64.60	16.80	85.90	38.10	44.35
PCA - 4 MC	1.10 - 1.30	87.80	51.20	23.50	64.30	36.60	56.92



CALCULO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: CALZ. LA VIGA ECATEPEC

SONDEO NO: PCA-2 MUESTRA: MC-1 PROF.: 1.10-1.30 m.

DESCRIPCION DEL MATERIAL: LIMO POCO ARCILLOSO, CAFÉ OSCURO CON POCA ARENA

LIMITE LIQUIDO

N° DE GOLPES	N° DE TARA	Wh+T	Ws + t	Wt	W %
34	328	22.00	19.70	12.40	31.51
25	411	21.50	18.80	10.80	33.75
16	362	26.30	22.60	12.30	35.92
10	356	22.20	19.00	10.60	38.10

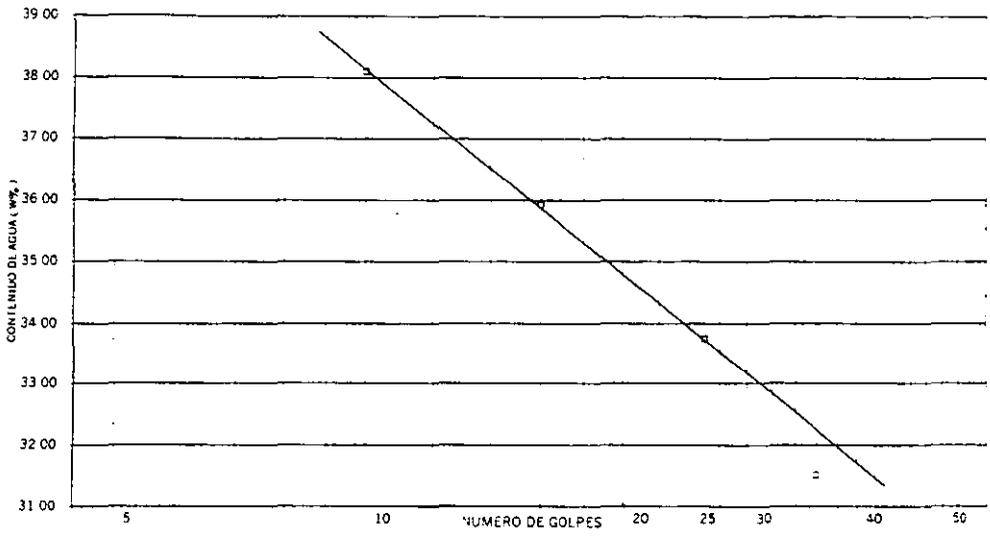
LIMITE PLASTICO

	11	14.60	14.00	9.60	13.64
	455	12.90	12.40	7.70	10.64

CONTRACCION LINEAL

barra no.	lect. inic.	lect. Final	C.L. (%)
8	10.00	9.72	2.8

L.L.	LP	I.P.	S.U.C.S
33.75	12.14	21.61	CL



CALCULO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: CALZ. LA VIGA, ECATEPEC

SONDEO NO: PCA-3 MUESTRA: MC-1 PROF 110-1.40 m.

DESCRIPCION DEL MATERIAL LIMO ARCILLOSO, CAFÉ OSCURO CON POCA ARENA

LIMITE LIQUIDO

N° DE GOLPES	N° DE TARA	W _h +T	W _s + t	W _l	W %
36	401	23.50	21.22	12.30	25.56
25	317	24.40	21.80	12.00	26.53
18	405	24.90	22.30	12.90	27.66
12	308	27.30	24.00	12.40	28.45

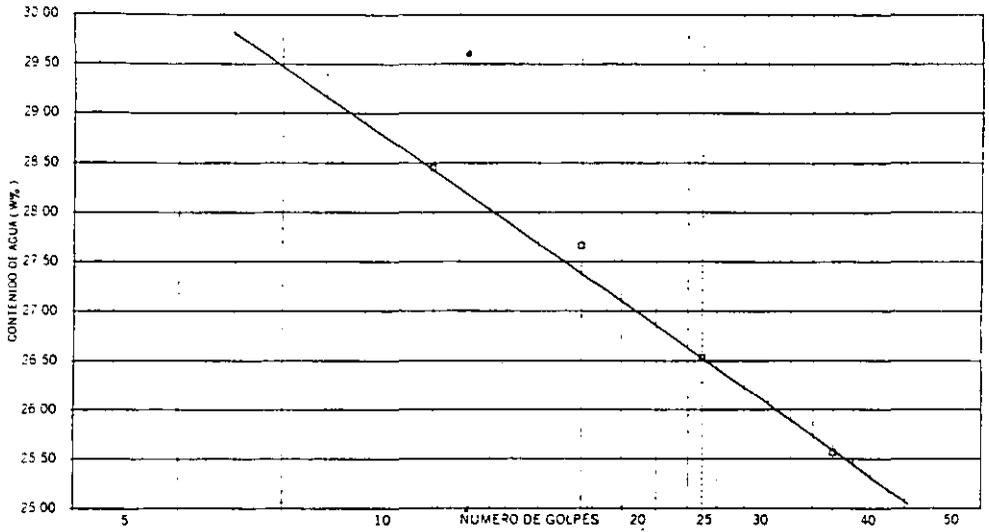
LIMITE PLASTICO

	8	18.10	17.50	13.90	16.67
	430	12.30	11.80	7.70	12.20

CONTRACCION LINEAL

barra no.	lect. Inic.	lect. Final	C.L. (%)
7	9.92	9.62	3.0

L.L.	L.P	I.P.	S.U.C.S.
26.53	14.43	12.10	CL



CALCULO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

PROCEDENCIA: CALZ. LA VIGA ECATEPEC

SONDEO NO: PCA-4 MUESTRA: MC-1 PROF: 1.10-1.30 m.

DESCRIPCION DEL MATERIAL: LIMO POCO ARCILLOSO, CAFÉ OBSCURO CON POCA ARENA

LIMITE LIQUIDO

N° DE GOLPES	N° DE TARA	Wh+T	Ws + t	Wt	W %
37	364	21.60	19.60	12.00	26.32
25	358	22.90	20.60	11.90	26.44
18	398	24.70	21.70	10.50	26.79
10	409	23.60	20.80	10.60	27.45

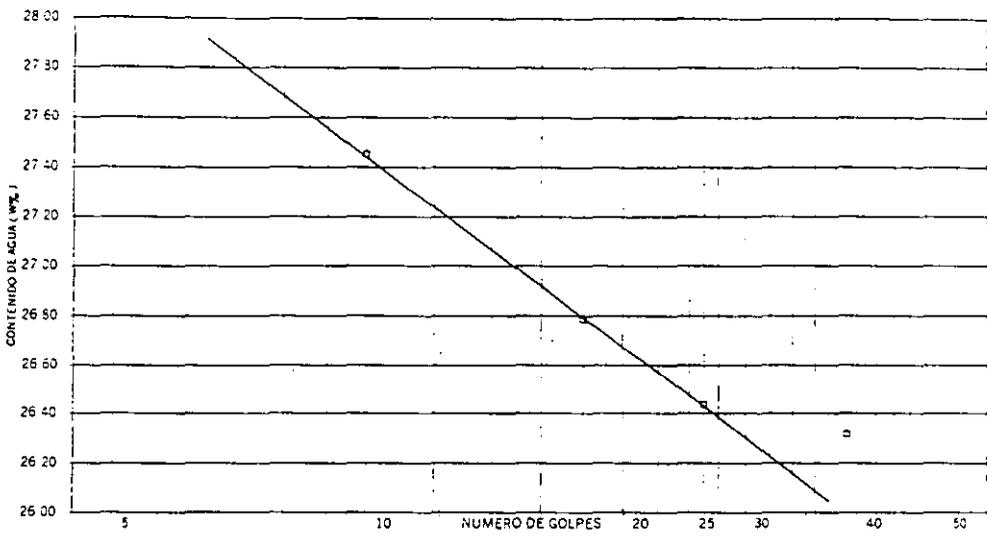
LIMITE PLASTICO

	14	14.00	13.50	9.90	13.89
	426	12.00	11.50	7.80	13.51

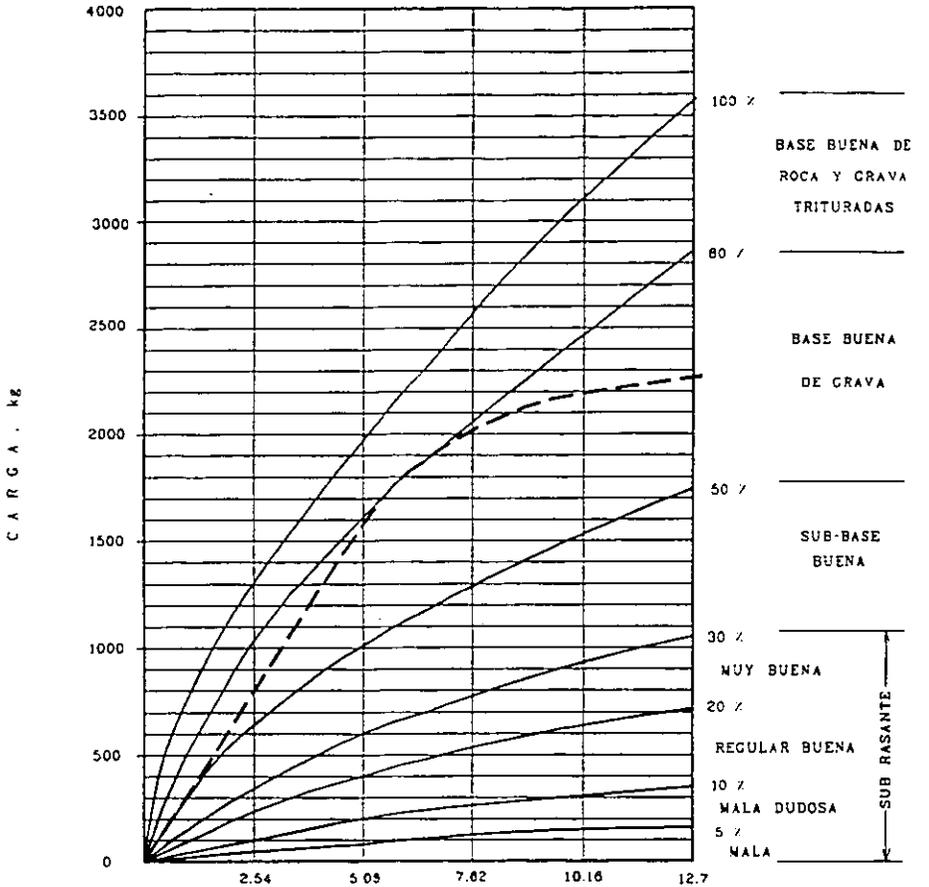
CONTRACCION LINEAL

barra no.	lect. Inic.	lect. Final	C.L. (%)
1	10.01	9.72	2.9

L.L.	L.P.	I.P.	S.U.C.S.
26.44	13.70	12.74	CL



PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORTE



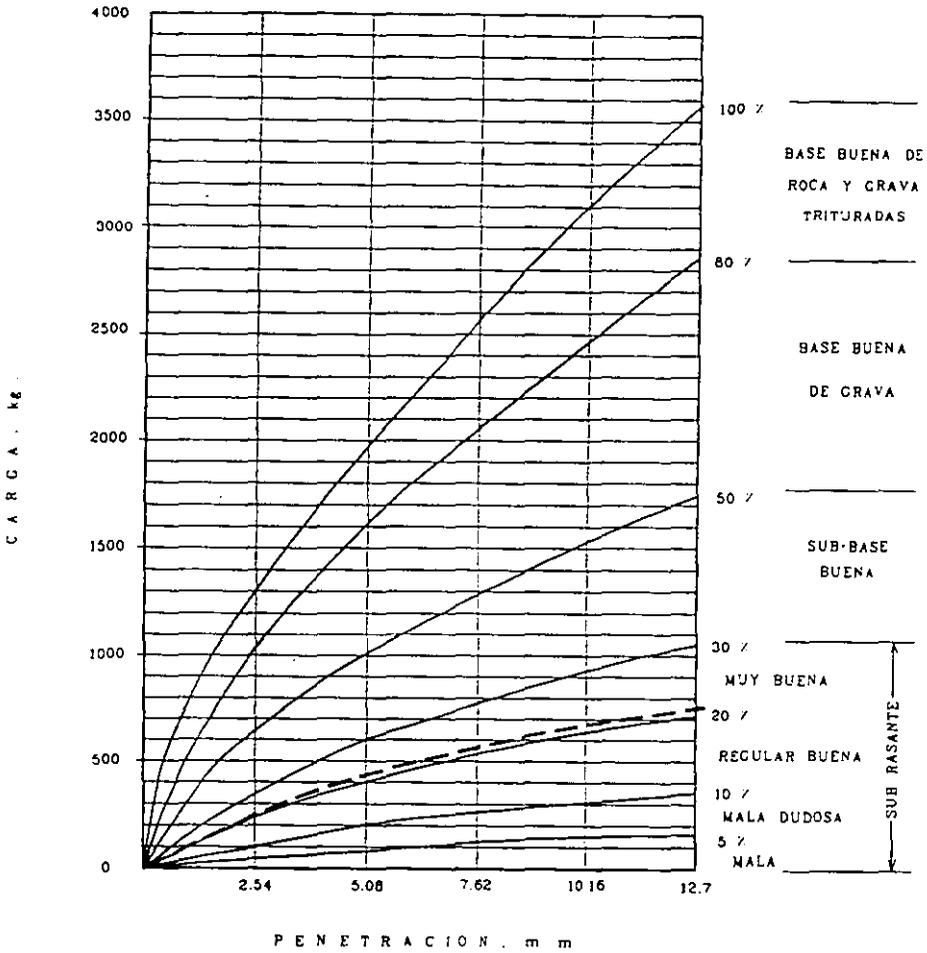
CL = 2.7 % PVSM = 1427 kg/m³
 LL = 33 % W_{opt} = 27.5 %
 LP = 28 % % F = 75 %

PENETRACION . m m .

CL = CONTRACCION LINEAL
 LL = LIMITE LIQUIDO
 LP = LIMITE PLASTICO
 PVSM = PESO VOLUMETRICO SECO
 W_{opt} = HUMEDAD OPTICA
 % F = PORCENTAJE DE FINOS

Muestra	Símbolo	Grado de compac	V. R. S. %
-	-----	100%	58.1
		Proctor estandar	
Banco: San Pedro Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec			

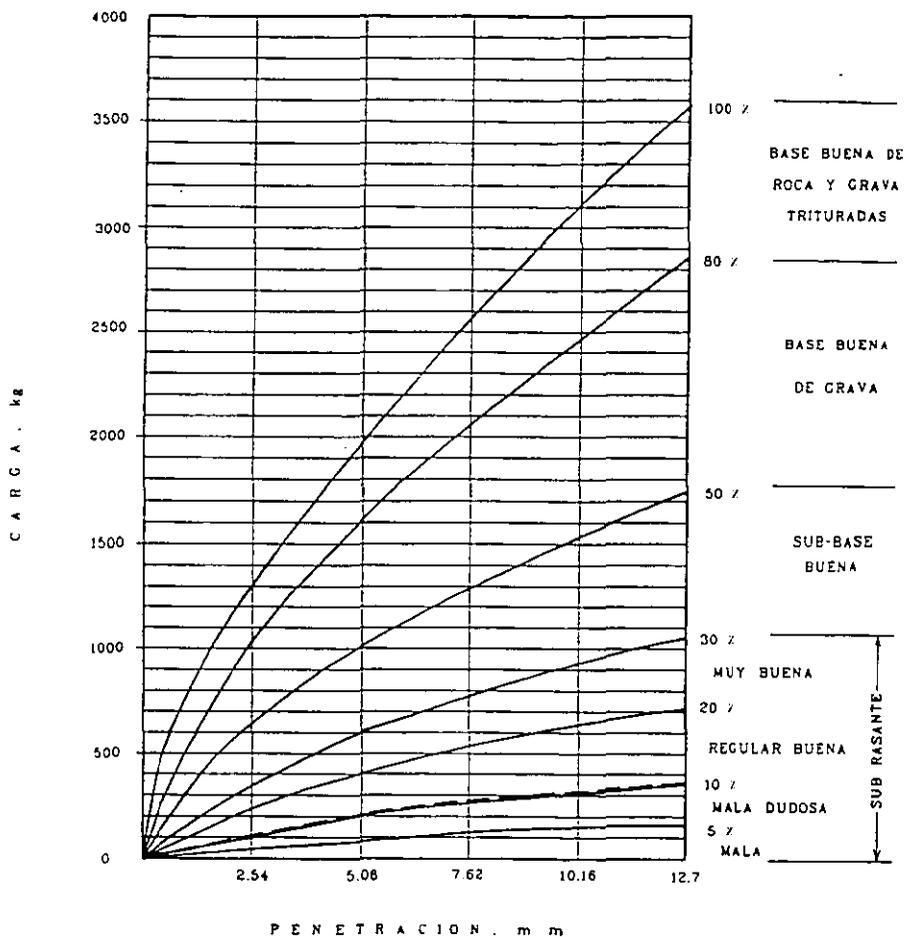
PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORTE



Muestra	Simbolo	Grado de compac	V. R. S. %
-	-----	95%	18.4
		Proctor estandar	

Banco: San Pedro Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec

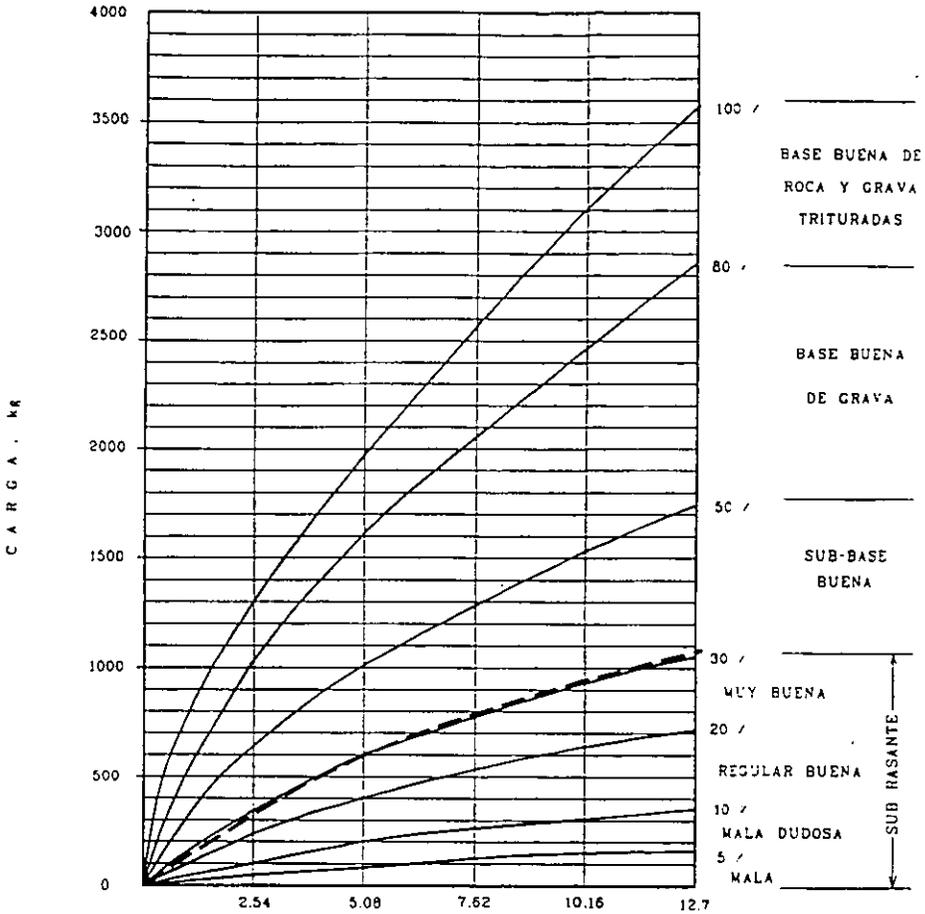
PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORTE



Muestra	Simbolo	Grado de compac	V. R. S. %
-	-----	90%	8.0
		Proctor estandar	

Banco: San Pedro Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec

PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORTE



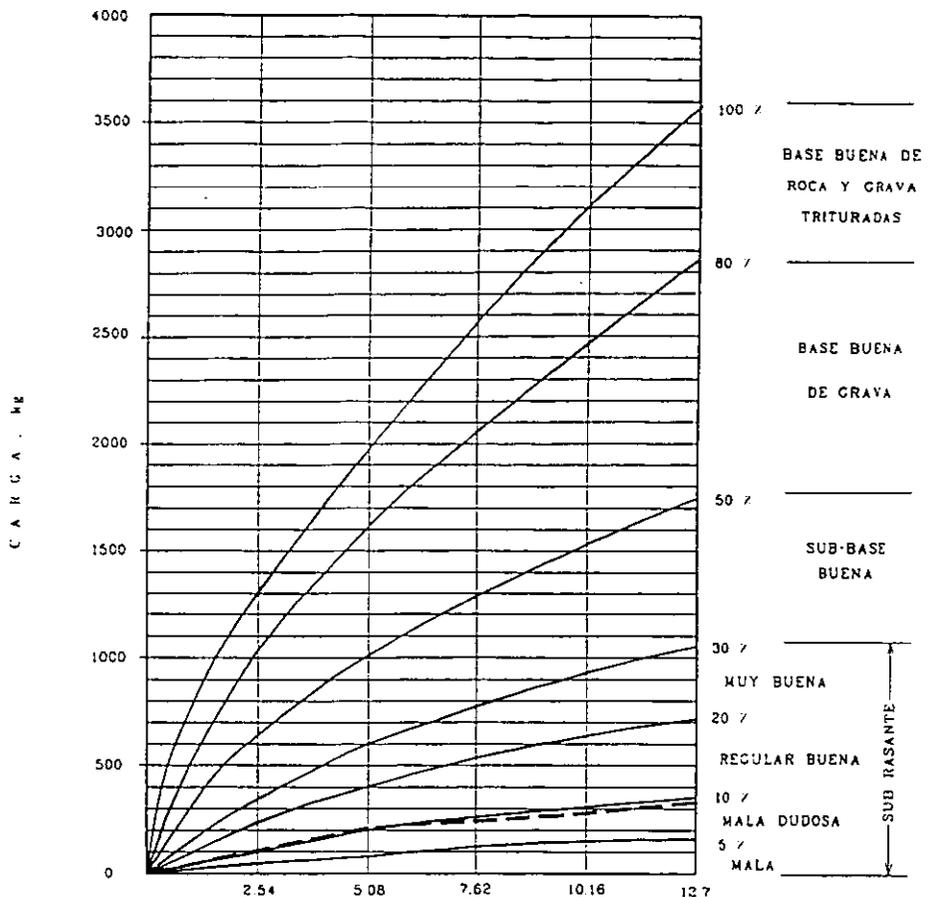
CL = 3.6 % PVSM = 1590 kg/m³
 LL = 28 % WOPT = 19.5 %
 LP = 23 % % F = 75 %

PENETRACION . m m

CL = CONTRACCION LINEAL
 LL = LIMITE LIQUIDO
 LP = LIMITE PLASTICO
 PVSM = PESO VOLUMETRICO SECO
 WOPT = HUMEDAD OPTICA
 % F = PORCENTAJE DE FINOS

Muestra	Simbolo	Grado de compac	V. R. S. %
-	-----	95%	23.2
Banco: Cervantes Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec			

PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORTE



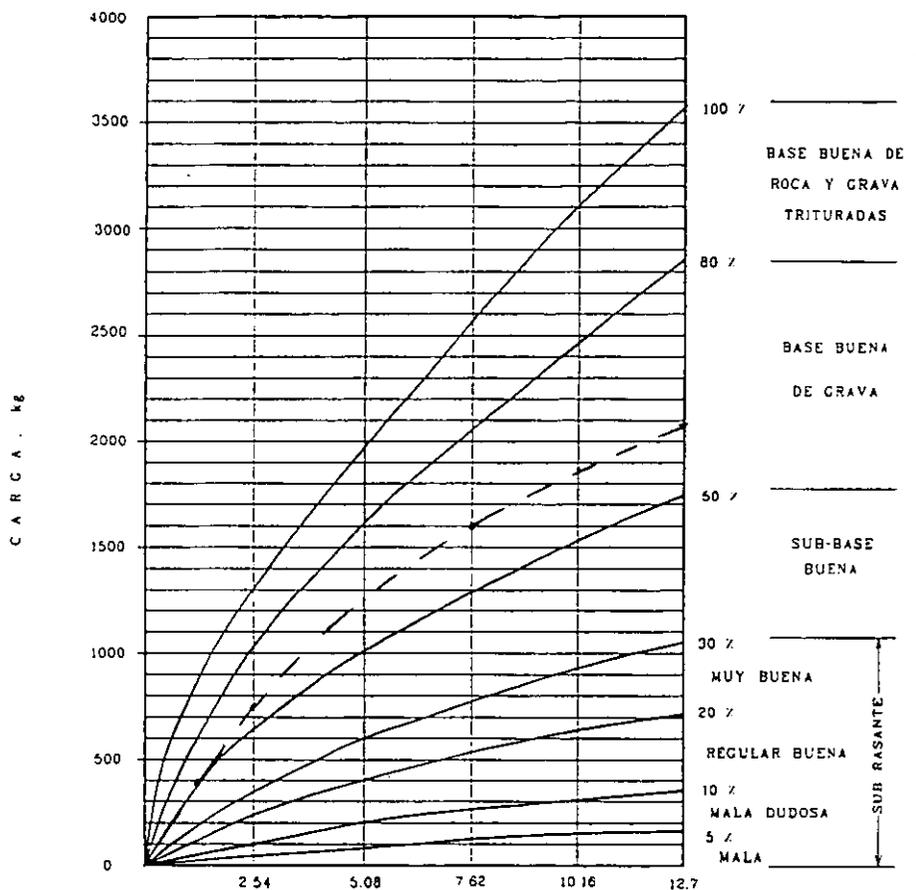
CL = 3.6 % PVSM = 1590 kg/m³
 LL = 28 % w_{opt} = 19.5 %
 LP = 23 % % F = 47 %

PENETRACION . m m

CL = CONTRACCION LINEAL
 LL = LIMITE LIQUIDO
 LP = LIMITE PLASTICO
 PVSM = PESO VOLUMETRICO SECO
 w_{opt} = HUMEDAD OPTICA
 % F = PORCENTAJE DE FINOS

Muestra	Simbo	Grado de compac	V. R. S. %
-	-----	90%	7.8
Banco: Cervantes Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec			

PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORTE



CL = 0.4 % PVSU = 1511 kg/cm³
 LL = 0 % W_{opt} = 12.2 %
 LP = 0 % % F = 8 %

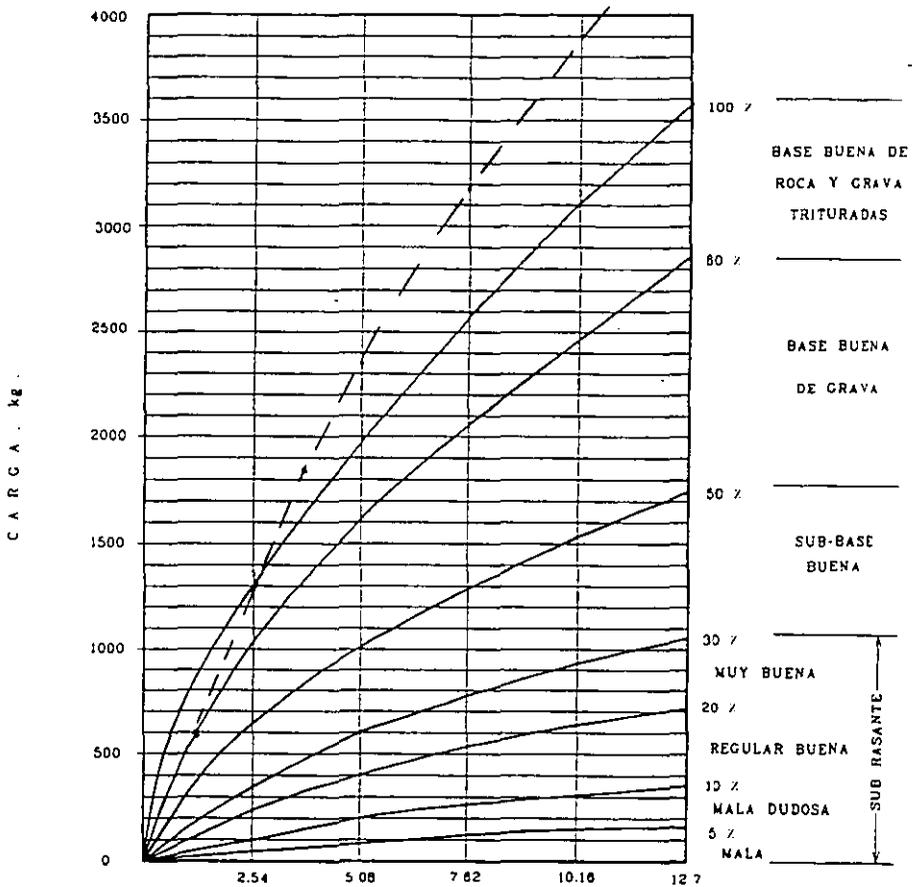
PENETRACION . m . m

CL = CONTRACCION LINEAL
 LL = LIMITE LIQUIDO
 LP = LIMITE PLASTICO
 PVSU = PESO VOLUMETRICICO SECO
 W_{opt} = HUMEDAD OPTICA
 % F = PORCENTAJE DE FINOS

Muestra	Simbolo	Grado de compac	V. R. S. %
"	-----	90%	55.0
		Proctor estandar	

Banco: Totolcingo Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec

PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORTE



CL = 0.4 %
 LL = 0 %
 LP = 0 %

PVSM = 1511 kg/m³
 wopt = 12.2 %
 % F = 8 %

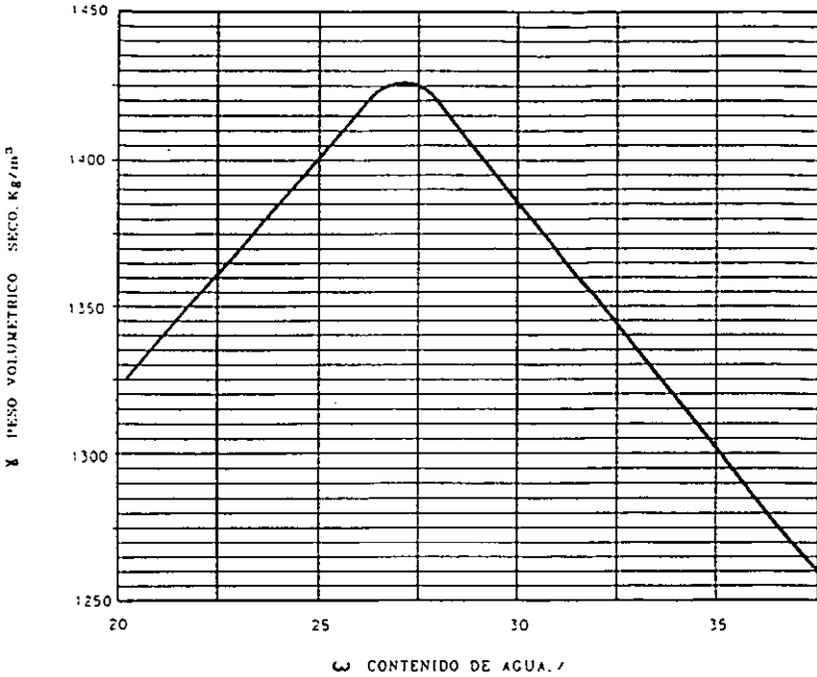
PENETRACION . m m

CL = CONTRACCION LINEAL
 LL = LIMITE LIQUIDO
 LP = LIMITE PLASTICO
 PVSM = PESO VOLUMETRICO SECO
 wopt = HUMEDAD OPTICA
 % F = PORCENTAJE DE FINOS

Muestra	Simbolo	Grado de compac	V. R. S. %
-	-----	95%	94.0
		Proctor estandar	

Banco: Totolcingo Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec

PRUEBA DE COMPACTACION



Tipo de prueba	Símbolo	Muestra	opt kg/m ³	w opt %	G %	e
Proctor	—	-	1427	27.5	-	-
Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec						
Banco: San Pedro						

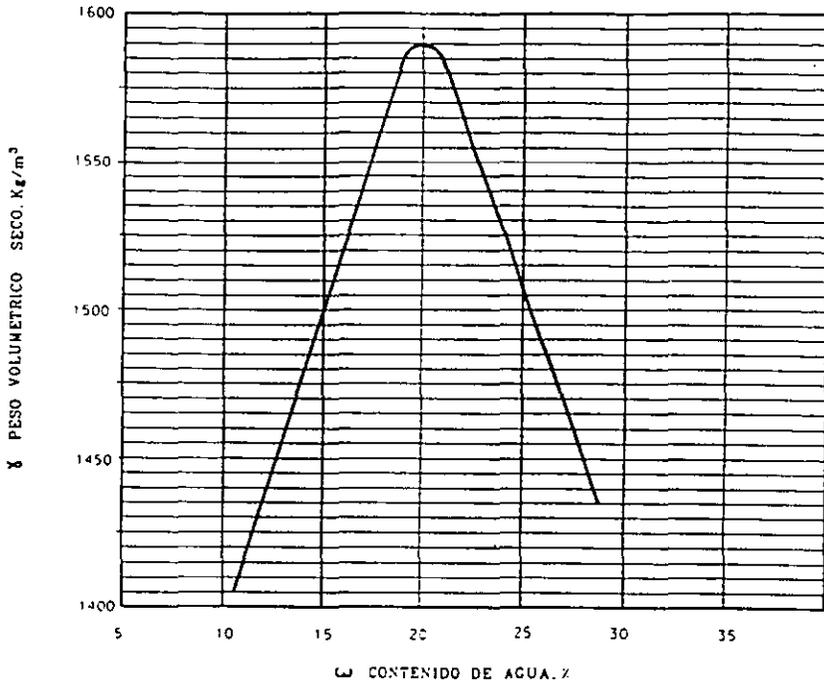
opt. Peso específico seco óptimo

opt. Contenido de agua óptimo

G Grado de saturación

e Relación de vacíos

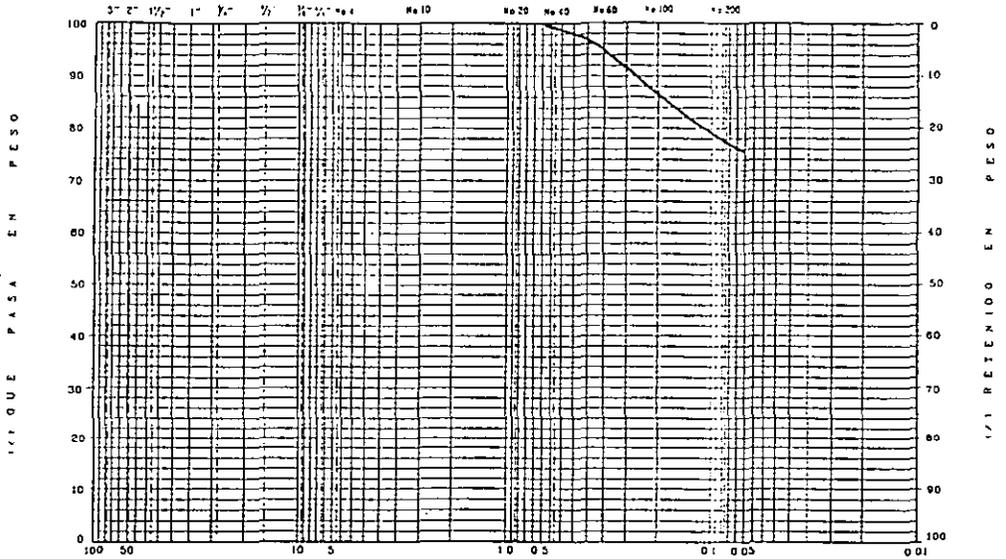
PRUEBA DE COMPACTACION



Tipo de prueba	Simbolo	Muestra	opt Kg/m3	w opt %	G %	e
Proctor	—	-	1590	19.5	-	-
Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec						
Banco: Cervantes						

- opt. Peso específico seco óptimo
- opt. Contenido de agua óptimo
- G Grado de saturación
- e Relación de vacíos

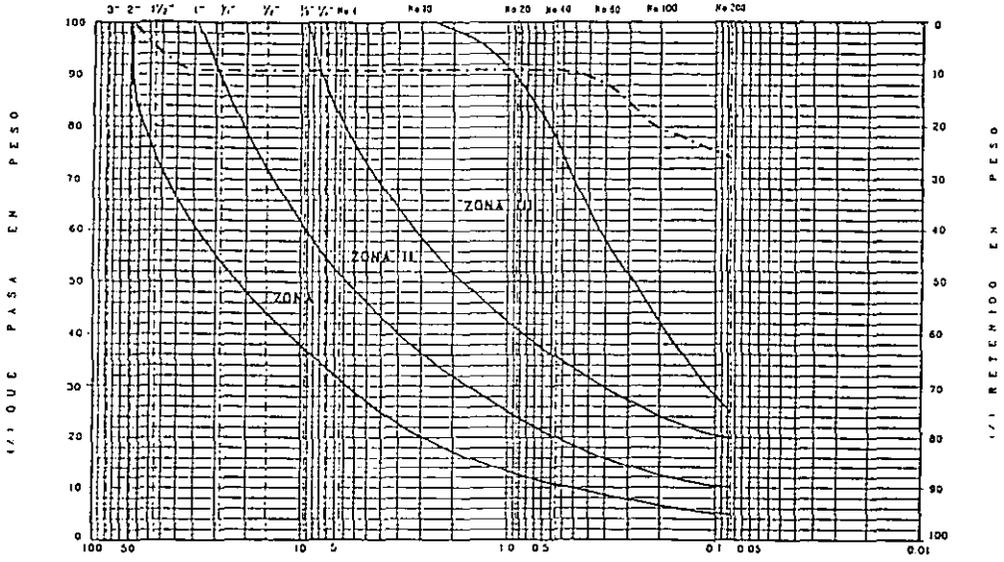
M A L L A U. S. E S T A N D A R



TAMAÑO DEL GRANO EN mm.

GRAVA						ARENA					
GRUESA			FINA			GRUESA		MEDIANA		FINA	
PROFUNDIDAD MEDIA	MUESTRA No.	SIMBOLO	D10	D30	D60			GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	GRUPO SUCS
1.00	-		-	-	-	-	-	-	22	78	(MH)

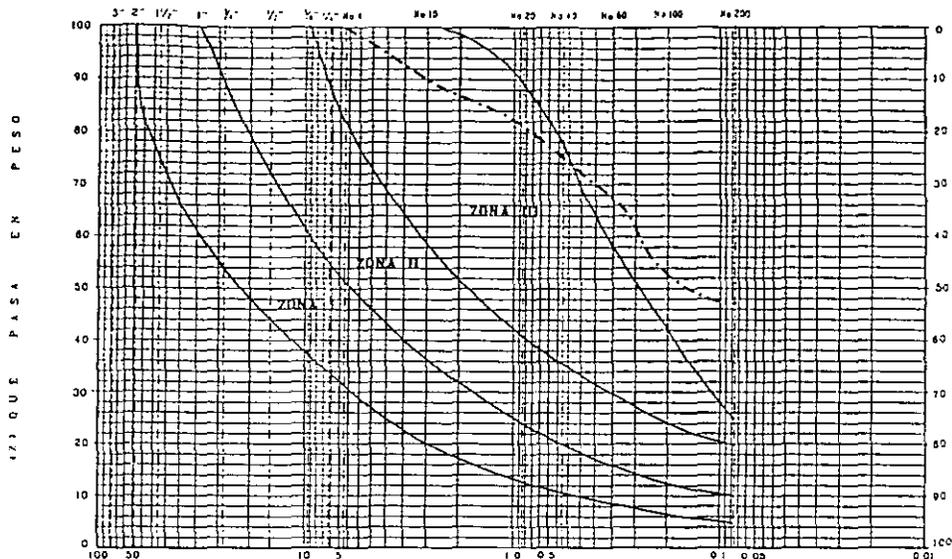
MALLA U.S. ESTANDAR



TAMAÑO DEL GRANO EN mm.

GRAVA							ARENA				
GRUESA			FINA		GRUESA		MEDIANA		FINA		
BANCO	MUESTRA No.	SÍMBOLO	D10 mm	D30 mm	D60 mm	-	-	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	GRUPO SUCS
SAN PEDRO	-	—————	-	-	-	-	-	S	17	75	(ML)

M A L L A U. S. E S T A N D A R



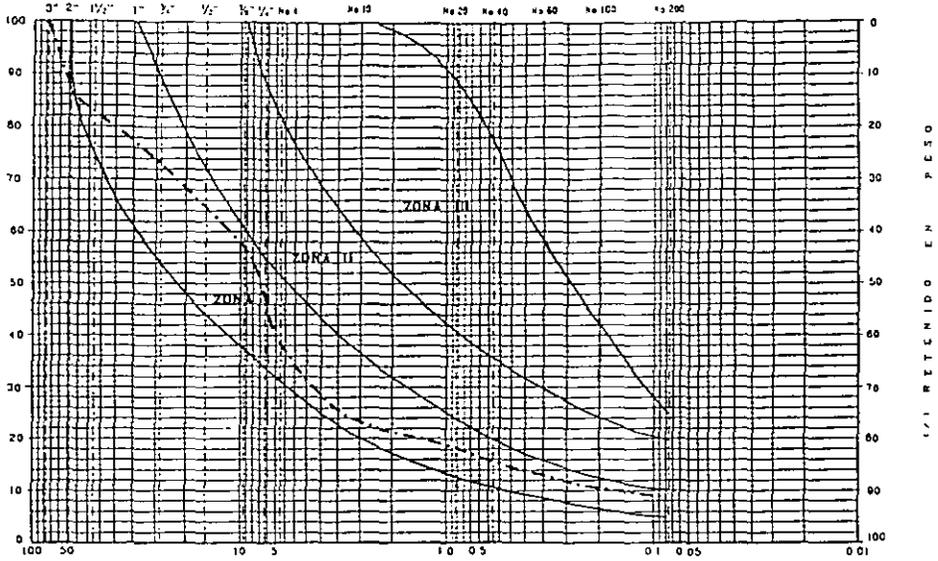
TAMAÑO DEL GRANO EN mm.

GRAVA	ARENA
-------	-------

GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIANA	FINA
--------	------	--------	---------	------

BANCO	MUESTRA No.	SIMBOLO	D10	D30	D60			GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	GRUPO SUCS
	-	-	mm	mm	mm	-	-	8	53	47	(ML)
CERVANTES	-	—	-	-	0.17	-	-	8	53	47	(ML)

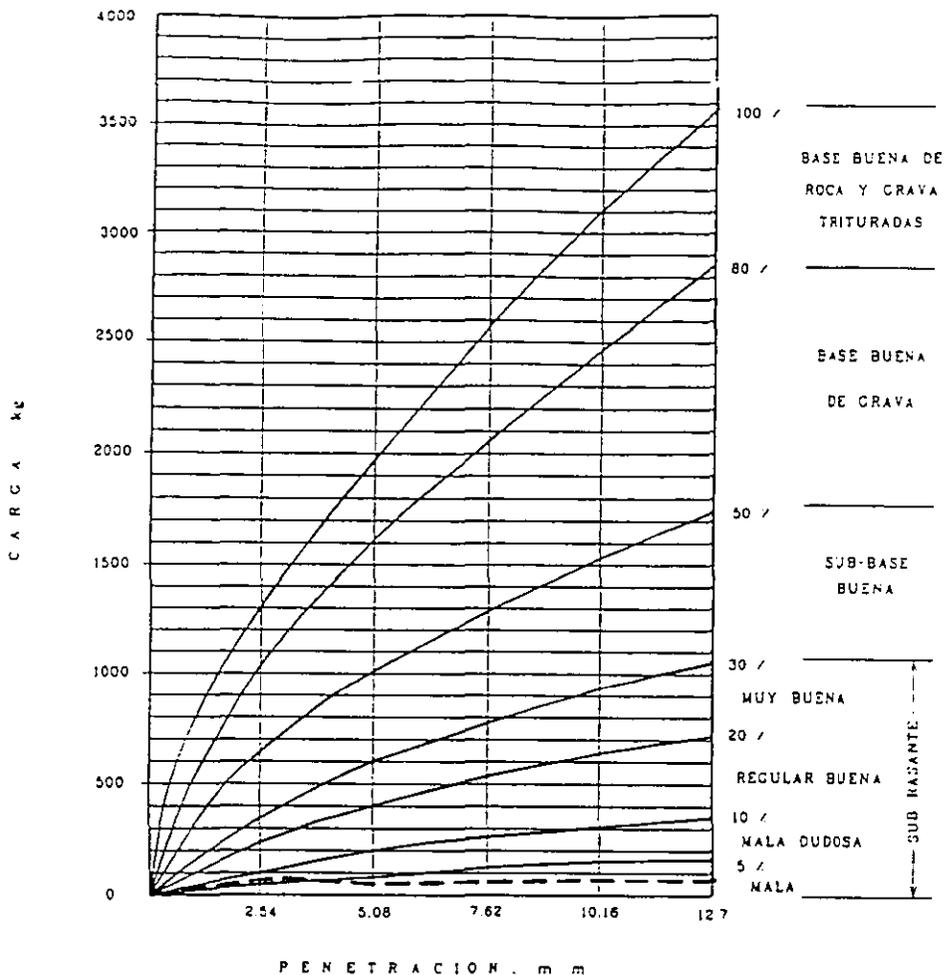
M A L L A U. S. E S T A N D A R



TAMAÑO DEL GRANO EN mm.

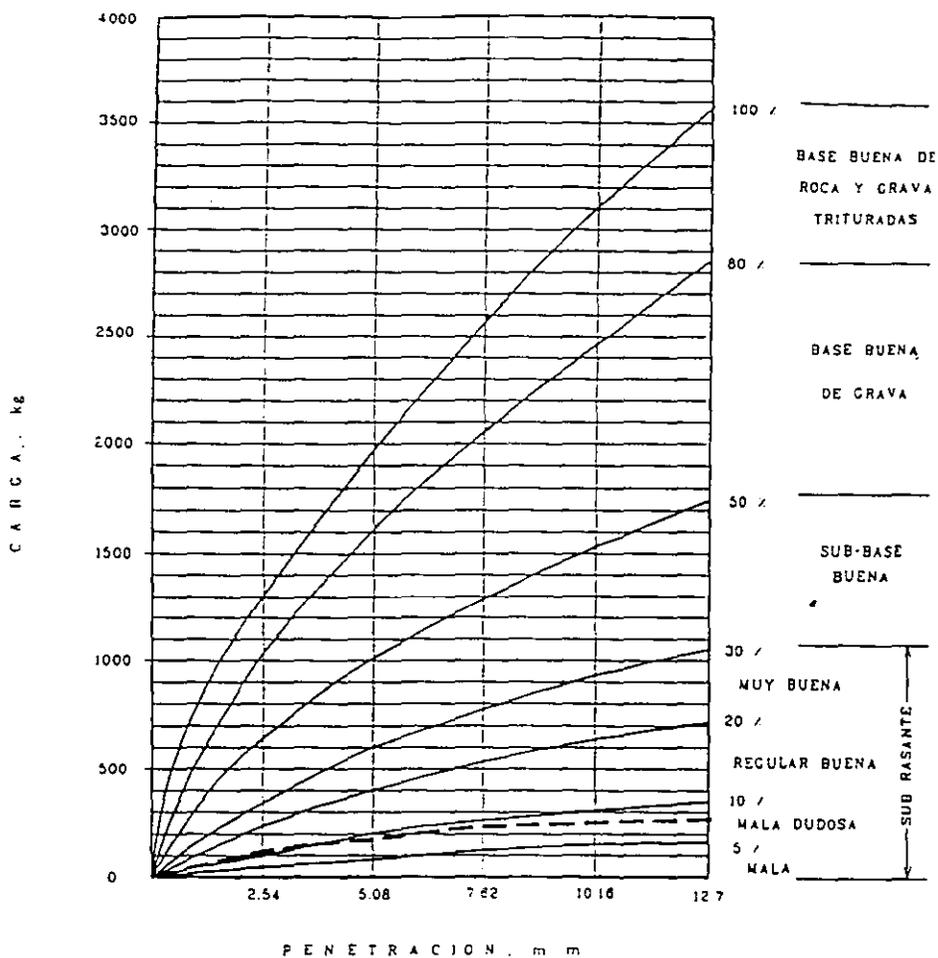
GRAVA							ARENA				
GRUESA			FINA		GRUESA		MEDIANA		FINA		
BANCO	MUESTRA No.	SIMBOLO	D10	D30	D60			GRAVA	ARENA	FINOS	GRUPO SUCS
	-	—	mm	mm	mm	-	-	(%)	(%)	(%)	-
TOTALCINGO	1	—	0.15	3.5	10	66.7	8.2	64	28	8	(GP-GM)

PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORTE



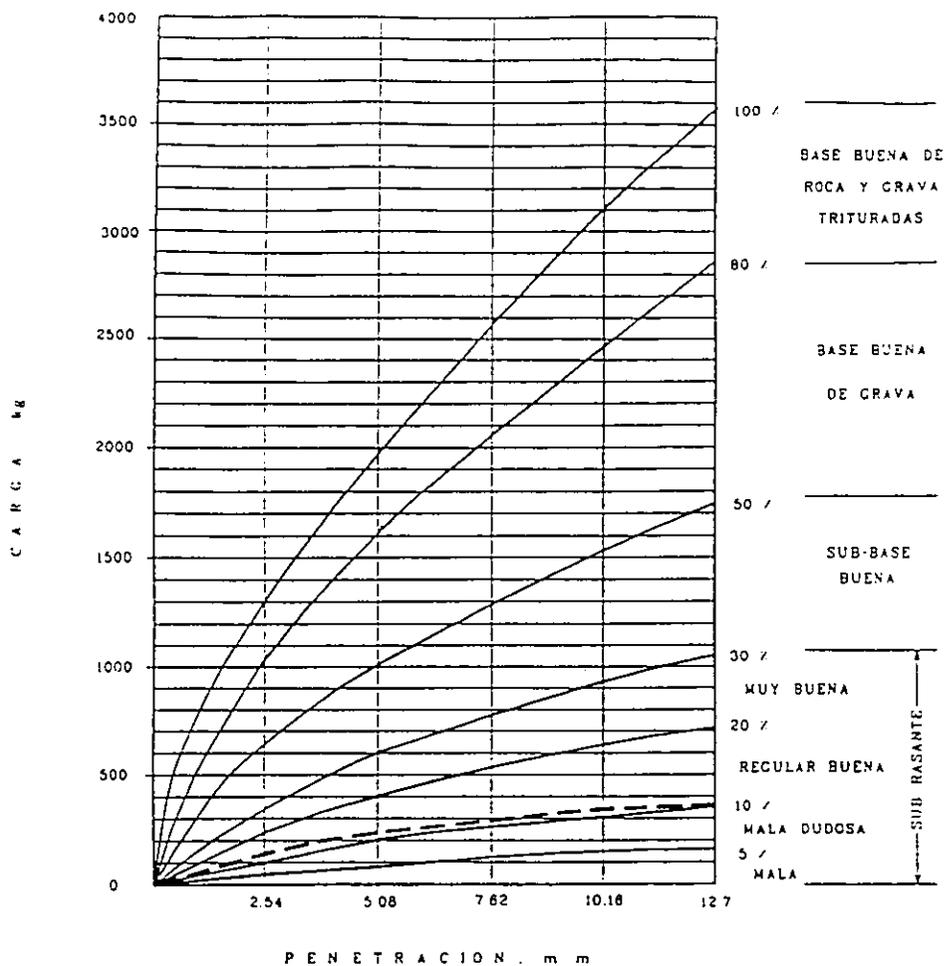
Muestra	Simbolo	Grado de compac	V. R. S. %
-	-----	Natural	4.4
		Saturado	
Sondeo: PCA - 1			
Prof: 1.85 m	Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec		

PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORTE



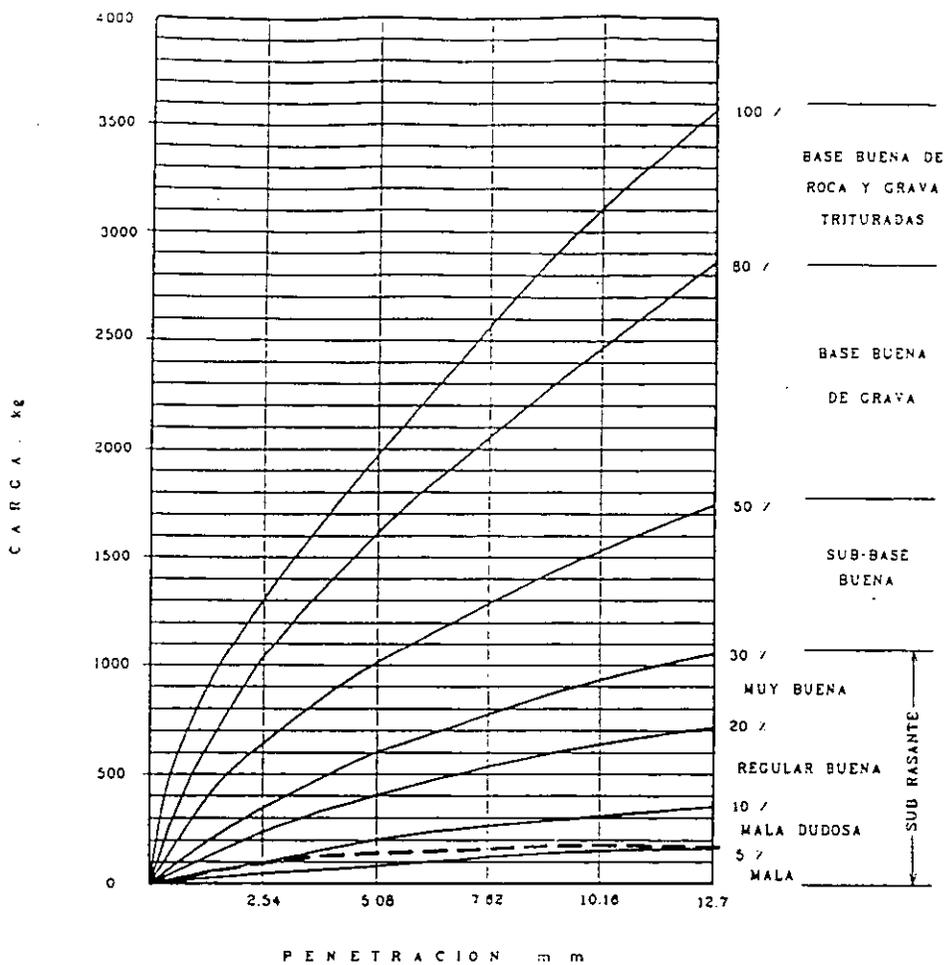
Muestra	Simbolo	Grado de compac	V. R. S. %
-	-----	Natural	9.4
Sondeo: PCA - 2			
Prof: 1.45 m	Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec		

PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORT



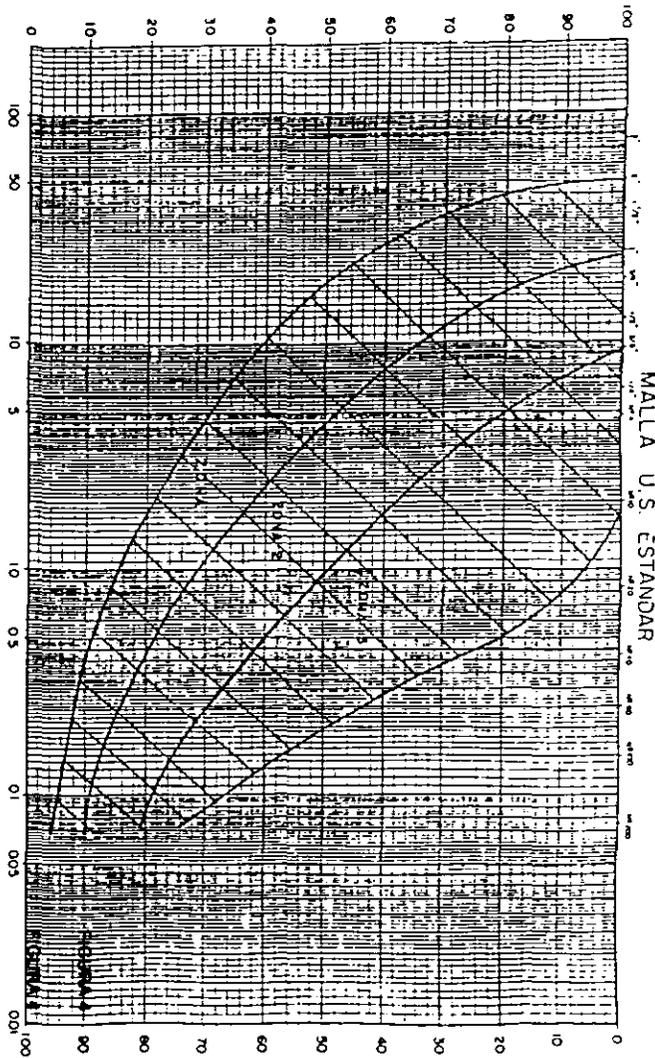
Muestra	Símbolo	Grado de compac	V. R. S. %
-	-----	Natural	10.3
Sondeo: PCA - 3			
Prof: 1.65 m	Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec		

PRUEBA VALOR RELATIVO DE SOPORTE



Muestra	Simbolo	Grado de compac	V. R. S. %
-	-----	Natural	7.6
Sondeo: PCA - 4			
Prof: 1.40 m	Obra: Unidad Habitacional Calz. La Viga Ecatepec		

% DE PASA EN PESO



TAMAÑO DEL GRANO EN mm.

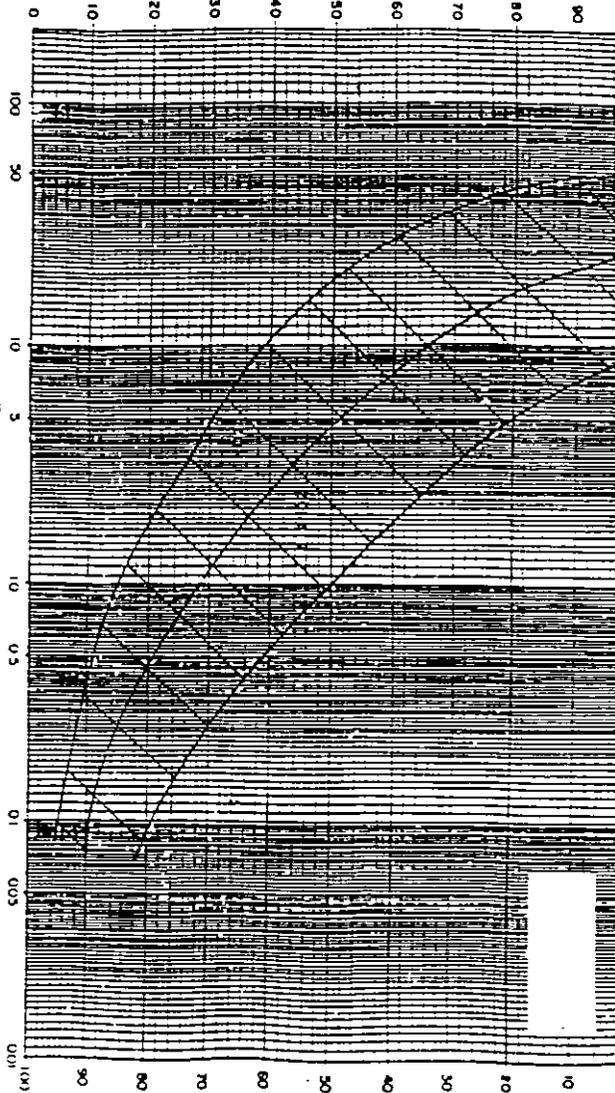
GRAVA ARENA

GRUESA FINA GRUESA MEDIANA FINA

PROFUNDIDAD MEDIA	MUESTRA No.	SIMBOLO	D10	D30	D60			GRAVA	ARENA	FINOS	GRUPO SUCS
M	-		mm	mm	mm	-	-	(%)	(%)	(%)	-

ZONAS 1, 2 y 3 ESPECIFICACIONES PARA SUB-BASE

% QUE PASA EN PESO



TAMAÑO DEL GRANO EN mm.

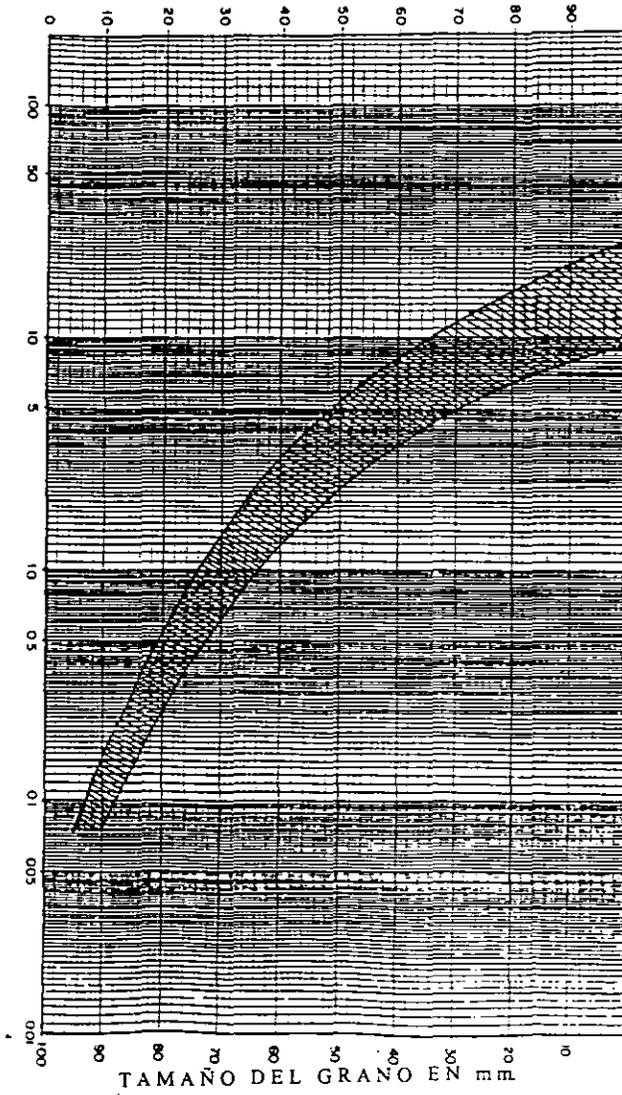
GRAVA	ARENA
-------	-------

GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIANA	FINA
--------	------	--------	---------	------

PROFUNDIDAD MEDIA	MUESTRA No.	SÍMBOLO	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀			GRAVA	ARENA	FINOS	GRUPO SUCS
M	-		mm	mm	mm	-	-	(%)	(%)	(%)	-

ZONAS 1 y 2 ESPECIFICACIONES PARA BASE
--

% QUE PASA EN PESO



GRAVA

ARENA

GRUESA

FINA

GRUESA

MEDIANA

FINA

PROFUNDIDAD MEDIA	MUESTRA No.	SIMBOLO	D10	D30	D60			GRAVA	ARENA	FINOS	GRUPO SUCS
M	-		mm	mm	mm	-	-	(%)	(%)	(%)	-

ESPECIFICACION DE GRANULOMETRIA PARA CARPETA ASFALTICA

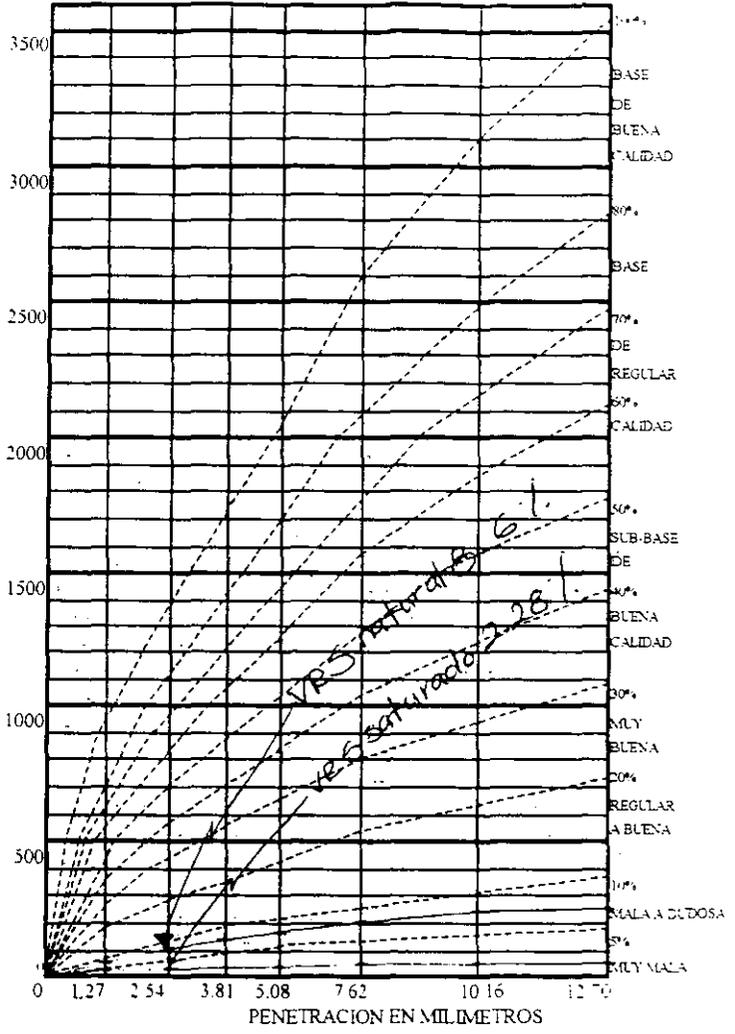
Procedencia:	Calzada La Viga Ecatepec	
Sondeo:	PCA - 1	Fecha: 06/05/00
Muestra:	MC - 1	
Profundidad:	1.20 - 1.40	

PORTER SATURADA				
Peso material + molde (gr)		8973		
Peso del molde (gr)		5511		
Peso del material (gr)		3462		
Altura del molde (cm)		12.70		
Altura faltante(cm)		0.00		
Altura del material (cm)		12.70		
Area del molde (cm ²)		196.07		
Volumen(cm ³)		2490.09		
P. V. H. (TON/M3)		1.390		
P. V. S. (TON/M3)		1.211		
H. O. (%)		14.80		
% Exp.		-0.6		
% V. R. S.		8.6%	2.28%	
1.27	4.7	1.7	69	25
2.54	7.9	2.1	117	31
3.81	10.0	2.3	148	34
5.08	11.9	2.8	176	41
7.62	14.4	3.2	213	47
10.16	17.0	3.7	251	55
12.70	18.1	4.2	268	62
Molde N°	120	Nat.	Satur.	
Anillo:	14.78	14.78		
Lec. Inicial			7.10	
Lec. Final			7.17	

C
A
R
G
A

E
N

K
I
L
O
G
R
A
M
O
S



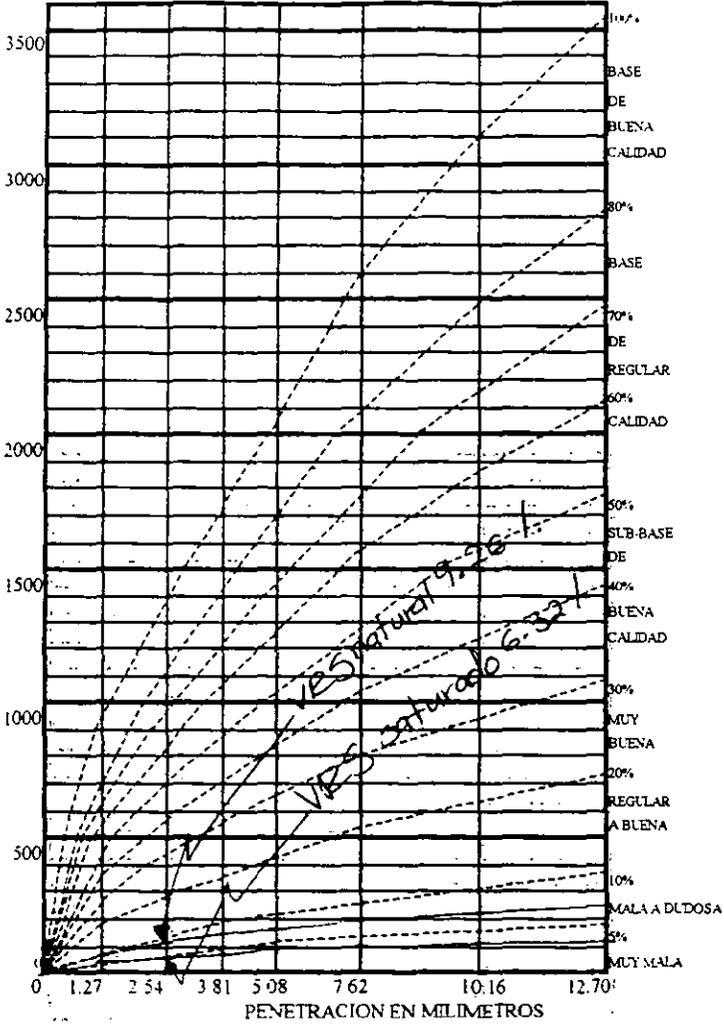
Procedencia:	Calzada La Viga Ecatepec	
Sondeo:	PCA - 2	Fecha: 06/05/00
Muestra:	MC - 1	
Profundidad:	1.10 - 1.30	

Peso del material (gr)	3305			
Altura del molde (cm)	12.68			
Altura faltante(cm)	0.00			
Altura del material (cm)	12.68			
Area del molde (cm2)	196.07			
Volumen(cm3)	2486.17			
P. V. H. (TON/M3)	1.329			
P. V. S. (TON/M3)	1.115			
H. O. (%)	19.27			
% Exp.	-0.3			
% V. R. S.	9.26%	6.32%		
1.27	5.8	3.8	86	56
2.54	8.5	5.8	126	86
3.81	10.4	6.3	154	93
5.08	12.0	6.9	177	102
7.62	14.1	7.4	208	109
10.16	15.2	7.8	225	115
12.70		8.2		121
Moide N°	100		Nat.	Satur.
Anillo:	14.78	14.78		
Lec. Inicial	7.32			
Lec. Final	7.36			

C
A
R
G
A

E
N

K
I
L
O
G
R
A
M
O
S



Procedencia:	Calzada La Viga Ecatepec	
Sondeo:	PCA - 4	Fecha: 06/05/00
Muestra:	MC - 1	
Profundidad:	1.10 - 1.30	

Peso del molde (gr)	5036			
Peso del material (gr)	3861			
Altura del molde (cm)	12.70			
Altura faltante(cm)	0.00			
Altura del material (cm)	12.70			
Area del molde (cm2)	196.07			
Volumen(cm3)	2490.09			
P. V. H. (TON/M3)	1.551			
P. V. S. (TON/M3)	1.312			
H. O. (%)	18.14			
% Exp.	-0.3			
% V. R. S.	3.46%	3.24%		
1.27	2.2	2	33	30
2.54	3.2	3	47	44
3.81	4.1	3.6	61	53
5.08	4.9	3.9	72	58
7.62	6.3	4.7	93	69
10.16	8.0	5.3	118	78
12.70	9.5	6.2	140	92
Molde N°	19		Nat.	Satur.
Anillo:	14.78	14.78		
Lec. Inicial	8.35			
Lec. Final	8.39			

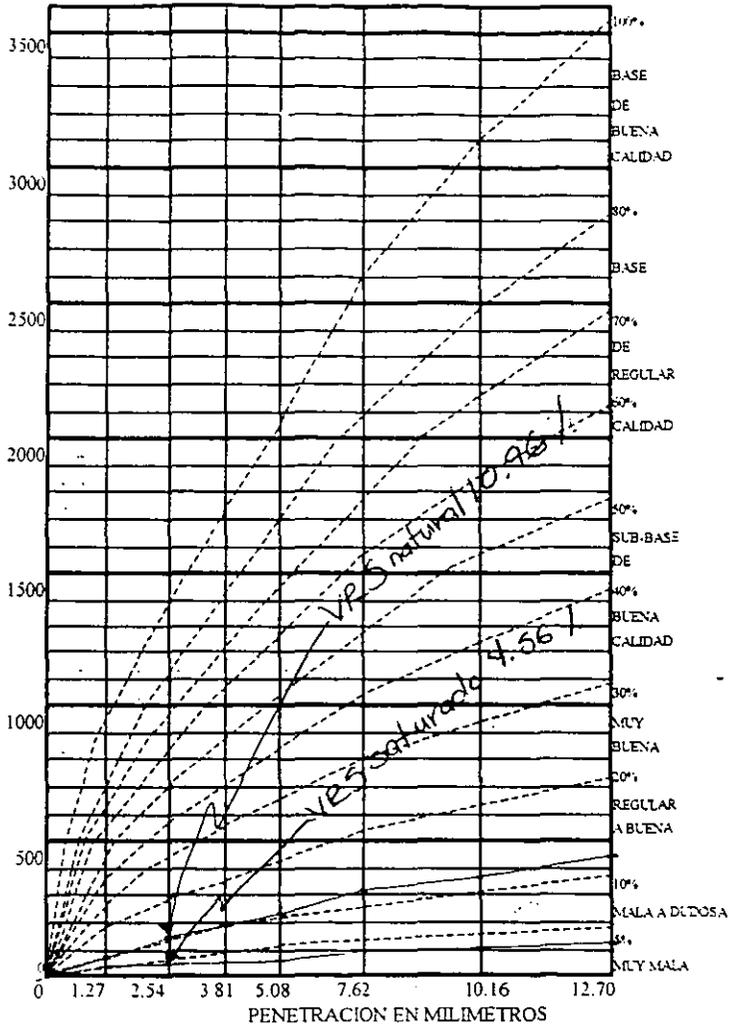
Procedencia: Calzada La Viga Ecatepec
Sondeo: PCA - 1 **Fecha:** 06/05/00
Muestra: MC - 1
Profundidad: 1.20 - 1.40

Peso del molde (gr)	4977			
Peso del material (gr)	3975			
Altura del molde (cm)	12.65			
Altura faltante(cm)	0.00			
Altura del material (cm)	12.65			
Area del molde (cm2)	196.07			
Volumen(cm3)	2480.29			
P. V. H. (TON/M3)	1.603			
P. V. S. (TON/M3)	1.378			
H. O. (%)	16.33			
% Exp.	-0.5			
% V. R. S.	10.96%		4.56%	
1.27	6.0	3.1	89	46
2.54	10.1	4.2	149	62
3.81	13.2	5.1	195	75
5.08	16.2	5.6	239	83
7.62	21.3	6.8	315	101
10.16	26.0	7.8	348	115
12.70	30.8	8.8	455	130
Molde N°	6		Nat.	Satur.
Anillo:	14.78	14.78		
Lec. Inicial	8.12			
Lec. Final	8.18			

C
A
R
G
A

E
N

K
I
L
O
G
R
A
M
O
S



A N E X O
III
ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTO
CONSTRUCTIVO DE PAVIMENTOS
DE TIPO FLEXIBLE

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO-I

ZONA DE AMPLIACIÓN

CARPETA ASFÁLTICA 98% DE COMPACTACIÓN
BASE 98% DE COMPACTACIÓN
SUB-BASE 95% DE COMPACTACIÓN
TERRAPLEN
TERRENO NATURAL

SUBRASANTE

CAPA	PROCEDIMIENTO
BASE	MATERIAL CON GRAVA DE TAMAÑO MÁXIMO DE 2" DE DIÁMETRO COMPACTADO AL 98% DE SU P.V.S.M. (CAPA DE 20 CM)
SUB-BASE	MATERIAL CON GRAVA DE TAMAÑO MÁXIMO DE 2" DE DIÁMETRO COMPACTADO AL 95% DE SU P.V.S.M. (CAPA DE 20 CM)
TERRAPLEN	MATERIAL INCORPORÁNDOLE CAL EN UN 3% EN PESO, ES DECIR 42 KG. DE CAL POR CADA M3 DE MATERIAL COMPACTADO AL 95% DE SU P.V.S.M.(CAPA DE 20 CM)
TERRENO NATURAL	LIBRE DE TIERRA VEGETAL, NIVELADO Y COMPACTADO AL 90% (PREVIA ESCARIFICACION DE 10 CM)

ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

NIVELES

Se harán excavaciones o se construirán rellenos para que la subrasante tenga los niveles indicados en el proyecto.

Para eliminar la capa de suelo que contiene materia orgánica, deberá hacerse un despalme mínimo de 90 cm, únicamente en las zonas donde se tendrá la ampliación y colinda con las casas que se tienen en uno de los costados de la vialidad deberá hacerse un despalme de 90 cm mínimo, para retirar la capa de suelo vegetal que incluso se muestra en el anexo III. A continuación se compactará el material hasta alcanzar un grado de compactación de 90% con respecto a la prueba proctor estándar. El material producto del despalme será desechado.

MATERIALES

Para construir los pavimentos se requerirán materiales para terracerías, sub-base, base, y carpeta asfáltica

Las características que deberán tener los materiales son las siguientes:

PARA TERRACERÍAS

Podrán ser utilizadas mezclas de gravas, arenas y material fino, que satisfagan las siguientes especificaciones:

- Limite líquido	40% máx
- Índice plástico	15% máx
- Contracción lineal	8% máx
- Valor relativo de soporte	10% mín
- Contenido de agua óptimo	25% máx

- Peso volumétrico seco máximo 1300 Kg/cm³

PARA SUB-BASE

a) de granulometría

La curva granulométrica deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 (ver fig 4), adoptando una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios bruscos de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 200 al que pasa la malla No. 40, no deberá ser superior a 0.65.

b) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte (CBR), tamaño máximo y peso volumétrico, las siguientes:

	Zonas granulométricas del material		
	1	2	3
Contracción lineal, %	4.5 máx	3.5 máx	2.5 máx
Valor cementante, Kg/cm ²	3.5 mín	2.5 mín	2.5 mín
Valor relativo de soporte, %	50 mín	50 mín	50 mín
Tamaño máximo del agregado	3/8" máx	1" máx	2" máx
Peso volumétrico seco máximo, Kg/cm ³	1700	1700	1700

PARA BASE

a) De granulometría

La curva granulométrica deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2 (ver fig. 5), adoptando una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, y no tener cambios bruscos de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 200 al que pasa la malla No. 40, no deberá ser superior a 0.65.

b) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte (CBR), tamaño máximo y peso volumétrico seco máximo, las siguientes:

	Zonas granulométricas del material	
	1	2
Contracción lineal, %	3.5 máx	2.0 máx
Valor cementante, Kg/cm ²	4.5 mín	3.5 mín
Valor relativo de soporte, %	80 mín	80 mín
Tamaño máximo del agregado	2" máx	1" máx
Peso volumétrico seco máximo, Kg/cm ³	1800 mín	1800 mín

PARA CARPETA ASFÁLTICA

El contratista deberá proponer la planta de asfalto que suministre la mezcla, la cuál deberá ser calificada por el Director de la obra, de acuerdo con las normas marcadas a continuación:

Para construir la carpeta deberá utilizarse concreto asfáltico mezclado en caliente, con las siguientes características en prueba Marshall:

relación de vacíos	3-5 %
estabilidad	850 Kg
flujo	2 a 4.5 mm
contenido de asfalto el óptimo	+/- 0.2 % obtenido en la prueba Marshall

En la mezcla deberá emplearse cemento asfáltico No. 6 con las siguientes características:

penetración	80 – 100 grados
punto de inflamación	232 ° C mín
ductilidad	100 cm mín
solubilidad	99.5 % mín
viscosidad	85 mín

La curva granulométrica del agregado pétreo deberá quedar comprendida entre los límites marcados en la fig. 6, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

Las características físicas del agregado pétreo deberán satisfacer los siguientes valores:

tamaño máximo	3/4 "
contracción lineal	2.0% máximo
desgaste "Los Ángeles"	40% máximo
forma de partículas	35% máximo
equivalente de arena	55% mínimo

Afinidad con el asfalto:

* desprendimiento por fricción	25% máximo
* pérdida de estabilidad por inmersión de agua	25% máximo

3. GRADOS DE COMPACTACION

Los grados de compactación que deberán alcanzarse en las diferentes capas que forman el pavimento serán las siguientes:

Subrasante	90% con respecto a la prueba Proctor estándar
Terracerías	90% con respecto a la prueba Proctor estándar
Sub-base	95% con respecto a la prueba Porter estándar
Base	98% con respecto a la prueba Porter estándar
Carpeta asfáltica	98% con respecto a la prueba Marshall

Para el control de compactación, se recomienda que desde las primeras capas tendidas de cada tipo de material, se desarrolle un terraplén de prueba, para definir el número de pasadas óptimo, con el equipo elegido, que sean necesarias para alcanzar el grado de compactación especificado.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Se despalmará el terreno natural mínimo de 90 cm, únicamente en las zonas donde se tendrá la ampliación y colinda con las casas que se tienen en uno de los costados de la vialidad deberá hacerse un despalme de 90 cm mínimo, para retirar la capa de suelo vegetal que incluso se muestra en el anexo IV. A continuación se compactará el material hasta alcanzar un grado de compactación de 90% con respecto a la prueba proctor estándar. El material producto del despalme será desechado.

En caso de requerir terracerías para alcanzar el nivel de proyecto, se colocarán capas de material con espesor suelto máximo de 20 cm, con humedad cercana a la óptima ($\pm 2\%$) y se compactarán hasta obtener el grado de compactación especificado.

A continuación se hará una escarificación a 5cm de profundidad de la subrasante o terracería y se colocará la sub-base en capas con espesor suelto máximo de 20 cm. Para compactar se deberá humedecer y homogeneizar el material hasta alcanzar un valor cercano a la humedad óptima ($\pm 2\%$). Se darán el número de pasadas necesario para obtener el grado de compactación especificado.

A continuación se hará una escarificación a 5 cm de profundidad de la sub-base y se colocará la base en capas con espesor suelto máximo de 20 cm.

Para compactar se deberá humedecer y homogeneizar material hasta alcanzar un valor cercano a la humedad óptima ($\pm 2\%$). Se dará el número de pasadas necesario para obtener el grado de compactación especificado.

Terminada la base, se dejará orear por un periodo mínimo de 24 hrs, a continuación se barrerá la superficie y se aplicará un riego de impregnación con emulsión asfáltica cationica superestable o similar a razón de 1.7 lts/m², conservándose este por un mínimo de 24 hrs, hasta comprobar mediante pruebas de campo la penetración del asfalto a la base, en caso necesario diluir con agua para optimizar la penetración.

A continuación se aplicará un riego de liga con emulsión asfáltica cationica de fraguado rápido RR-2K a razón de 0.7 lts/m², de 2 a 4 horas antes del tendido de la carpeta asfáltica.

Previamente al tendido de la mezcla asfáltica deberá aplicarse encima del riego de liga unas paladas de mezcla, para evitar que el tránsito necesario de construcción levante dicho riego. Posteriormente y para evitar la segregación, se tenderá la mezcla con una máquina terminadora (finisher) en un espesor tal que una vez compacto se tenga el de proyecto. La velocidad de la máquina terminadora al colocar la mezcla deberá estar comprendida entre 2 y 4 Km/hora.

Para obtenerse los espesores de material compacto de proyecto deberán controlarse los espesores que va dejando la terminadora según la siguiente relación:

Espesor de proyecto x 1.3 (abundamiento) = Espesor tendido por terminadora

La temperatura recomendable para el tendido debe estar comprendida entre 100 °C y 130 °C, debiendo evitarse éste, cuando la temperatura ambiente sea menor a los 10 °C.

La mezcla asfáltica deberá compactarse a una temperatura comprendida entre 90 ° y 110 ° C, siendo la óptima 100 ° C. La compactación se hará longitudinalmente traslapando a toda rueda, iniciando de la parte baja hacia la parte alta, avanzando de la guarnición al centro del arroyo, el equipo recomendado es el siguiente:

a) Para la compactación inicial deberá emplearse una compactadora de rodillos lisos tipo Tandem de 6 a 8 ton con una velocidad que no debe exceder de 5 Km/hora para evitar el levantamiento de la mezcla caliente, se traslapará entre pasada y pasada media rueda, con el objeto de darle el acomodo inicial al material.

b) Una vez que la compactadora Tandem deje huellas apenas perceptibles se procederá a compactar la capa con una compactadora de 3 rodillos lisos y un peso de 12 ton hasta que las huellas de ésta sean muy leves.

c) La compactación final de la mezcla se dará con una compactadora neumática que borre las huellas que deja la máquina de 12 ton, hasta dejar una superficie afinada adecuada al tránsito de vehículos.

Se impermeabilizará la carpeta asfáltica aplicando un sello con cemento como se indica a continuación:

a) Una vez compactada y recibida la carpeta asfáltica y que ésta haya adquirido la temperatura ambiente y antes de proceder al sello con cemento, deberá barrerse perfectamente la superficie, dejándose libre de polvo e impurezas.

b) Posteriormente se distribuirá el cemento Portland en seco sobre la superficie de la carpeta a razón de 314 Kg por m², tallándose enérgicamente con cepillos de fibra contra la superficie, a fin de que penetre en la porosidad de la carpeta asfáltica.

c) Después se adicionará el agua necesaria (1 a 1.5 lts/m² aproximadamente) para formar una lechada de consistencia media, la cual se distribuirá enérgicamente con los mismos cepillos, hasta lograr una superficie uniforme. En vías donde las pendientes sean mayores del 3 % deberán tomarse las precauciones necesarias al adicionar el agua para evitar escurrimientos y deslaves.

d) Se dejará reposar este sello cuando menos 6 horas para evitar que el tránsito lo levante.

CONTROL DE CALIDAD

MATERIALES DE TERRACERÍAS, SUBRASANTE, BASE Y SUB-BASE

a) Deberán verificarse las características de los materiales a emplearse en el pavimento, de acuerdo con lo especificado en el inciso 2.

b) Para verificar los grados de compactación alcanzados, se llevarán a cabo pruebas en cada capa. Se recomienda hacer una prueba por cada 50 m³ de material compactado.

c) Para conocer las variaciones del peso volumétrico seco máximo de los materiales, se recomienda hacer una prueba proctor o porter, según se requiera, por cada 500 m³ de material compactado o cuando cambie el tipo de material.

d) El material empleado deberá estar exento de materia orgánica y partículas extrañas.

CARPETA ASFÁLTICA

a) Se deberán efectuar las pruebas indicadas en el inciso 2 a los materiales empleados.

b) Deberán verificarse las características del concreto asfáltico cada día de tendido, mediante pastillas Marshall.

c) Se controlará la temperatura de la mezcla asfáltica, de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

Al salir de la planta	120 a 150 °C
Al tender	100 °C
Al compactar	90 °C

En general la compactación deberá terminarse a 70 °C mínimo .

d) Posteriormente deberán efectuarse pruebas de compactación y permeabilidad en la carpeta terminada.

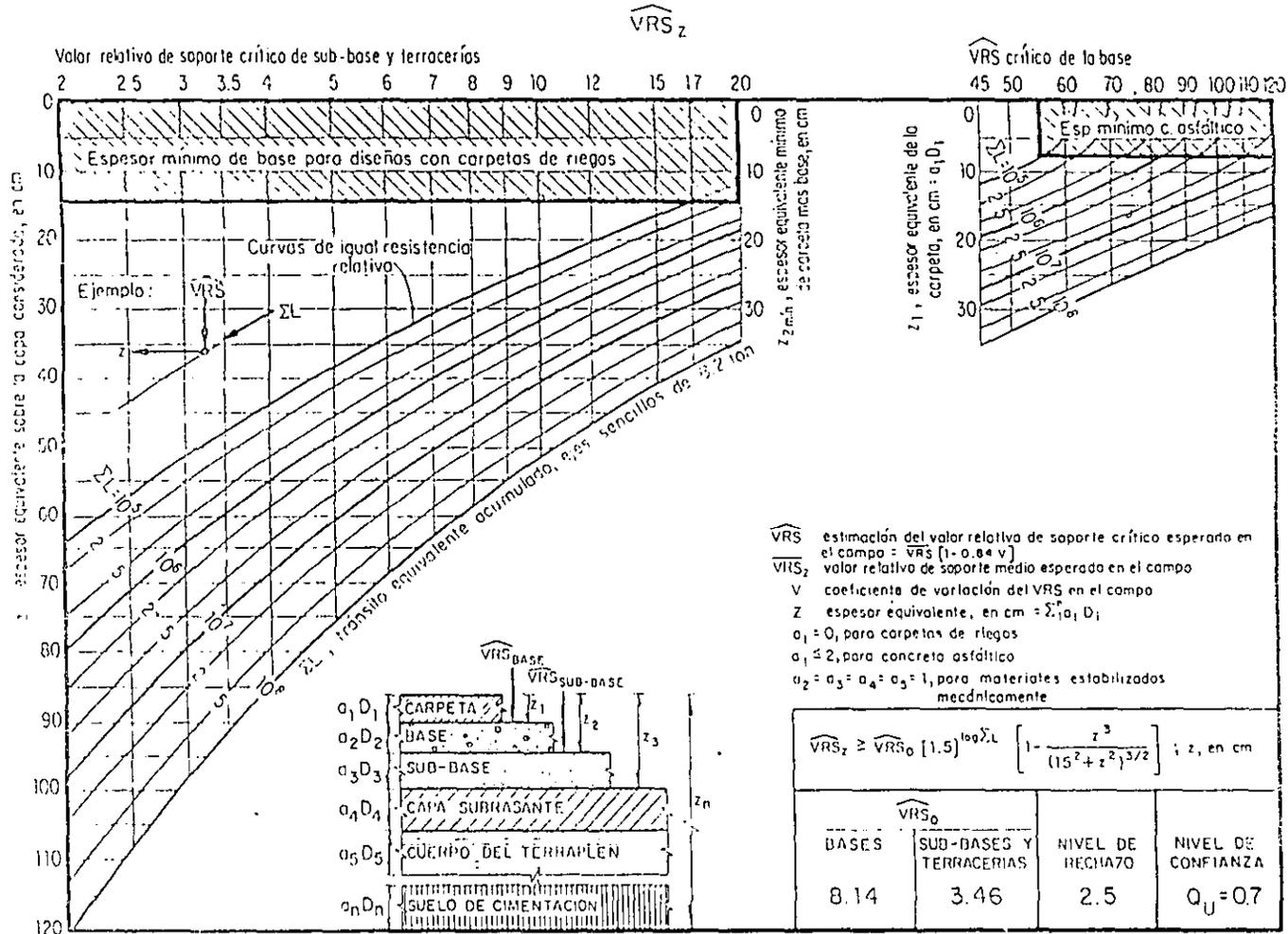


Fig A5. Gráfica para diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

A N E X O
IV
REPORTE FOTOGRAFICO



SE APRECIAN TRABAJOS PREVIOS A LA REHABILITACION DEL SITIO DE INTERES



EN LA FOTOGRAFIA SE OBSERVA LA UBICACIÓN DEL POZO A CIELO
ABIERTO PCA 1EXCAVADO A UN COSTADO DE LA CALZADA LA VIGA



EN LA FOTOGRAFIA SE OBSERVA LA MOTOCONFORMADORA DANDO EL NIVEL NECESARIO A LA SUB-BASE CON LOS MATERIALES REQUERIDOS



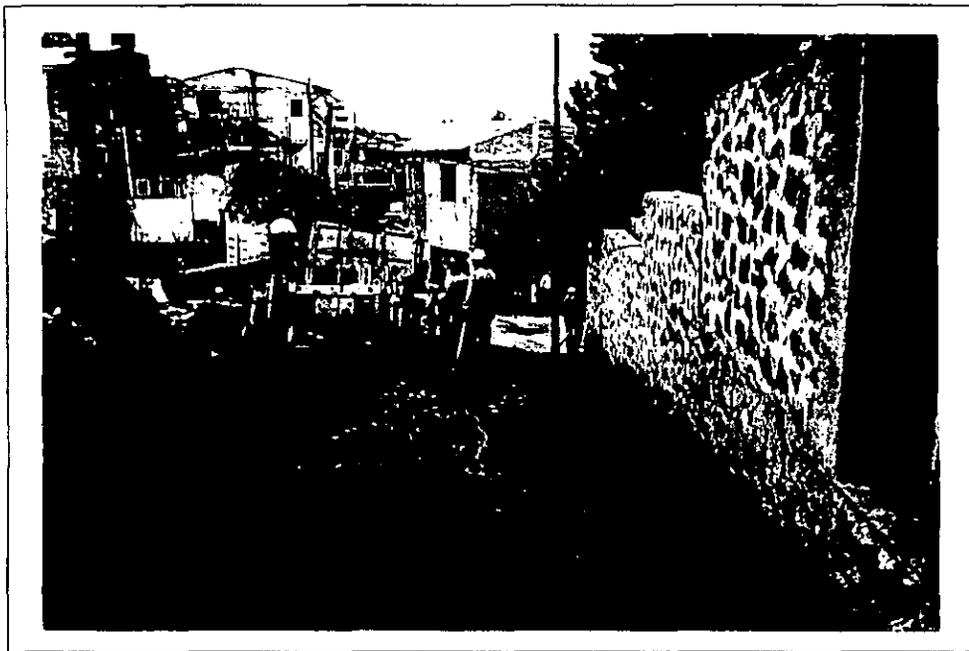
EN LA FOTOGRAFIA SE OBSERVA LA COMPACTACION DE LA SUB-BASE



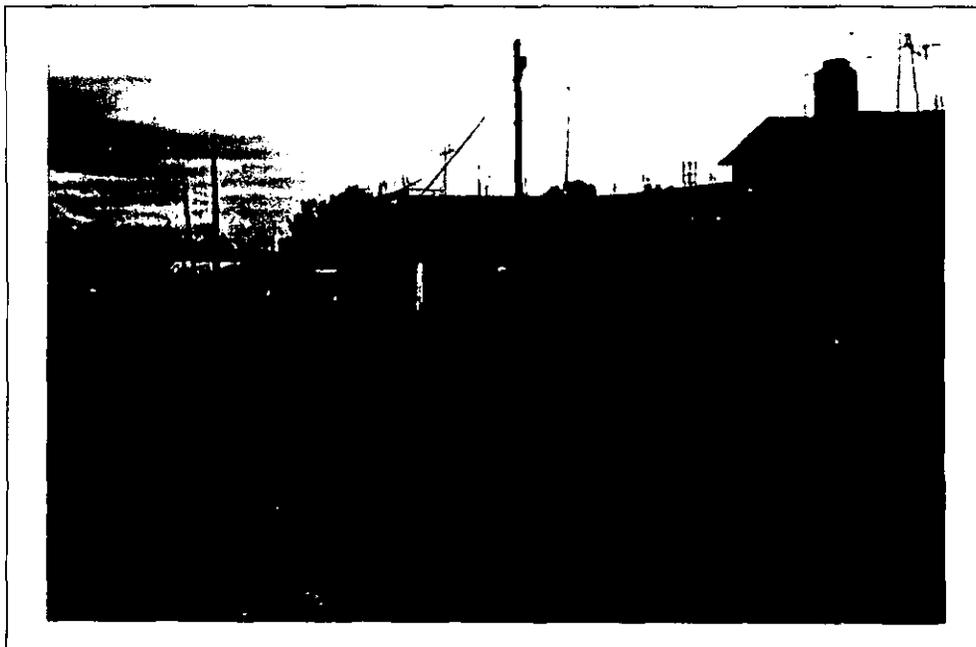
ESTA FOTO MUESTRA LOS TRABAJOS DE CONFORMACION DE LA BASE



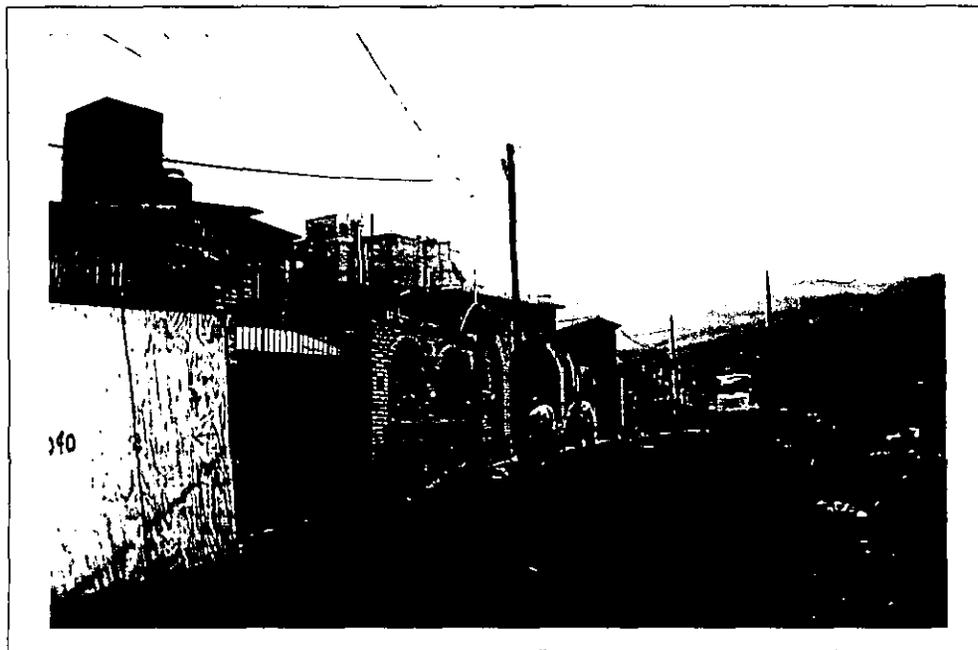
EN ESTA FOTO SE APRECIA LA MAQUINA FINISHER EN EL TENDIDO DE LA MEZCLA ASFALTICA A LA CUAL SE LE DA EL NIVEL REQUERIDO



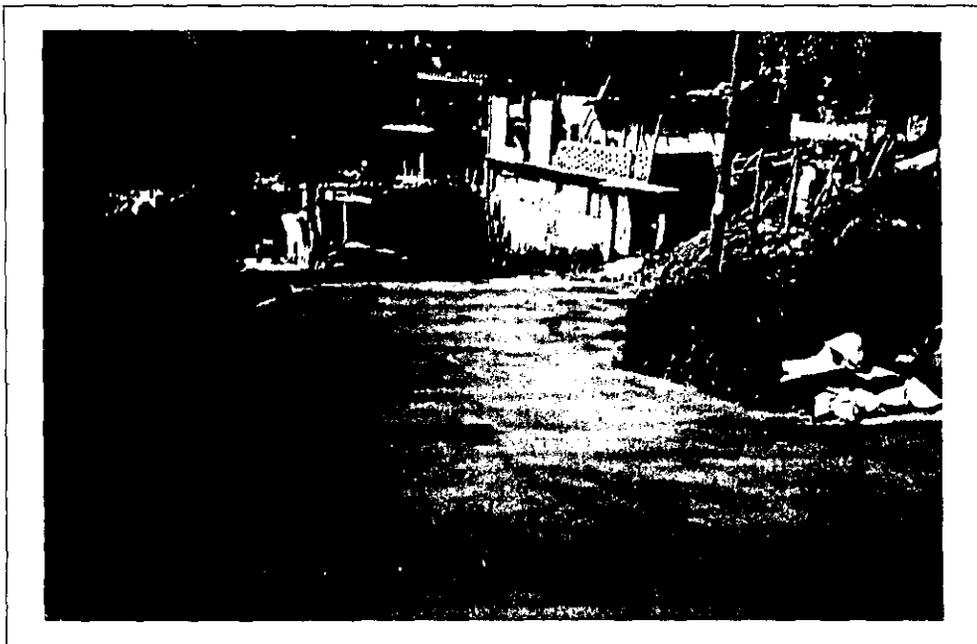
SE APRECIA LA REHABILITACION DE LA VIALIDAD LA VIGA EN ECATEPEC



SE OBSERVA LA CARPETA ASFALTICA ANTES DE SER COMPACTADA



EN ESTA FOTO SE APRECIAN LOS TRABAJOS DE COMPACTACION DE LA
CARPETA ASFALTICA MEDIANTE LA MAQUINA VIBROCOMPACTADORA



EN ESTA FOTO SE APRECIA LA CARPETA ASFÁLTICA TERMINADA

ANEXO
V
BANCOS DE MATERIALES

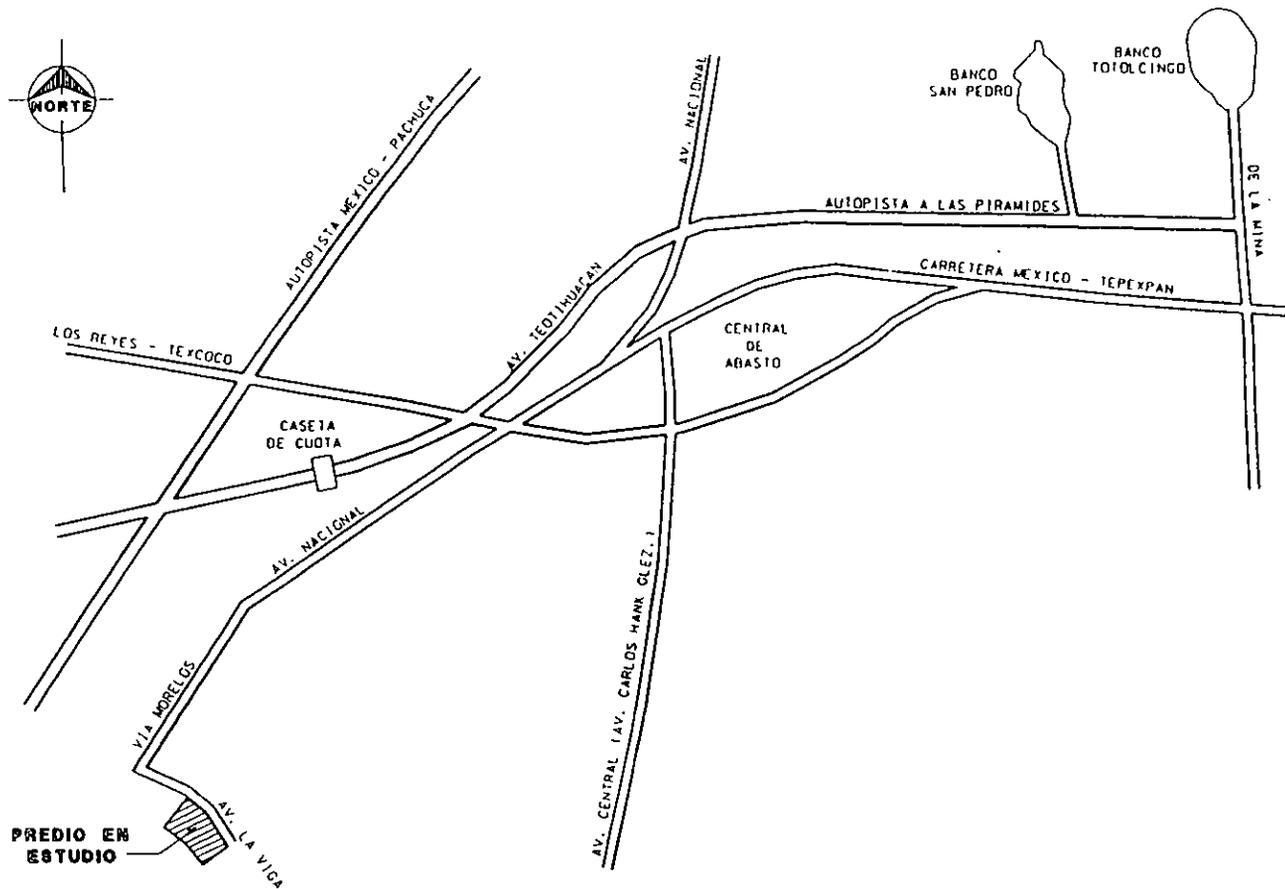


FIG. 22 a .- CROQUIS DE LOCALIZACION DEL BANCO SAN PEDRO.
 UNIDAD HABITACIONAL, CALZ. LA VIGA, ECATEPEC, EDO. DE MEXICO

DIBUJO ESQUEMATICO

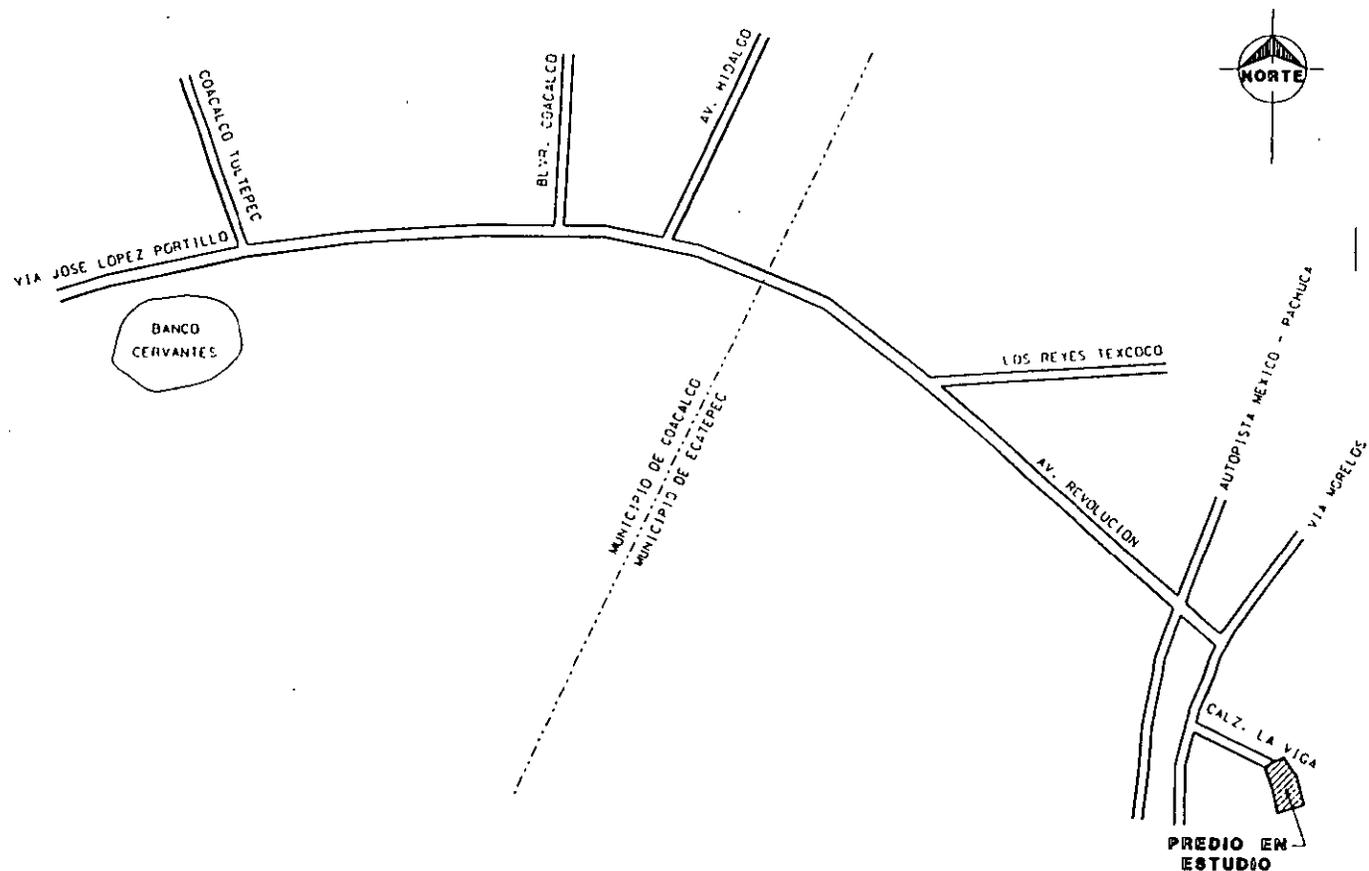


FIG. 22 b .- CROQUIS DE LOCALIZACION DEL BANCO CERVANTES.
 UNIDAD HABITACIONAL, CALZ. LA VIGA, ECATEPEC, EDO. DE MEXICO

DIBUJO ESQUEMATICO

PROPIEDADES DEL MATERIAL DEL BANCO "SAN PEDRO"

PROPIEDAD	
Límite líquido	33%
Límite plástico	28%
Porcentaje de grava	8%
Porcentaje de arena	17%
Porcentaje de finos	75%
Peso volumétrico seco máximo proctor (PVSM)	1427Kg/m ³
Humedad óptima	27.50%
Contracción lineal	2.70%
Expansión	0.08%
Valor relativo de soporte al 100% del PVSM	58%
Valor relativo de soporte al 95% del PVSM	18.50%
Valor relativo de soporte al 90% del PVSM	7.90%

PROPIEDADES DEL MATERIAL DEL BANCO "TOTOLCINGO"

PROPIEDAD	
Límite líquido	No plástico
Límite plástico	No plástico
Porcentaje de grava	64%
Porcentaje de arena	28%
Porcentaje de finos	8%
Peso volumétrico seco máximo proctor (PVSM)	1511Kg/m ³
Humedad óptima	12.2%
Contracción lineal	0.4%
Valor relativo de soporte al 95% del PVSM	94.0%
Valor relativo de soporte al 90% del PVSM	55.0%

PROPIEDADES DEL MATERIAL DEL BANCO "CERVANTES"

PROPIEDAD	
Limite liquido	28%
Limite plástico	23%
Porcentaje de grava	0%
Porcentaje de arena	53%
Porcentaje de finos	47%
Peso volumétrico seco máximo proctor (PVSM)	1590Kg/m ³
Humedad óptima	19.5%
Contracción lineal	3.6%
Valor relativo de soporte al 95% del PVSM	23.2%
Valor relativo de soporte al 90% del PVSM	7.8%

A N E X O
VI
AFOROS VEHICULARES

Para: Conjunto Habitacional Bonito Ecatepec
 Vialidad: Calzada la Viga

Día: 14 de abril de 2000
 Hora: 10:00 - 14:00

10:00-11:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	20	0	3	0	0	8	22	0	5	0	0	5	63
2°	22	0	3	0	0	4	24	0	6	0	0	5	64
3°	28	0	4	0	0	5	29	0	5	0	1	4	76
4°	30	0	4	0	0	8	28	0	2	0	0	4	76
SUMA	100	0	14	0	0	25	103	0	18	0	1	18	279

11:00-12:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	30	0	6	0	0	3	28	0	5	1	1	6	80
2°	32	0	8	0	0	2	26	0	6	0	1	5	80
3°	33	1	5	0	1	8	25	0	6	0	0	5	84
4°	25	0	8	0	0	9	28	0	8	0	0	5	83
SUMA	120	1	27	0	1	22	107	0	25	1	2	21	327

12:00-13:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	28	0	5	0	0	5	30	0	3	0	0	10	81
2°	35	0	4	0	0	6	31	0	5	0	1	8	90
3°	29	0	6	0	1	4	29	0	2	0	0	9	80
4°	33	0	2	0	0	2	30	0	7	2	0	6	82
SUMA	125	0	17	0	1	17	120	0	17	2	1	33	333

13:00-14:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	28	0	5	1	0	10	35	0	7	0	0	8	94
2°	32	0	6	2	0	2	34	0	4	2	0	4	86
3°	34	0	4	0	0	5	32	0	6	0	1	3	85
4°	36	0	4	0	1	4	40	0	2	1	0	5	93
SUMA	130	0	19	3	1	21	141	0	19	3	1	20	358

Clasificación del transporte:

A = Automoviles

CP = Camión pesado de Carga

C = Combi

B = Autobuses

M = Microbus

CA = Camioneta

Para: Conjunto Habitacional Bonito Ecatepec
 Vialidad: Calzada La Viga

Día: 14 de abril de 2000
 Hora: 14:00 - 16:00

14:00-15:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	36	0	4	2	1	6	35	0	7	0	1	6	98
2°	29	0	2	0	0	5	40	0	5	0	0	7	88
3°	29	0	3	0	0	9	33	0	8	0	0	8	90
4°	37	0	5	0	1	6	26	0	6	0	2	5	88
SUMA	131	0	14	2	2	26	134	0	26	0	3	26	364

15:00-16:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	30	0	5	0	0	5	32	0	4	0	1	7	84
2°	39	0	6	0	0	4	31	0	6	1	2	6	95
3°	32	1	4	0	1	6	29	0	5	0	1	8	87
4°	31	0	2	0	0	4	33	0	3	0	0	6	79
SUMA	132	1	17	0	1	19	125	0	18		4	27	345

Clasificación del transporte:

A = Automoviles
 B = Autobuses

CP = Camión pesado de Carga
 M = Microbus

C = Combi
 CA = Camioneta

Para: Conjunto Habitacional Bonito Ecatepec
 Vialidad: Calzada La Viga

Día: 15 de Abril de 2000
 Hora: 10:00 - 14:00

10:00-11:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	10	0	2	0	0	6	24	0	3	0	0	3	48
2°	20	0	1	1	0	3	29	0	4	1	0	4	63
3°	39	0	2	0	0	4	30	0	4	1	0	3	83
4°	45	0	2	1	0	7	21	0	3	0	1	5	85
SUMA	114	0	7	2	0	20	104	0	14	2	1	15	279

11:00-12:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	32	0	4	0	1	1	32	0	4	4	2	7	87
2°	36	0	7	0	0	1	24	1	5	0	2	2	78
3°	31	0	7	1	2	7	21	0	7	0	1	7	84
4°	30	0	5	0	0	5	25	0	7	1	0	3	76
SUMA	129	0	23	1	3	14	102	1	23	5	5	19	325

12:00-13:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	25	0	7	1	0	2	20	0	4	1	1	2	63
2°	33	0	2	0	0	3	20	0	3	1	0	5	67
3°	23	0	4	0	1	6	24	0	1	0	1	7	67
4°	31	0	6	1	0	6	35	0	7	3	0	6	95
SUMA	112	0	19	2	1	17	99	0	15	5	2	20	292

13:00-14:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	25	0	2	0	0	9	38	0	6	1	0	7	88
2°	34	0	4	3	0	3	36	0	3	1	0	2	86
3°	32	0	6	1	0	4	38	2	2	1	0	5	91
4°	36	0	5	0	0	10	45	2	2	2	1	6	109
SUMA	127	0	17	4	0	26	157	4	13	5	1	20	374

Clasificación del transporte:

A = Automoviles

CP = Camión pesado de Carga

C = Combi

B = Autobuses

M = Microbus

CA = Camioneta

Para: Conjunto Habitacional Bonito Ecatepec
 Vialidad: Calzada La Viga

Día: 17 de Abril de 2000
 Hora: 9:00 - 13:00

09:00-10:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	15	0	3	0	0	4	20	0	2	0	0	9	53
2°	22	0	2	0	0	6	25	0	2	0	0	5	62
3°	41	0	5	0	0	7	28	0	5	0	0	8	94
4°	43	0	4	0	1	10	25	0	1	0	0	13	97
SUMA	121	0	14	0	1	27	98	0	10	0	0	35	306

10:00-11:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	13	0	5	0	0	11	29	0	1	0	0	8	67
2°	24	0	4	2	0	5	34	0	5	2	0	6	82
3°	44	0	2	0	0	2	35	0	6	0	1	6	96
4°	40	0	1	0	0	9	28	0	2	0	2	10	92
SUMA	121	0	12	2	0	27	126	0	14	2	3	30	337

11:00-12:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	30	0	3	0	2	3	29	0	5	1	1	9	83
2°	33	0	5	0	0	2	20	0	6	0	3	4	73
3°	35	0	5	0	1	9	25	0	4	0	0	6	85
4°	32	0	4	0	1	7	31	0	6	0	1	8	90
SUMA	130	0	17	0	4	21	105	0	21	1	5	27	331

12:00-13:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	27	0	5	1	0	8	26	0	7	2	0	8	84
2°	31	0	1	0	0	5	22	0	5	3	0	7	74
3°	21	0	2	0	0	3	21	0	1	0	0	5	53
4°	35	0	9	0	2	10	36	0	8	0	1	5	106
SUMA	114	0	17	1	2	26	105	0	21	5	1	25	317

Clasificación del transporte:

A = Automoviles

CP = Camión pesado de Carga

C = Combi

B = Autobuses

M = Microbus

CA = Camioneta

Para: Conjunto Habitacional Bonito Ecatepec
 Vialidad: Calzada La Viga

Día: 17 de Abril de 2000
 Hora: 13:00 -17:00

13:00-14:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	20	0	3	0	0	7	23	0	6	0	0	5	64
2°	24	0	5	0	0	5	32	0	8	0	0	3	77
3°	41	0	4	0	0	6	29	0	5	0	1	2	88
4°	42	0	1	0	0	5	25	0	4	0	0	8	85
SUMA	127	0	13	0	0	23	109	0	23	0	1	18	314

14:00-15:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	35	0	3	0	0	4	30	0	3	0	1	8	84
2°	33	1	5	1	0	5	29	0	2	0	3	5	84
3°	25	0	4	0	0	8	25	0	5	0	2	6	75
4°	35	0	5	0	0	6	29	0	8	1	0	5	89
SUMA	128	1	17	1	0	23	113	0	18	1	6	24	332

15:00-16:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	35	0	3	1	1	3	32	0	6	0	2	4	87
2°	24	0	4	2	0	8	42	0	2	1	1	5	89
3°	26	0	0	0	2	3	30	0	9	1	0	6	77
4°	31	0	7	0	1	4	21	0	7	0	1	2	74
SUMA	116	0	14	3	4	18	125	0	24	2	4	17	327

16:00-17:00 HRS.

Sentido

PERIODO	Izquierdo						Derecho						SUMA
	A	B	CP	M	C	CA	A	B	CP	M	C	CA	
1er	25	0	3	0	0	4	19	0	5	1	1	4	62
2°	38	0	4	0	0	1	29	0	5	2	2	4	85
3°	26	0	3	0	0	5	32	1	4	0	0	8	79
4°	33	0	2	0	0	4	34	0	3	0	0	3	79
SUMA	122	0	12	0	0	14	114	1	17	3	3	19	305

Clasificación del transporte:

A = Automoviles CP = Camión pesado de Carga C = Combi
 B = Autobuses M = Microbus CA = Camioneta

BIBLIOGRAFIA

1. - Boris Simpser, Oziel Zarate.- Sociedad mexicana de mecánica de suelos.- "El subsuelo y la Ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de México " (1978).
2. - Planeación, Urbanismo y construcción en General, S.A de C.V.-S.C.T., D.G.V. Estado de México.- Estudio de Ingeniería de tránsito.- Proyecto ejecutivo para construcción de cuerpos laterales de la autopista México – Querétaro.- Tramo puente de Chalma – Caseta de Tepoztlán.
3. -Corro, S. Magallanes, R. Prado G.-Intituto de Ingeniería UNAM.-"Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras" (1980).
4. - Transportation Research Record 1196. - Pavement evaluation and rehabilitation (1980)
5. -Transportation Reseach Council 77. - Evaluation Pavements Maintenance Strategis (1981).
6. - The Asphalt Institute MS- 17. - Asphalt Overlays for highway and street rehabilitation.
- 7.- Secretaria de Comunicaciones y transportes.- Normas de calidad de los materiales, Carreteras y Autopistas.- Libro 4.01.01 (1986).