

870115

17

24

Universidad Autónoma de Guadalajara

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Rectificación del Sub-Tramo Tequila-Magdalena

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

Clemente Poon Hung

GUADALAJARA, JAL., 1987



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 está 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.

I INTRODUCCION

El transporte carretero en países como México, que cuenta con red ferroviaria como base para el transporte de grandes volúmenes a grandes distancias, es el modo de transporte más adecuado para promover el desarrollo económico debido a su gran flexibilidad, ya que ofrece la posibilidad de disponer con gran frecuencia de servicios especializados y de pequeño volumen, de evitar costos adicionales y demoras por concepto de maniobras de carga y descarga, lo que es importante para el caso de artículos perecederos y finalmente de permitir un tipo de contratación directa y sin trámite entre el transportista y el productor. Estas características ayudan a la expansión del mercado interno de productos industriales, a la diversificación de la agricultura y a la mayor participación del pequeño productor al ingreso generador.

El nivel de desarrollo alcanzado por nuestro país " en algunas zonas " es comparable al de los países plenamente desarrollados y en contraste a la anterior existen regiones que debido a su situación geográfica y debido a la topografía dominante en nuestro país y a otros factores de tipo político y económico muestran un retraso alarmante en su grado de desarrollo.

Esta situación determina que la naturaleza predominante de las consecuencias de intervenir en carreteras, presente variaciones profundas, que dan lugar al establecimiento de distintas categorías en las operaciones, o lo que es lo mismo, existen diferentes tipos de carreteras para efecto de intervenir en su realización; dichos tipos son los siguientes:

- a) Carreteras de Función Social.
- b) Carreteras de Penetración Económica.
- c) Carreteras en Zonas en Pleno Desarrollo.

a) Carreteras de Función Social. Son aquellas que tratan de integrar al progreso del país regiones de escaso potencial económico donde residen núcleos de población de cierta -

importancia; en ellas los efectos de la inversión serán como su denominación lo indica de carácter social, es decir, la existencia de la carretera entrañará un cambio decisivo en el modo de vida de los habitantes de la zona. Se considera que estos efectos son de carácter primordialmente social porque aún cuando propician un aumento en el nivel del ingreso, dicho aumento está basado en una transformación de las relaciones entre los miembros de la comunidad y las de éstos con el resto de la nación.

b) Carreteras de Penetración Económica. Con ellas se clasifican a todas aquellas que comunican zonas de recursos materiales susceptibles de ponerse en explotación, estos caminos formarán parte de la infraestructura para la explotación y desarrollo de la región.

Los efectos más importantes de la inversión en estas obras consistirán en su notable aumento de la producción, primero en las actividades primarias y posteriormente en las de transformación y servicios, cabe hacer notar que en México los núcleos de población en estas regiones que se pretende poner en producción son generalmente importantes y por consiguiente las consecuencias de carácter social ceden el paso a las de carácter económico.

El criterio de selección que se emplea en estos casos, toma en cuenta la productividad de la carretera; es de gran interés para la colectividad propiciar mediante las inversiones en carreteras, incrementos notables en la producción derivada de las actividades primarias de las que podrán percibirse resultados a mediano plazo

c) Carreteras en Zonas en Pleno Desarrollo. En algunas regiones de México donde se ha alcanzado un alto nivel de desarrollo, la circulación de vehículos alcanzó volúmenes muy elevados de composición compleja. Este fenómeno no se limita a las cercanías de las grandes ciudades o itinerarios excepcionales, sino que abarca una serie de regiones importantes

en cuanto a sus actividades agrícolas, industriales, turísticas, etc., y que se encuentran ligadas por las grandes troncales. Ahora bien, las primeras carreteras que se construyeron en el país, tuvieron por función servir a estas regiones que ya desde entonces iniciaban su desarrollo, lo que ha producido como consecuencia que las carreteras que soportan el mayor volumen de tránsito son las que fueron diseñadas para cargas de magnitud y frecuencia inferiores a las actuales y que fueron construidas procurando servir al mayor número de ciudades con preferencia a itinerarios directos. Por lo tanto en México es de interés colectivo el modernizar algunas de las carreteras que soportan los principales volúmenes y construir carreteras que signifiquen grandes acortamientos a los principales itinerarios actuales y crear nuevos itinerarios que teniendo como base la circulación actual, sirvan a nuevas zonas situadas dentro de las regiones citadas.

El criterio de selección para la construcción o modernización de carreteras en estas regiones es el de rentabilidad, se acepta que se trata de inversiones cuya consecuencia principal está directa y exclusivamente ligada con la circulación que es importante, compleja y establecida por lo que las reducciones en los costos de transporte detenidas por los usuarios pueden admitirse como beneficios para la colectividad. Esos beneficios son directos, susceptibles de ser cuantificados con un grado apreciable de certidumbre, y predominan sobre cualquier otro efecto de la inversión con relación a la economía general.

La interpretación que se da en México al criterio de rentabilidad, radica en establecer un índice de rentabilidad el cual está constituido por el cociente que resulta de dividir el valor actual de la suma de beneficios que la inversión producirá a lo largo de un plazo de previsión, entre el valor actual de la suma de gastos de todo orden en que se incurrirá a lo largo del mismo plazo para construir y mantener la carretera en servicio.

I.1 ANTECEDENTES

La carretera México-Nogales es una de las más antiguas-- que existen en nuestro país. Su período de construcción data-- alrededor de los años de 1930 a 1950.

La finalidad de esta carretera es la comunicación de la-- Ciudad de México, con las principales ciudades de la zona --- occidental del país, pasando por puertos marítimos o fronterizos, abiertos al tráfico internacional o con las capitales de los Estados.

El criterio para su construcción era la comunicación, por lo que generalmente para su trazo seguían las curvas de nivel o la superficie del terreno natural evitándose así los cortes y terraplenes grandes.

Se permitían en el caso de esta carretera curvaturas máximas hasta de 28° y pendientes del 7 %, claro que ésto no -- causaba peligro para los usuarios de ello, debido a que en -- aquel tiempo el tránsito era liviano, menor de 100 vehículos-- diarios, y cargas máximas de 6 Ton., además de que no rebasa-- ban los 60 Kph de velocidad, por lo que los accidentes eran -- mínimos; sin embargo, en la actualidad este criterio ya no -- puede regir, debido al crecimiento y desarrollo de nuestro -- país.

La población actual es muy superior a la de aquellos --- tiempos, por lo tanto, los alimentos e insumos que necesitan-- también se incrementaron, la producción de alimentos, y pro-- ductos necesarios para nuestra vida diaria tienen mayor demanda en todos los puntos de nuestro país, por lo que es necesario llevarlos de los lugares de producción a los de consumo, -- y actualmente, el transporte con mayor demanda es por carretera debido a que se hace en menor tiempo, además que pasa por-- más poblaciones que el resto de las vías de comunicación como es el ferroviario, marítimo y aéreo.

Lo anterior ha provocado mayor número de vehículos que -- circulan por la carretera, en especial la México-Nogales, el-

cual une la frontera norte del país con los Estados Unidos de Norteamérica, pasa por los puertos de Guaymas y Mazatlán, y ciudades como Guadalajara, una de las más importantes del país después de la Capital, siendo de los más variados los productos que se transportan por ella.

Entonces, la gran cantidad de vehículos que transitan, las velocidades que la técnica ha logrado dar a los vehículos, y la necesidad de reducir los tiempos de recorrido, además, como consecuencia de lo anterior, el gran número de accidentes ocurridos en las carreteras, ha ocasionado que en la actualidad se tomen medidas para resolver estas situaciones. Para eso se proyectan modificaciones en alineamientos, tanto vertical como horizontal, ampliación de la sección transversal, tratándose además de acortar las distancias para reducir los tiempos de recorrido.

1.2 JUSTIFICACION.

En México la inversión en cualquiera de los sectores económicos representa un sacrificio de parte del consumo actual en aras de una esperanza de mayor consumo en el futuro, debiéndose tener un cuidadoso análisis de las inversiones en la infraestructura.

Un gran número de naciones, entre ellas México, se han dado cuenta que con grandes sacrificios les es posible alcanzar, un grado de desarrollo que les permita disfrutar de los últimos adelantos de la civilización (educación, atención médica, etc.).

Ahora bien, para proporcionar la base del desarrollo socioeconómico, se requiere llevar a cabo grandes inversiones - en los sectores de infraestructura, en este caso el transporte de bienes y personas por vía carretera, para lograr el uso óptimo de los recursos con que se cuenta.

Los principales lineamientos en materia de carreteras, - que se toman en cuenta para la formulación de proposiciones, - pueden resumirse en lo siguiente:

- 1.- Conservar en buen estado la red existente, para asegurar el servicio eficaz y permanente.
- 2.- Terminar al ritmo adecuado, las obras iniciadas, buscando la oportuna obtención de los objetivos previstos.
- 3.- Construir nuevas carreteras que sirvan a núcleos de población actualmente incomunicados y propicien la incorporación de zonas capaces de aumentar la producción y ;
- 4.- CONSTRUIR OBRAS QUE MEJOREN EL SISTEMA CARRETERO EN ZONAS YA COMUNICADAS, CUANDO LA DEMANDA ASI LO REQUIERA. TAL ES EL CASO DE " AMPLIACIONES, ACORTAMIENTOS Y AUTOPISTAS " .

El lineamiento No. 4 es el caso a dar a conocer de la Carretera México-Nogales, que debe ser reconstruida, ya que en su época cuando se construyó, varios tramos se realizaron con las limitaciones y experiencias propias de aquel tiempo, ---- otros tramos requieren una verdadera modernización, entendida ésta como una modificación radical de las características geo

métricas y físicas, que como ejemplo está este tramo carretero que se expone, y se trata del sub-tramo Tequila-Magdalena.

Toda esta modificación es deseable y justificable, en -- principio porque la Capital Federal se encuentra ligada con - la Capital de los Estados, por medio de rutas más rápidas y - cortas.

También permite establecer relaciones político-adminis-- trativo entre los Estados mismos y de éstos con los puertos - marítimos y fronteras, lo que da como consecuencia una interre-- lación con los centros o polos de producción y consumidores, - principalmente en los aspectos Agrícolas, Ganaderos, Pesque-- ros, Industrias, Comercio, Educación y Turísticas que forman parte esencial del buen desarrollo del país.

Además como se ha mencionado anteriormente, la topografía sinuosa de algunas zonas que ocasionaron alineamientos hori-- zontal y vertical con características adecuadas en otros tiem-- pos, la gran cantidad de vehículos livianos y pesados que cir-- culan por la carretera ha provocado un gran problema en ella - misma: LOS ACCIDENTES. Actualmente hay que tomar en cuenta -- los factores de seguridad en las Carreteras.

Más adelante se presenta un estudio realizado en las ca-- rreteras del Estado de Jalisco, observándose que en el tramo-- de Guadalajara a Tepic hubo la mayor cantidad de accidentes y-- dentro de ésta, el sub-tramo más crítico fue entre los Kms.- 60+000 al 70+000.

Debido a ésto se hicieron los estudios para la solución-- a este problema, proyectándose un trazo nuevo con longitud de 10 Kms., cambiando los alineamientos horizontal y vertical am-- pliándose además la sección transversal a corona de 11.00 mt.

En la figura I.a se presenta la carretera México-Nogales en su tramo Guadalajara-Tepic, con las modificaciones que se-- pretenden efectuar y que corresponden a los tramos en donde - se produjeron la mayor cantidad de accidentes, o que son pa-- sos por poblaciones, limitándose la velocidad de los vehícu-- los, e incrementándose los tiempos de recorrido. Tal es el ca-- so del libramiento de Amatitán, el de Tequila, la rectificac-- ción Tequila-Magdalena y el libramiento de Magdalena.

1.2.A FACTORES DE SEGURIDAD.

GENERALIDADES.- El transporte automotor si bien ha venido a facilitar la vida del hombre y a influir notablemente en sus actividades sociales y económicas, también ha llegado a constituir una importante causa de accidentes, siendo motivo de miles de muertes cada año. Esto ha despertado gran inquietud entre todos los especialistas y ha motivado gran número de estudios, para determinar los factores de seguridad que intervienen en la operación de las carreteras. A continuación se tratarán los aspectos más importantes de este problema.

ACCIDENTES.- Los estudios realizados al respecto indican que para reducir los accidentes viales se necesita:

- Mejor preparación del usuario.
- Mayor seguridad de los vehículos.
- Adecuada legislación y vigilancia.
- Condiciones que permitan una mejor operación del sistema vial.

La intervención del proyectista de caminos es muy pequeña en las tres primeras condiciones; pero es determinante sobre la última. Nunca debe olvidarse que, por otra parte, las características de cualquier obra vial debe justificarse a través de análisis de tipo económico, para el lapso previsible de funcionamiento.

Actualmente y gracias a la experiencia y estadísticas de distintos países se cuenta con abundante información para la elaboración de proyectos que consideren más claramente los distintos factores concurrentes en la operación de un vehículo como son las necesidades y limitaciones del usuario.

De todos los accidentes relativos al transporte automotor, los estudios indican que, en un 75 %, la causa principal es atribuible al conductor. Los principales motivos en ese 75 % de accidentes son:

- Exceso de velocidad.
- Invasión del carril contrario.
- Impericia del conductor.

Aunque en un accidente, por parte del usuario, influyen factores emocionales, fatiga, hipnosis del camino y la posible impreparación del conductor, también debe considerarse -- que en la mayoría de los accidentes, las circunstancias habrían cambiado de tenerse un camino en mejores condiciones.

Dada la concentración de accidentes en intersecciones y en el paso por poblaciones, la atención del proyectista en estos puntos debe ser mayor, con objeto de equilibrar las demandas del tránsito en cuanto a volumen, velocidad, características de aceleración y desaceleración, con el proyecto apropiado de un entronque o de un acceso a una zona urbana llegando siempre a una solución que, tomando en cuenta la seguridad, se justifique a través de un estudio económico en que se involucre muy principalmente el costo de la obra resultante con el costo de los accidentes que se evitarán con esa obra. Aparte de las colisiones frontales por invasión de circulación contraria y colisiones laterales en cruces a nivel, otro tipo de accidentes es el llamado del "Vehículo individual". Muchas veces se piensa que la volcadura, la salida del camino o la colisión contra un objeto fijo, de un vehículo individual, son atribuibles exclusivamente al conductor que se durmió, que iba distraído o que rebasó los límites de seguridad. Sin embargo, esa colisión contra un obstáculo a la orilla del camino no hubiese ocurrido, si se evita la existencia de aquél en la zona de la corona. También puede pensarse que ciertas volcaduras no habrían existido si el talud en lugar de $1\frac{1}{2} \times 1$ fuese de 4×1 . En otros casos debe aceptarse que no habría ocurrido el derrape en una curva si hubiera existido un coeficiente de rugosidad adecuado en la superficie de rodamiento, la sobreelevación conveniente ó bien, el radio de curva congruente con las características del tránsito que se prevé. Los caminos deben proyectarse tomando en cuenta la motivación del usuario que viaja con fines económicos, sociales o recreativos y desea hacerlo en forma cómoda, segura, en el menor -- tiempo posible.

Es por ello que al proyectar una carretera debe pensarse siempre en el individuo como módulo de proyecto con todas sus

facultades y limitaciones, a fin de proporcionarle un camino que corresponda a sus necesidades y reduzca al mínimo los --- accidentes.

ANÁLISIS DE ACCIDENTES.- Con la finalidad de resolver -- los diferentes problemas que presente la operación de los caminos, es imprescindible el análisis de los accidentes como - una de las bases fundamentales para emitir un juicio que indi que sus causas reales y así, proporcionar una solución más se gura para los casos actuales y futuros.

Los accidentes se producen por circunstancias inherentes a cualquiera de los tres elementos relacionados a saber: El - Camino, el Vehículo y el Usuario. Para deducir la falla opera cional y la magnitud de los accidentes, se deberán estudiar y analizar detenidamente las estadísticas de los mismos. Sólo - así se podrá plantear el problema, en busca de una solución - consecuente con la realidad. El correcto planteamiento aporta rá los requisitos que deben cumplirse para tener un buen pro- yecto geométrico y de señalamiento.

1.2.B ACCIDENTES EN CARRETERAS FEDERALES
DEL ESTADO DE JALISCO EN 1982

Las estadísticas de accidentes de tránsito son uno de -- los elementos básicos en la elaboración de soluciones que disminuyan la peligrosidad del transporte carretero. Estas se basan en las partes de accidentes levantados por la Policía Federal de Caminos.

Como resultado del incremento en el señalamiento horizontal y vertical, en la vigilancia que efectúa la Policía Federal de Caminos y de Campañas sobre prevención de accidentes viales - en radio y televisión, se observó una disminución en el número de accidentes registrados en la entidad con respecto al -- año de 1981.

DEL ANALISIS REALIZADO SE OBTUVIERON LOS SIGUIENTES DATOS:

- A) Carretera con más Accidentes: ~~GUADALAJARA-TEPIC~~ con 471 .
- B) Carretera con índice de accidentes más alto: Cuatro-Caminos-San Pedro con 2.633.
- C) Hora en que ocurrieron más accidentes: De las 17:00 a las 18:00 con 150.
- D) Día en que ocurrieron más accidentes: En Domingo con 428.
- E) Mes en que ocurrieron más accidentes: En Julio con 240.
- F) Porcentaje de Accidentes mortales: 5.4 %
- G) Porcentaje de accidentes con Heridos: 15.5 %
- H) Porcentaje de Accidentes con daños materiales solamente: 79.1 %.
- I) De las circunstancias que contribuyeron: Conductor 87.5%,- Peatón 1.5%, Vehículo 6.0%, Semoviente 4.0%, Camino 0.6%,- Agente natural 0.4%.
- J) Por clasificación de accidente, Carretera con más porcentaje de :
 - Salidas del camino : Tepatitlán-Jaralillo
 - Volcadura : Ramal a Ameca
 - Salida y Volcadura : Cuatro Caminos-San Pedro
 - Incendio de Vehículos : Cuatro Caminos-San Pedro
 - Atropellamiento : Jiquilpan-Colima

Choque de Frente :Tepic-Pto.Vallarta
 Choque por alcance :Tepic-Pto.Vallarta
 Choque con vehiculo estacionado :Mirador-Cd. Guzmán
 Choque con semovientes :Guadalajara-Chapala
 Choque con objeto fijo :Cuatro Caminos-Cercali.
 Salida y choque contra objeto fijo:Cuatro Caminos-Cercali.

INDICE DE ACCIDENTES DE LAS CARRETERAS FEDERALES
 EN EL ESTADO DE JALISCO EN 1982

Indices obtenidos por el método de cálculo basado en los Vehículos-Kilómetros (I_{K}^A), según la siguiente fórmula:

$$I_{K}^A = \frac{\text{Número de Accidentes} \times 1'000,000}{\text{Número de Vehículos - Kilómetro}}$$

en donde:

Número de Vehículos-Kilómetro = TPDA x Longitud en Kms x 365-días.

El número de Accidentes se obtuvo de los partes proporcionados por la Policía Federal de Caminos.

A continuación se enlistan algunos indices obtenidos:

C A R R E T E R A	I_{K}^A 1982
1.- Jiquilpan-Guadalajara	0.881
2.- GUADALAJARA-TEPIC	1.769
3.- Ramal a Ameca	0.604
4.- Lagos de Moreno-Guadalajara	0.868
5.- Santa Cruz-Melaque	1.279
6.- Irapuato-Guadalajara	0.780
7.- Santa Rosa-La Barca	1.065
8.- Melaque-Puerto Vallarta	0.705
9.- Guadalajara-Chapala	0.922
10.- La Barca-Atotonilco	0.861
11.- Tepic-Puerto Vallarta	1.301
12.- Guadalajara-Zacatecas	1.172
13.- Ojuelos-Aguascalientes	1.434
14.- Cuatro Caminos-San Pedro	2.633
15.- Colima-Atenquique	2.058

ACCIDENTES DIURNOS Y NOCTURNOS

siendo importante conocer como se distribuyen los accidentes a lo largo del día, se consideró importante obtener los porcentajes de accidentes diurnos y nocturnos.

Se consideró accidente diurno (D) el ocurrido de las siete a las diecinueve horas, mientras que el nocturno (N)- de las diecinueve horas hasta las siete del día siguiente. A continuación se enlistan los porcentajes de las carreteras analizadas.

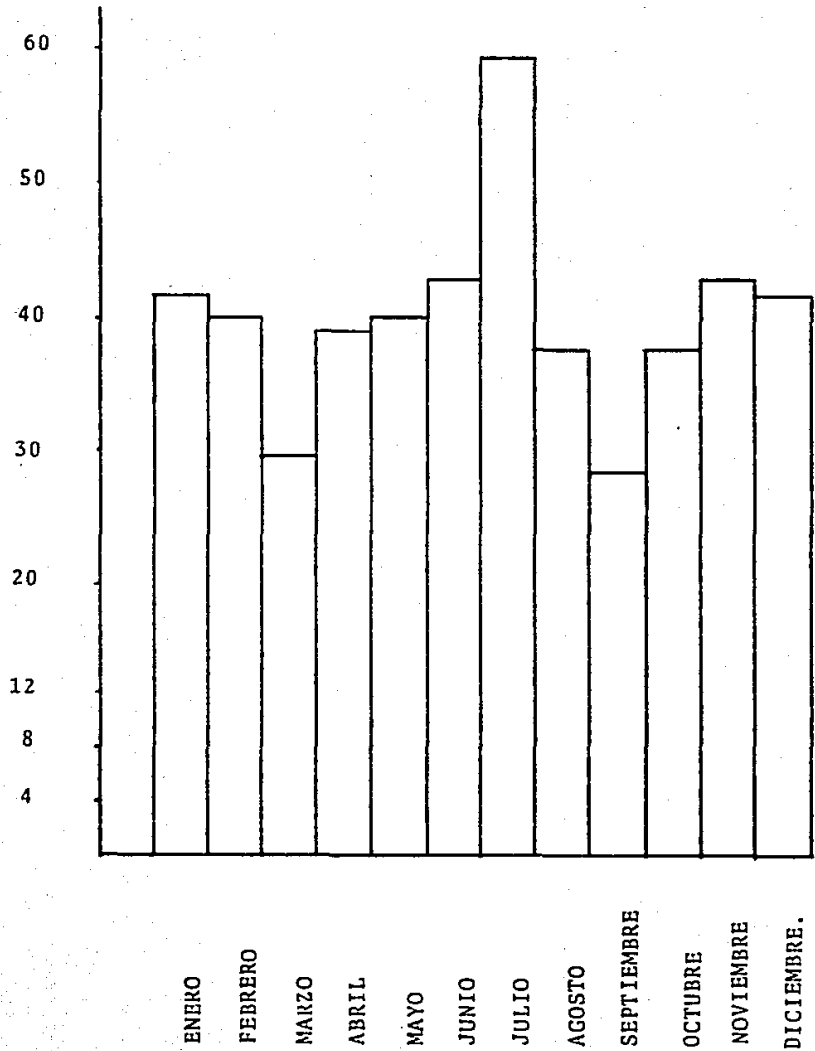
C A R R E T E R A	D %	N %
1.- Jiquilpan-Guadalajara	67	33
2.- GUADALAJARA-TEPIC	62	38
3.- Ramal a Ameca	77	23
4.- Lagos de Moreno-Guadalajara	64	36
5.- Santa Cruz-Melaque	65	35
6.- Irapuato-Guadalajara	65	35
7.- Santa Rosa-La Barca	59	41
8.- Melaque-Puerto Vallarta	62	38
9.- Guadalajara-Chapala	66	34
10.- La Barca-Atotonilco	73	27
11.- Tepic-Puerto Vallarta	66	34
12.- Guadalajara-Zacatecas	65	35
13.- Ojuelos-Aguascalientes	67	33
14.- Cuatro Caminos-San Pedro	83	17
15.- Colima-Atenquique	76	24
16.- Lagos de Moreno-Aguascalientes	70	30
17.- Jiquilpan-Colima	80	20
RED CARRETERA FEDERAL DE LA ENTIDAD	65	35

Actualmente, de acuerdo a los anteriores datos y observaciones, se presentan las siguientes recomendaciones generales:

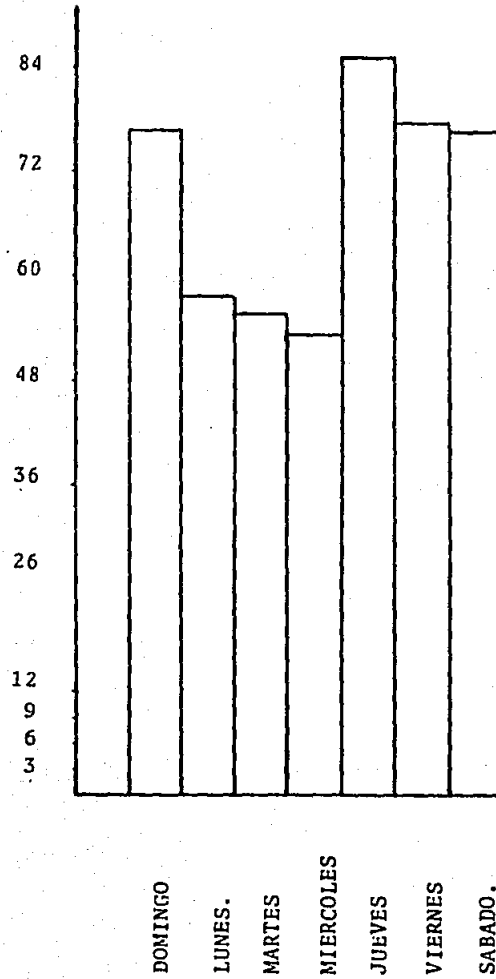
- 1.- Incrementar el señalamiento informativo, preventivo e informativo restrictivo, tal como: Curva peligrosa a X m., - No rebase con línea continua, tránsito lento carril derecho, guarde su distancia, etc., con el objeto de reforzar el señalamiento instalado.
- 2.- Instalar señalamiento reflejante en entronques y puntos - con alto número de accidentes.
- 3.- Pintar rayas laterales, en los accesos a poblaciones y lugares con alto número de accidentes.
- 4.- Promover en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulico, la necesidad de controlar la presencia de semovientes sobre la carretera, ya que un buen porcentaje de accidentes con animales no son registrados.
- 5.- Extender las campañas de prevención de accidentes en radio y televisión en temporada de lluvias, que es cuando se presenta gran número de accidentes (Agosto de 1981 -- con 239, Julio de 1982 con 240).

C A R R E T E R A .	% DE ACCIDENTES CON:			NO. DE ACCI DENTES.
	MUERTOS.	HERIDOS	DAÑOS MATE- RIALES.	
JIQUILPAN-GUADALAJARA.	9	20.5	70.5	181
GUADALAJARA-TEPIC.	4.5	12	83.5	471
LAGOS DE M.GUADALAJARA.	4.5	14	81.5	268
SANTA CRUZ-MELAQUE.	6	9.5	84.5	280
IRAPUATO-GUADALAJARA.	5.5	14	80.5	318
SANTA ROSA-LA BARCA.	7	18	75	177
GUADALAJARA-CHAPALA.	4.5	19.5	76	164
GUADALAJARA-ZACATECAS.	1	12	87	84
OJUELOS-LIM.EDOS.JAL/AGS	2.5	11	86.5	45
LAGOS DE M.LIM.EDOS. - -				
JAL/AGS.	13	8.5	78.5	23
JIQUILPAN-COLIMA.	13	22	65	69

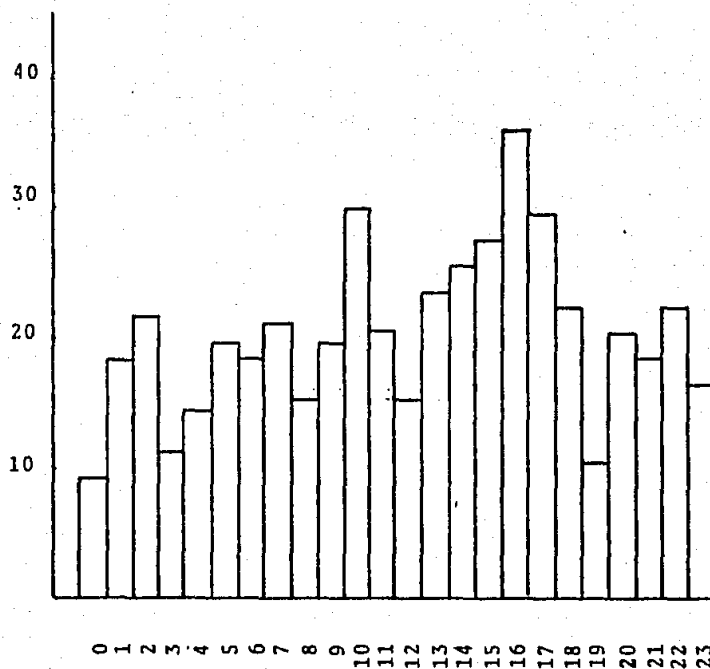
VARIACION MENSUAL DE ACCIDENTES 1982 CARRETERA
No.15 GUADALAJARA-TEPIC. KM.7+760 al 123+025.



VARIACION DIARIA DE ACCIDENTES 1982 CARR.
No. 15 GUADALAJARA - TEPIC.
KM. 7+760 al 123+025.



VARIACION HORARIA DE ACCIDENTES 1982 CARRETERA
No. 15 GUADALAJARA-TEPIC. KM.
7+760 al 123+025.



II PROYECTO DE LA RECTIFICACION

En este capítulo se presenta el trazo definitivo que tendrá la rectificación del sub-tramo Tequila-Magdalena, del km. 0+000 al km 10+000 (0+000=70+930 del cadenamamiento actual).

Como se menciona en el capítulo anterior, el objeto de esta rectificación es mejorar la carretera para elevar su nivel de servicio de acuerdo a los requerimientos actuales. Por lo anterior se presentan a continuación las especificaciones que rigen para el proyecto de este tramo en cuestión:

Camino tipo	" A "	
Velocidad	70 - 90	Kph
Ancho de Corona	11.00	Mts
Ancho de Carpeta	7.20	Mts
Curvatura Máxima	4° 00'	
Pendiente Máxima	6.00	%

II.4 TRAZO Y LOCALIZACION

En el caso de la rectificación entre Tequila y Magdalena, se contaba con los puntos obligados de unir ambas poblaciones modificándose únicamente los tramos más críticos, mejorando los alineamientos horizontal, vertical y la sección transversal.

Se anexa la planta y el perfil del Km 0+000 al Km 5+000. Se puede observar que se emplearon curvas simples o con espirales de transición, con grado de curvatura no mayor de 4.--- Las pendientes no excedieron del 6 %, existiendo cortes y terraplenes de hasta 16.00 mts. de altura aproximadamente.

II.2 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje de la sub-corona del camino.

Los elementos que integran el alineamiento horizontal son las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición. Las tangentes son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se le representa como PI, y al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa por A. Como las tangentes van unidas entre sí por curvas, la longitud de una tangente es la distancia comprendida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. A cualquier punto preciso del alineamiento horizontal localizado en el terreno sobre una tangente, se le denomina punto sobre tangente y se le representa por PST.

La longitud máxima de una tangente está condicionada por la seguridad. Las tangentes largas son causa potencial de accidentes, debido a la somnolencia que produce al conductor -- mantener concentrada su atención en puntos fijos del camino -- durante mucho tiempo, o bien, porque favorecen los deslumbramientos durante la noche; por tal razón, conviene limitar la longitud de las tangentes, proyectando en su lugar alineamientos ondulados con curvas de gran radio.

La longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la sobre elevación y ampliación a esas curvas.

Las curvas circulares son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir -- dos tangentes consecutivas; las curvas circulares pueden ser simples o compuestas, según se trate de un solo arco de círculo o de dos o más sucesivos, de diferente radio.

11.2.A TIPO DE CURVAS HORIZONTALES

a).- CURVAS CIRCULARES SIMPLES.- cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular, ésta se denomina curva simple. En el sentido del cadenamiento, las curvas simples pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha. Las curvas circulares simples tienen como elementos característicos los mostrados en la fig 11.a y se calculan como sigue:

Grado de Curvatura.- Es el ángulo subtendido por un arco de 20 mts. Se representa con la letra Gc.

$$\frac{G_c}{20} = \frac{360^\circ}{2\pi R_c} \therefore G_c = \frac{1,145.92}{R_c} \dots\dots\dots(1)$$

El grado máximo de curvatura que puede tener una curva es el que permite a un vehículo recorrer con seguridad la curva con la sobreelevación máxima a la velocidad de proyecto.

Radio de la Curva.- Es el radio de la curva circular. Se simboliza como Rc, de la expresión (1) se tiene:

$$R_c = \frac{1,145.92}{G_c} \dots\dots\dots(2)$$

Angulo Central.- Es el ángulo subtendido por la curva circular. Se simboliza como Ac. En curvas circulares simples es igual a la deflexión de las tangentes.

Longitud de curva.- Es la longitud del arco entre el PC y el PT. Se le representa como Lc.

$$\frac{L_c}{2\pi R_c} = \frac{A_c}{360^\circ} \therefore L_c = \frac{\pi A_c}{180^\circ} R_c$$

Pero teniendo en cuenta la expresión (2) se tendrá :

$$L_c = 20 A_c/G_c \dots\dots\dots(3)$$

Subtangente.- Es la distancia entre el PI y el PC o PT medida sobre la prolongación de las tangentes. Se representa como ST. Del triángulo rectángulo PI-Q-PT, se tiene:

$$ST = R_c \tan (A_c/2) \dots\dots\dots(4)$$

Externa.- Es la distancia mínima entre el PI y la curva. Se representa con la letra E. En el triángulo rectángulo PI-O-PT, se tiene :

$$E = R_c \sec (Ac/2) - R_c = R_c (\sec (Ac/2) - 1) \dots\dots\dots(5)$$

Ordenada Media.- Es la longitud de la flecha en el -- punto medio de la curva. Se simboliza con la letra M. -- Del triángulo rectángulo PI-O-PT, se tiene :

$$M = R_c - R_c \cos (Ac/2) = R_c \operatorname{sen} \operatorname{ver} (Ac/2) \dots\dots\dots(6)$$

Deflexión a un punto cualquiera de la curva.- Es el -- ángulo entre la prolongación de la tangente en PC y la -- tangente en el punto considerado. Se le representa como θ . Se puede establecer :

$$\frac{\theta}{L} = \frac{G_c}{20}, \therefore \theta = \frac{G_c L}{20} \dots\dots\dots(7)$$

Cuerda.- Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva. Se le denomina C. Si esos puntos son el PC y - PT, a la cuerda resultante se le denomina cuerda larga.- En el triángulo PC-O-PSC se tiene :

$$C = 2 R_c \operatorname{sen} (\theta/2) \dots\dots\dots(8)$$

Para la cuerda larga:

$$C_l = 2 R_c \operatorname{sen} (Ac/2) \dots\dots\dots(8)$$

Angulo de la cuerda.- Es el ángulo comprendido entre la prolongación de la tangente y la cuerda considerada.- Se representa como \emptyset . En el triángulo PC-O-PSC :

$$\emptyset = \theta/2 \quad \text{y teniendo en cuenta la expresión (7)} \quad \emptyset = G_c L/40 \dots\dots\dots(9)$$

Para la cuerda larga: $\emptyset_c = G_c L_c/40$

Para fines de trazo se considera que la cuerda C tiene la misma longitud que el arco l. Para minimizar el -- error cometido al hacer esta consideración, se toman --- cuerdas de 20 m. en curvas con $G=8^\circ$; de 10 m. con ----- $8^\circ < G < 22^\circ$; y de 5 m. para curvas con $22^\circ < G < 62^\circ$.

b).- CURVAS CIRCULARES COMPUESTAS.- Son aquellas que están -- formadas por dos o más curvas circulares simples del mis -- mo sentido y de diferente radio, o de diferente sentido-

y cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas. Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compuestas inversas.

En caminos debe evitarse este tipo de curvas, porque introducen cambios de curvatura peligrosos; sin embargo, en intersecciones pueden emplearse siempre y cuando la relación entre dos radios consecutivos no sobrepase la cantidad de 2.0 y se resuelva satisfactoriamente la transición de la sobreelevación.

c).- CURVAS DE TRANSICION.- Cuando un vehículo pasa de un tramo en tangente a otro en curva circular, requiere hacerlo en forma gradual, tanto por lo que se refiere al cambio de dirección como a la sobreelevación y a la ampliación necesaria. Para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición.

Se definirá aquí como curva de transición a la que liga una tangente con una curva circular, teniendo como característica principal, que en su longitud se efectúa, de manera continua, el cambio en el valor del radio de curvatura, desde infinito para la tangente hasta el que corresponde para la curva circular.

d).- CURVA CIRCULAR SIMPLE CON ESPIRALES DE TRANSICION.- Las curvas circulares con espirales de transición constan de una espiral de entrada, una curva circular simple y una espiral de salida. Cuando las espirales de entrada y salida tienen la misma longitud, la curva es simétrica, en caso contrario es asimétrica.

II.2.B CALCULO DE CURVAS HORIZONTALES

Al proyectar las curvas se hacen varios tanteos procurando trazar la curva que tenga mayor radio, es decir, el grado menor; sin embargo en algunas ocasiones, por efecto de las terracerías, de las obras de arte, etc., se ve uno obligado a aumentar los grados de las curvas, disminuyendo el radio.

Hay dos maneras de proyectar las curvas circulares, una consiste en escoger la curva que mejor se adapte y posterior-

mente calcular su grado de acuerdo con el cual se trazó; y la otra consiste en emplear curvas de determinado grado y calcular los demás elementos de ellas.

Debido a la facilidad que presenta el cálculo de estas curvas, como ya lo hemos visto, es más recomendable la segunda alternativa. En el proyecto de las curvas circulares horizontales hay que hacer algunas consideraciones tales como el de no proyectarlas en el mismo sentido cuando entre ellas exista una tangente corta, siendo preferible emplear una sola curva que abarque las dos. Las curvas contiguas del mismo sentido presentan muy mal aspecto y además son peligrosas para el tránsito.

Cuando no sea posible hacer la sustitución de las dos curvas por una sola, entonces es necesario dejar como mínimo, una distancia de tres estaciones entre los extremos de las transiciones. En muchas ocasiones puede ser útil el empleo de curvas compuestas porque facilitan la adaptación de la curva a la otra. en algunas ocasiones se hace necesario el uso de curvas inversas que, teóricamente, son aquellas que están compuestas de dos curvas circulares simples de sentido contrario contiguas y con tangente común en el punto de unión.

La distancia mínima entre el PT de la primera curva y el PC de la segunda debe ser igual a la suma de las transiciones de ambas curvas.

CALCULO DE LA CURVA SIMPLE CON ESPIRALES DE TRANSICION No. 5

D A T O S:

$$PI = 4+542.00$$

$$A_T = 19^\circ 41' 12''$$

$$G_c = 2^\circ 00'$$

$$Vel = 100 \text{ Kph.}$$

P R O C E D I M I E N T O:

$$R_c = 1,145.92/G_c = 1,145.92/2^\circ 00' = 572.96 \text{ mts.}$$

$$L_e = 0.0214 (V^3/C \cdot R_c)$$

C = es un valor emírico que indica el grado de comodidad que se desea proporcionar al camino. Se pueden emplear coeficientes que varíen entre 0.365 y 0.915 m/seg² a juicio del calculista. Para este caso tomaremos C = 0.57.

$$Le = 0.0214 (100^3) / (0.57) (57296) = 65.00 \text{ mts.}$$

$$\theta_e = GcLe/40 = 2^\circ 00' (65) / 40 = 3.25$$

$$Ac = A_T - 2 \theta_e = 19^\circ 41' 12'' - 2 (3^\circ 15') = 13^\circ 11' 12''$$

$$Lc = 20 Ac/Gc - 20(13^\circ 11' 12'') / 2^\circ 00' = 131.87 \text{ mts.}$$

$$Xc = Le/100 (100 - 0.00305 \theta_e^2) = 65/100(100 - 0.00305(3.25^2)) =$$

$$Xc = 64.98 \text{ mts.}$$

$$Yc = Le/100(0.582 \theta_e - 0.0000126 \theta_e^3) = 65/100(0.582(3.25) - 0.0000126(3.25^3)) = 1.23 \text{ mts.}$$

$$p = Yc - Rc(1 - \cos \theta_e) = 1.23 - 572.96 (1 - \cos 3.25) = 0.31$$

$$k = Xc - Rc \sin \theta_e = 64.98 - 572.96 \sin 3.25 = 32.50$$

$$Te = (Rc + p) \tan(A_T/2) + k = (572.96 + 0.31) \tan(19.6867/2) + 32.50$$

$$Te = 131.97$$

$$TE = PI - TE = 4+542.00 - 131.97 = 4+410.03$$

$$EC = TE + Le = 4+410.03 + 65.00 = 4+475.03$$

$$CE = EC + Lc = 4+475.03 + 131.87 = 4+606.90$$

$$ET = CE + Le = 4+606.90 + 65.00 = 4+671.90$$

T R A Z O:

Deflexión por estación de 20 mts. dentro de la curva circular $\theta_c = Gc/2 = 2^\circ 00'/2 = 1^\circ 00'$

Deflexión por metro dentro de la curva circular:

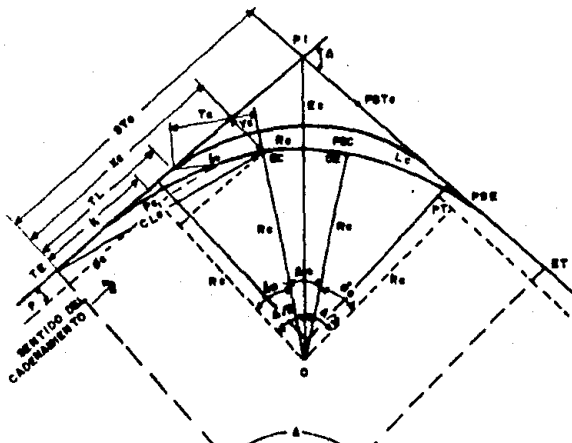
$$\theta_1 = 1.5 Gc = 1.5 \times 2^\circ 00' = 3'$$

La deflexión de una cuerda de longitud L a partir del TE ó ET dentro de la espiral con el tránsito centrado en TE ó ET y visando el PI (directo), se calcula por la fórmula:

$$\theta_e = K L^2 \text{ en donde}$$

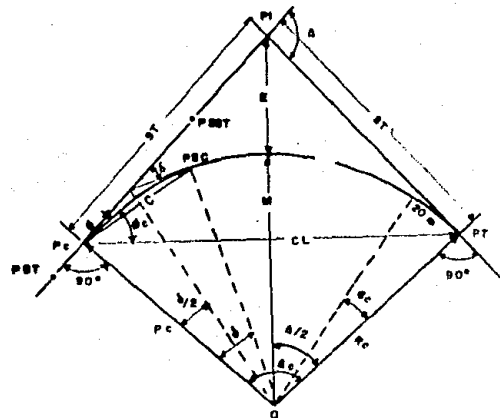
$$K = \theta_e/3 L^2 = 195/3(65^2) = 195/12675 = 0.015385$$

$$\theta_e = 0.015385 L^2 \text{ (en minutos).}$$



- PI Punto de intersección de las tangentes.
 TE Punto donde termina la tangente y empieza la espiral.
 EC Punto donde termina la espiral y empieza la curva circular.
 CE Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral.
 ET Punto donde termina la espiral y empieza la tangente.
 PSC Punto sobre la curva circular.
 PSE Punto sobre la espiral.
 PSTo Punto sobre la subtangente.
 Δ Angulo de deflexión de las tangentes.
 Δ_c Angulo central de la curva circular.
 δ_e Deflexión de la espiral.
 δ_c Angulo de la cuerda larga de la espiral.
 ST_e Subtangente.
 X_c Y_c Coordenadas del EC y del CE.
 X_p Y_p Coordenadas del PC y del PT (desplazamiento).
 TL Tangente larga.
 CL_e Cuerda larga de la espiral.
 Ec Externa.
 R_c Radio de la curva circular.
 e Longitud de la espiral de entrada o salida.
 c Longitud de la curva circular.
 T_c Tangente corta.

FIG. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES



- PI Punto de intersección de la prolongación de las tangentes.
 PC Punto en donde comienza la curva circular simple.
 PT Punto en donde termina la curva circular simple.
 PST Punto sobre tangente.
 PSST Punto sobre subtangente.
 PSC Punto sobre la curva circular.
 O Centro de la Curva Circular.
 Δ Angulo de deflexión de las tangentes.
 Δ_c Angulo central de la curva circular.
 δ Angulo de deflexión a un PSC.
 δ Angulo de una cuerda cualquiera.
 δ_c Angulo de la cuerda larga.
 G_c Grada de curvatura de la curva circular.
 R_c Radio de la curva circular.
 ST Subtangente.
 E Externa.
 M Ordenada media.
 C Cuerda.
 CL_e Cuerda larga.
 L Longitud de un arco.
 L_c Longitud de la curva circular.

FIG. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE

CALCULO DE LAS DEPLEXIONES EN SENTIDO DIRECTO							CURVA
ESTACION	DIST. L	L ²	K	ϕ_c min.	ϕ_c (G.M.S.)		
TE	1+110.05	0.00	0.0000	0.015385	0.0000	0° 00' 00"	ESPIRAL
	120.00	9.97	99.4009	0.015385	1.5293	1' 32"	
	130.00	29.97	898.2009	0.015385	13.8188	13' 10"	
	140.00	49.97		0.015385	38.1164	38' 01"	
PT	1+175.05	65.00		0.015385	65.0000	1° 05' 00"	C I R C U L A R
EC	1+175.05	0.00				0° 00' 00"	
	180.00	1.97	4.97 x 3' = 11.91'			0° 14' 54"	
	200.00	24.97				1° 14' 54"	
	220.00	41.97				2° 14' 54"	
	240.00	61.97				3° 14' 54"	
	260.00	81.97				4° 14' 54"	
	280.00	104.97				5° 14' 54"	
	300.00	121.97				6° 14' 54"	
CT	1+306.00	151.97	6.90 x 5' = 20.7'			6° 55' 36"	
CE	4+606.00	65.00		0.015385	65.0000	1° 05' 00"	
	620.00	51.90		0.015385	41.1112	0° 41' 26"	
	640.00	31.90		0.015385	15.6359	0° 15' 39"	
	660.00	11.90		0.015385	2.1787	0° 2' 11"	
EI	4+671.90	0.00	0.00	0.015385	0.0000	0° 0' 00"	ESPIRAL
TRANSITO CENTRADO $\phi_c = 0.015385 L^2$ (F6rmula $\phi_c = K L^2$							

DATOS PARA EL TRAZO DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES
DE TRANSICION No. 5

11.3 ALINEAMIENTO VERTICAL

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la sub-corona. Al eje de la sub-corona en alineamiento vertical se le llama línea-sub-rasante.

El alineamiento vertical se compone de tangentes y curvas.

TANGENTES.- Se caracterizan por su longitud y su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas. La longitud de una tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente, se representa como T_v . La pendiente de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.

Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina PIV.

CURVAS VERTICALES.- Son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida.

Debe dar por resultado un camino de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de ésta, se representa como PCV y como PTV el punto común de la tangente y la curva final de ésta.

Las curvas verticales pueden tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, recibiendo el nombre de curvas en columpio o en cresta respectivamente.

Las curvas verticales generalmente se proyectan simétricas con respecto al punto de intersección de las pendientes, de manera que sean iguales las proyecciones horizontales de las tangentes. Cuando las proyecciones horizontales de las tangentes sean desiguales, se dice que las curvas son asimétricas. Este caso suele presentarse cuando las pen

dientes de la rasante están determinadas y en una de ellas - se encuentra un punto obligado que limite la longitud de una de las ramas de la parábola. Esto ocurre frecuentemente en - los accesos de los puentes y en las intersecciones de cami- nos y vías férreas.

Una forma simple de proyectar las curvas verticales es- la siguiente:

Ya se sabe que las curvas verticales son parábo- las que se calculan por la fórmula: $Y = K x^2$.

En la fórmula anterior, a la constante K se le puede -- asignar el valor de :

$$K = \frac{P}{10L} \quad \text{en las cuales:}$$

Y = Ordenada de la curva vertical, considerada en relación a la tangente de la curva en la estación correspondiente.

Estas ordenadas se restan de las cotas de las tangentes si la curva es una cima y se suman si es un columpio.

P = Diferencia algebraica de pendientes.

L = Longitud de la curva vertical en estaciones de 20 mts.

x = Número de orden que le corresponde a la estación para la cual se calcula la ordenada Y.

FACTORES QUE SE DEBEN TOMAR EN CONSIDERACION EN LAS CURVAS VERTICALES

- a).- **PENDIENTE GOBERNADORA.**- Es la pendiente media que teóri- camente puede darse a la línea sub-rasante para dominar un desnivel determinado, en función de las característi- cas del tránsito y la configuración del terreno; la me- jor pendiente gobernadora para cada caso, será aquella- que al conjugar esos conceptos, permita obtener el me- nor costo de construcción, conservación y operación. -- sirve de norma reguladora a la serie de pendientes que- se deban proyectar para ajustarse en lo posible al te- rreno.
- b).- **PENDIENTE MAXIMA.**- Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Queda determinada por el volumen y la -

composición del tránsito previsto y la configuración del terreno. La pendiente máxima se empleará, cuando convenga desde el punto de vista económico, para salvar ciertos obstáculos locales tales como cantiles, fallas y zonas inestables, - siempre que no se rebase la longitud crítica.

c).- PENDIENTE MINIMA.- La pendiente mínima se fija para permitir el drenaje. En los terraplenes puede ser nula; en los cortes se recomienda 0.5 % mínimo, para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas; en ocasiones la longitud de los cortes y la precipitación pluvial en la zona podrá llevar a aumentar esa pendiente mínima.

d).- LONGITUD CRITICA DE UNA TANGENTE DEL ALINEAMIENTO VERTICAL.- Es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá del límite previamente establecido.

Los elementos que intervienen para la determinación de la longitud crítica de una tangente son fundamentalmente el vehículo de proyecto, la configuración del terreno, el volumen y la composición del tránsito. El vehículo con su relación peso/potencia, define características de operación que determinan la velocidad con que es capaz de recorrer una pendiente que reducen la velocidad de los vehículos pesados y hacen que éstos interfieran con los vehículos ligeros. El volumen y la composición del tránsito son elementos primordiales para el estudio económico del tramo, ya que los costos de operación dependen básicamente de ellos.

II.3.A CALCULO DE LA CURVA VERTICAL No. 9

D A T O S:

$$S_1 = - 5.8 \%$$

$$S_2 = + 0.1 \%$$

PIV= 4+290; Elevación 79.24 mts.

L = 220 mts. = 11 estaciones de 20 mts.

El cadenamiento del PCV = PIV - L/2 = 4+290 - 220/2 = 4+180

La elevación del PCV es igual a la elevación del PIV menos la pendiente por la distancia del PCV al PIV.

$$\text{Elev. PCV} = 79.24 - (0.058 \times 110) = 79.24 + 6.38 = 85.62 \text{ m}$$

El cadenamiento del PTV = PIV + L/2 = 4+290 + 220/2 = 4+400

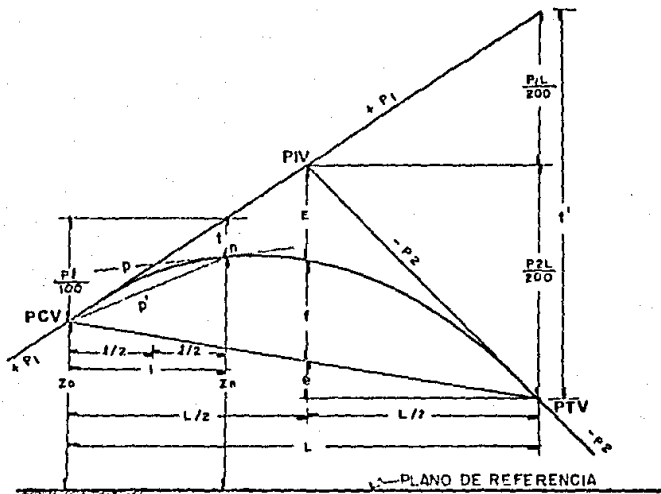
La elevación del PTV es igual a la elevación del PIV más la pendiente por la distancia del PTV al PIV.

$$\text{Elev. PTV} = 79.24 + (0.001 \times 110) = 79.24 + 0.11 = 79.35 \text{ m}$$

$$\text{El valor de la constante } K = \frac{0.1 + 5.8}{10 \times 11} = 0.0536$$

TABLA DE VALORES PARA LA CURVA VERTICAL No. 9

ESTACION	COTAS EN TANGENTE	x	x ²	K	y	COTAS EN CURVA
PCV 4+180	85.62	0	0	0.0540	0.00	85.62
200	84.46	1	1	"	0.05	84.51
220	83.30	2	4	"	0.21	83.51
240	82.14	3	9	"	0.48	82.62
260	80.98	4	16	"	0.86	81.84
280	79.82	5	25	"	1.34	81.16
300	78.66	6	36	"	1.93	80.59
320	77.50	7	49	"	2.63	80.13
340	76.34	8	64	"	3.43	79.77
360	75.18	9	81	"	4.34	79.52
380	74.02	10	100	"	5.36	79.38
PTV 4+400	72.86	11	121	0.0540	6.49	79.35



- PIV — Punto de Intersección de los tangentes.
 PCV — Punto en donde comienza la curva vertical.
 PTV — Punto en donde termina la curva vertical.
 n — Punto cualquiera sobre la curva.
 P_1 — Pendiente de la tangente de entrada en por ciento.
 P_2 — Pendiente de la tangente de la salida en por ciento.
 P — Pendiente en un punto cualquiera de la curva en por ciento.
 P' — Pendiente de una cuerda a un punto cualquiera en por ciento.
 A — Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y de salida.
 L — Longitud de la curva
 E — Externa.
 f — Flecha.
 f' — Longitud de curva a un punto cualquiera.
 i — Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera.
 K — Variación de la longitud por unidad de pendiente, $K = L/A$
 Z_0 — Elevación del PCV.
 Z_n — Elevación de un punto cualquiera.

Fig. II.d. ELEMENTOS DE LAS CURVAS VERTICALES.

11.4 SECCION TRANSVERSAL

La sección transversal de un camino en un punto cualquiera de éste es un corte vertical normal al alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Los elementos que integran y definen la sección transversal son: La corona, la sub-corona, las cunetas y contracunetas, los taludes y las partes complementarias.

LA CORONA.- Es la superficie del camino terminado que queda comprendida entre los hombros del camino, o sean las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las interiores de las cunetas. En la sección transversal está presentada por una línea. Los elementos que definen la corona son: la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

a) **RASANTE.-** La rasante es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. En la sección transversal está presentada por un punto.

b) **PENDIENTE TRANSVERSAL.-** Es la pendiente que se da a la corona normal a su eje. Según su relación con los elementos del alineamiento horizontal se presentan tres casos: Bombeo, Sobreelevación y Transición del bombeo a la sobreelevación.

1) **BOMBEO.-** El bombeo es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre el camino, generalmente es el - 2.00 %.

2) **SOBREELEVACION.-** La sobreelevación es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal.

3) **TRANSICION DEL BOMBEO A LA SOBREELEVACION.-** En el alineamiento horizontal, al pasar de una sección en tangente a otra en curva, se requiere cambiar la pendiente de la -

corona, desde el bombeo hasta la sobreelevación correspondiente a la curva, este cambio se hace gradualmente en toda la longitud de la espiral de transición.

SUB-CORONA.- Es la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas del pavimento. En sección transversal es una línea.

Se entiende por terracerías, el volumen de material que hay que cortar o terraplenar para formar el camino hasta la sub-corona, define los espesores de corte o terraplén en cada punto de la sección. A los puntos intermedios en donde esa diferencia es nula, se les llama puntos de paso. A los puntos extremos de la sección donde los taludes cortan el terreno natural, se les llama ceros y a las líneas que los unen a lo largo del camino, líneas de ceros.

Se entiende por pavimento, a la capa o capas de material seleccionado y/o tratado comprendidas entre las sub-coronas y la corona, que tiene por objeto soportar las cargas inducidas por el tránsito y repartirlas de manera que los esfuerzos transmitidos a la capa de terracerías subyacentes a la sub-corona, no le causen deformaciones perjudiciales; al mismo tiempo proporciona una superficie de rodamiento adecuada al tránsito. Los pavimentos generalmente están formados por la sub-base, la base y la carpeta, definiendo ésta última la calzada del camino.

Los elementos que definen la sub-corona y que son básicos para el proyecto de las secciones de construcción del camino son la sub-rasante, la pendiente transversal y el ancho.

a) **SUB-RASANTE.**- La sub-rasante es la proyección de un plano vertical del desarrollo del eje de la sub-corona. En la sección transversal es un punto cuya diferencia de elevación con la rasante, está determinada por el espesor del pavimento y cuyo desnivel con respecto al terreno natural, sirve para determinar el espesor de corte o terraplén.

b) **PENDIENTE TRANSVERSAL.**- La pendiente transversal de la sub-corona es la misma que la de la corona, logrando mantener uniforme el espesor del pavimento.

c) **ANCHO.**- El ancho de la sub-corona es la distancia ho

rizontal comprendida entre los puntos de intersección de la sub-corona con los taludes del terraplén, cuneta o corte. Este ancho está en función del ancho de corona y del ensanche.

CUNETAS Y CONTRACUNETAS.- Son obras de drenaje que por su naturaleza quedan incluidas en la sección transversal.

TALUD.- Es la inclinación del paramento de los cortes o de los terraplenes, expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente. Por extensión, en caminos se les llama también talud a la superficie que en cortes queda comprendida entre la línea de ceros y el fondo de la cuneta; y en terraplenes, la que queda comprendida entre la línea de ceros y el hombro correspondiente.

Los taludes de los cortes y terraplenes se fijan de acuerdo con su altura y la naturaleza del material que los forman.

En terraplenes, dado el control que se tiene en la extracción del material que forma el talud, el valor comúnmente empleado para éste es de 1.5 . En los cortes, debido a la gran variedad en el tipo y disposición de los materiales, es indispensable un estudio, por somero que sea, para definir los taludes en cada caso.

PARTES COMPLEMENTARIAS.- Bajo esta denominación se incluyen aquellos elementos de la sección transversal que concurren ocasionalmente y con los cuales se trata de mejorar la operación y conservación del camino. Tales elementos son las guarniciones, bordillos, banquetas y fajas separadoras.- Las defensas y los dispositivos para el control del tránsito también pueden considerarse como parte de la sección transversal.

TABLA CORRESPONDIENTE A LOS DIFERENTES
TIPOS DE CAMINOS SEGUN SU TDPA.

TRANSITO		LIGERO								MEDIO								PESADO											
TIPO DE CAMINO.		E				D				C								B				A							
T. D. P. A.		100				100 a 500				500 a 1,500								1,500 a 5,000				> 5,000							
TIPO DE TERRENO	montañoso	X				X				X	X					X	X	X				X	X			X	X		
	lomerío	X	X			X	X			X	X	X							X	X	X					X	X		
	plano.	X	X	X		X	X	X				X	X	X				X	X	X			X	X	X			X	X
VELOCIDAD DE PROYECTO.	km/h	40	50	60	70	40	50	60	70	40	50	60	70	80	90	50	60	70	80	90	100	80	90	100	110				
CURVATURA MAXIMA.		0	30	17	11	7	30	17	11	7	30	17	11	7	5	4	17	11	7	5	4	3	5	4	3	2			
BOMBEO-SOBRE-ELEV.	%	3 - 10				3 - 10				2 - 10								2 - 10											
ANCHO DE CALZADA.	mts	4				6				6								7				2 x 7							
ANCHO DE ACOTAMIENTO	mts	-				-				0.5	1.0	1.5	1.5	2.0	2.5	5.0	4.0	3.0	2x	2x	2x	2x							
ANCHO DE CORONA.	mts	4				6				7	8	9	10	11	12	10	11	11	10	11	11	11							
PENDIENTE GOBERNADORA.	%	7	5	4		7	5	4		5	4	3				4	3	2				4	3	2					
PENDIENTE MAXIMA.	%	12	8	9		12	8	6		8	6	4				5	4	3				5	4	3					
CURVAS VERTI-CALES.	CRESTA	%/m	4	8	14	20	4	8	14	20	4	8	14	20	31	43	8	14	20	31	43	57	31	43	57	72			
	COLUMPIO		7	10	15	20	7	10	15	20	7	10	15	20	25	31	30	30	30	30	31	37	30	31	37	43			
	LONG.M.	mts	30				40				30								40				50				60		
ANCHO DERECHO DE VIA.	mts.	20				40				40								60				60							
SOBRE-ELEVACION EN CURVA	%	S= (s max/G max) G																											

III PROYECTO DE LA SUBRASANTE Y CALCULO DE LOS MOVIMIENTOS DE TERRACERIAS

GENERALIDADES.- El costo de construcción, parte integrante de los costos en que se basa la evaluación de un camino, está gobernado por los movimientos de terracerías. Esto implica una serie de estudios que permitan tener la certeza de que los movimientos a realizar sean los más económicos, - dentro de los requerimientos que el tipo de camino fija.

La subrasante a la que corresponden los movimientos de terracerías más económicos se le conoce como subrasante económica.

En este Capítulo se dan los lineamientos que el proyectista debe seguir para obtener la subrasante que corresponda a un proyecto económico.

III.1 PROYECTO DE LA SUBRASANTE

Al iniciarse el estudio de la subrasante en un tramo se debe analizar el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y las secciones transversales del terreno, los datos relativos a la calidad de los materiales y la elevación mínima que se requiere para dar cabida a las estructuras.

La subrasante económica es aquella que ocasiona el menor costo de la obra, entendiéndose por esto, la suma de las erogaciones ocasionadas durante la construcción y por operación y conservación del camino una vez abierto al tránsito.

No obstante, en lo que sigue se tratará la forma de encontrar la subrasante económica determinándola únicamente -- por el costo de construcción, por ser este concepto el que generalmente presenta variaciones sensibles. Bajo este aspecto, para el proyecto de la subrasante económica hay que tomar en cuenta que:

- 1.- La subrasante debe cumplir con las Especificaciones de Proyecto Geométrico dadas.
- 2.- En general, el alineamiento horizontal es definitivo, -- pues todos los problemas inherentes a él han sido previstos en la fase de anteproyecto. Sin embargo, habrá casos en que se requiera modificarlo localmente.
- 3.- La subrasante a proyectar debe permitir alojar las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel y su elevación debe ser la necesaria para evitar humedades perjudiciales a las terracerías o al pavimento, causadas por zonas de -- inundación o humedad excesiva en el terreno natural.

III.1.A ELEMENTOS QUE DEFINEN EL PROYECTO DE LA SUBRASANTE

De acuerdo con lo anterior se considera que los elementos que definen el proyecto de la subrasante económica, son los siguientes:

- A).- Condiciones topográficas.
- B).- Condiciones geotécnicas.

C).- Subrasante mínima.

D).- Costo de las terracerías.

A).- CONDICIONES TOPOGRAFICAS.- De acuerdo con su configuración se consideran los siguientes tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso.

Se estima que la definición de estos tres conceptos debe estar íntimamente ligada con las características que cada uno de ellos imprime al proyecto, tanto en los alineamientos horizontal y vertical como en el diseño de la sección de construcción.

Se considera terreno plano, aquél cuyo perfil acusa pendiente transversal escasa o nula.

Como lomerío, se considera al terreno cuyo perfil longitudinal presenta en sucesión, cimas y depresiones de cierta magnitud, con pendiente transversal no mayor de 25°.

Como montañoso se considera al terreno que ofrece pendientes transversales mayores de 25°, caracterizado por accidentes topográficos notables y cuyo perfil obliga a fuertes movimientos de tierra.

En terreno plano el proyecto de la subrasante será generalmente en terraplén, sensiblemente paralelo al terreno, -- con la altura suficiente para quedar a salvo de la humedad propia del suelo y de los escurrimientos laminares en él así como para dar cabida a las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel.

En este tipo de configuración, la compensación longitudinal o transversal de las terracerías se presenta excepcionalmente; como consecuencia, los terraplenes estarán formados con material producto de préstamo, ya sea lateral o de banco.

El proyecto de tramos con visibilidad de rebase generalmente no presenta ninguna dificultad, tanto por lo que respecta al alineamiento horizontal como al vertical.

En un terreno considerado como lomerío, el proyectista estudiará la subrasante combinando las pendientes específicas, obteniendo un alineamiento vertical ondulado, que en general permitirá aprovechar el material producto de los cor--

tes, para formar los terraplenes contiguos. El proyecto de la subrasante a base de contrapendientes, la compensación longitudinal de las terracerías en tramos de longitud considerable, el hecho de no representar problema dejar el espacio vertical necesario para alojar las alcantarillas, los pasos a desnivel y puentes, son características de este tipo de terreno. Asimismo, cuando se requiere considerar la distancia de visibilidad de rebase en el proyecto del alineamiento vertical, se ocasiona un incremento en el volumen de tierras a mover.

En terreno montañoso, como consecuencia de la configuración topográfica, la formación de las terracerías se obtiene mediante la excavación de grandes volúmenes; el proyecto de la subrasante queda generalmente condicionado a la pendiente transversal del terreno y el análisis de las secciones transversales en zonas críticas o en balcón. Cuando a causa de la excesiva pendiente transversal del terreno haya necesidad de alojar en tierra firme la corona del camino, la elevación de la subrasante debe estudiarse considerando la construcción de muros de contención o viaductos, con el objeto de obtener el menor costo del tramo. En ocasiones, el proyecto de un túnel puede ser la solución conveniente.

B).- **CONDICIONES GEOTECNICAS.**- La calidad de los materiales que se encuentran en la zona en donde se localiza el camino, es factor muy importante para lograr el proyecto de la subrasante económica, ya que además del empleo que tendrán en la formación de las terracerías, servirán de apoyo al camino. La elevación de la subrasante está limitada en ocasiones por la capacidad de carga del suelo que servirá de base al camino.

C).- **SUBRASANTE MINIMA.**- La elevación mínima correspondiente a puntos determinados del camino, a los que el estudio de la subrasante económica debe sujetarse, define en esos puntos el proyecto de la subrasante mínima.

Los elementos que fijan estas elevaciones mínimas son:

- 1.- OBRAS MENORES.
- 2.- PUENTES.

3.- ZONAS DE INUNDACION.

4.- INTERSECCIONES.

D).- COSTOS DE LAS TERRACERIAS.- La posición que debe guardar la subrasante para obtener la economía máxima en la construcción de las terracerías, depende de los siguientes conceptos:

1.- COSTOS UNITARIOS.

Excavaciones en corte.

Excavaciones en préstamo.

Compactación en el terraplén del material de corte.

Compactación en el terraplén del material de préstamo.

Sobreacarreo del material de corte a terraplén.

Sobreacarreo del material de corte a desperdicio.

Sobreacarreo del material de préstamo a terraplén.

Costo del terreno afectado para préstamo, desmonte y despilme, dividido entre el volumen de terracerías extraído del mismo.

2.- COEFICIENTES DE VARIABILIDAD VOLUMETRICA:

Del material de corte.

Del material de préstamo.

3.- RELACIONES:

Entre la variación de los volúmenes de corte y terraplén al mover la subrasante de su posición original.

Entre los costos unitarios de terraplén formado con material producto de corte y con material obtenido de préstamo.

Entre los costos que significa el acarreo del material de corte para formar el terraplén y su compactación en éste y el que significa la extracción del material de corte y el acarreo para desperdiciarlo.

4.- DISTANCIA ECONOMICA DE SOBREACARREO.-

El empleo de material producto de corte en la formación de terraplenes, está condicionado tanto a la calidad del material como a la distancia hasta la que es económica posible su transporte. Esta distancia

cia está dada por la ecuación :

$$DME = \frac{(P_p + ad) - P_c}{P_{sa}} + AL$$

en donde:

DME = Distancia máxima de sobreacarreo económico.

ad = Costo unitario de sobreacarreo del material - de corte de desperdicio.

P_c = Precio unitario de la compactación en el terraplén del material producto del corte.

AL = Acarreo libre del material, cuyo costo está - incluido en el precio de la excavación.

P_p = Costo unitario de terraplén formado con material producto de préstamo.

P_{sa} = Precio unitario del sobreacarreo del material de corte.

111.2 DIAGRAMA DE MASAS

Al diseñar un camino no basta ajustarse a las especificaciones sobre pendiente, curvas verticales, compensación -- por curvatura, drenaje, etc., para obtener un resultado satisfactorio, sino que también es igualmente importante conseguir la mayor economía posible en el movimiento de tierras. - Esta economía se consigue excavando y rellenoando solamente - lo indispensable y de preferencia cuesta abajo. Este estudio de las cantidades de excavación y de relleno, su compensación y movimiento se lleva a cabo mediante un diagrama llamado Curva Masa o Diagrama de Masas.

Aunque el método no es totalmente exacto y consume bastante tiempo, posiblemente sea el método más preciso conocido actualmente, y sólo requiere conocer los principios básicos de la aritmética.

La curva masa es un diagrama en el cual las ordenadas - representan volúmenes acumulativos de las terracerías y las abscisas el cadenamamiento correspondiente. Este diagrama se - dibuja en el mismo papel donde se dibujó el perfil del terreno y se proyectó la subrasante. Corrientemente las abscisas - se dibujan a escala de un centímetro igual a una estación y las ordenadas se dibujan en escala de un centímetro igual a 400 metros cúbicos, pero estas escalas pueden variarse según sea más conveniente.

Para determinar los volúmenes acumulados se considera - positivos los de los cortes y negativos los de los terraplenes, haciéndose la suma algebraicamente, es decir, sumando - los volúmenes de signo positivo y restando los de signo negativo.

La secuela a seguir para el proyecto de la curva masa - es como sigue:

- 1.- Se proyecta la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno.
- 2.- Se determina en cada estación, o en los puntos que los ameriten, los espesores de corte o de terraplén.

- 3.- Se dibujan las secciones transversales topográficas (secciones de construcción).
- 4.- Se dibuja la plantilla del corte o del terraplén con los taludes escogidos según el tipo de material, sobre la --sección topográfica correspondiente, quedando así dibujadas las secciones transversales del camino.
- 5.- Se calculan las áreas de las secciones transversales del camino por cualquiera de los métodos ya conocidos.
- 6.- Se calculan los volúmenes abundando los cortes o haciendo la reducción de los terraplenes, según el tipo de material y método escogido.
- 7.- Se suman algebraicamente los volúmenes de corte y terraplenes.
- 8.- Se dibuja la curva con los valores anteriores.

LAS PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LA CURVA MASA SON :

- a).- La curva masa es ascendente hacia la derecha cuando se trate de un corte.
- b).- La curva masa es descendente hacia la derecha cuando se trata de un terraplén.
- c).- Los mínimos de la curva masa son puntos de paso de un corte a un terraplén.
- d).- Cualquier línea horizontal que corte una cima o un coltumpio de la curva masa se llama compensadora, es decir, el volumen de corte iguala al de terraplén, cuantas más veces cruce la línea compensadora a el diagrama de curva-masa mejor compensado está el tramo.
- e).- Los cortes que en la curva masa quedan arriba de la línea compensadora.. se mueven hacia adelante y los que --queden debajo hacia atrás.

Al estudiar el tramo pueden trazarse varias compensadoras según resulte la curva masa obtenida, y entre una y otra quedarán tramos sin compensación. En estos tramos, si la curva asciende, habrá un volumen de excavación excedente que no hay donde emplearlo para rellenar, o sea un DESPERDICIO, y - si la curva desciende, indicará que hace falta material para

el terraplén, que no podemos obtener de la excavación. En este caso debe traerse material de otro lado, o sea un PRESTAMO.

LOS OBJETIVOS PRINCIPALES DE LA CURVA MASA SON :

- I.- Compensar volúmenes.
- II.- Fijar el sentido de los movimientos del material.
- III.- Fijar los límites del acarreo libre.
- IV.- Calcular los sobreacarreos.
- V.- Controlar préstamos y desperdicios.

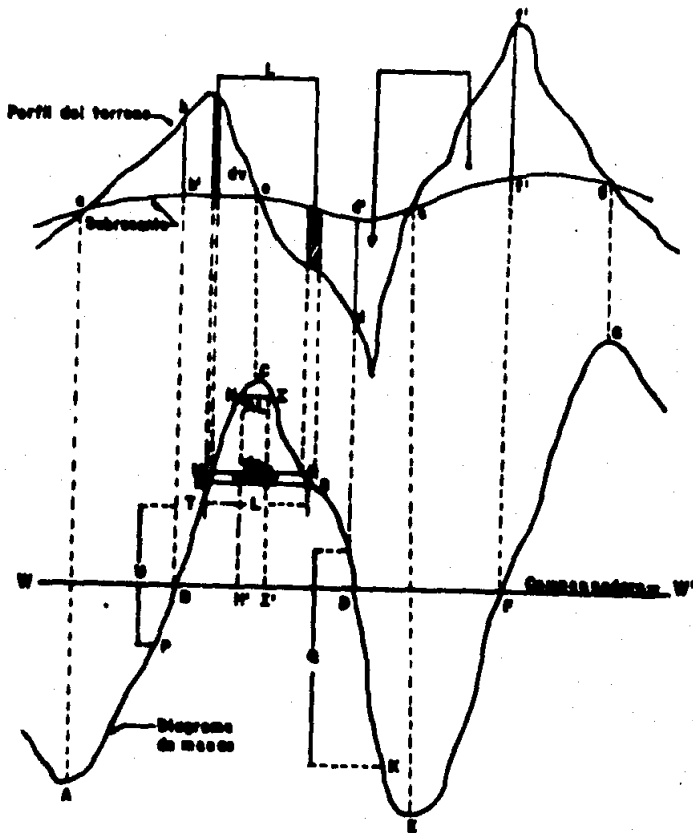
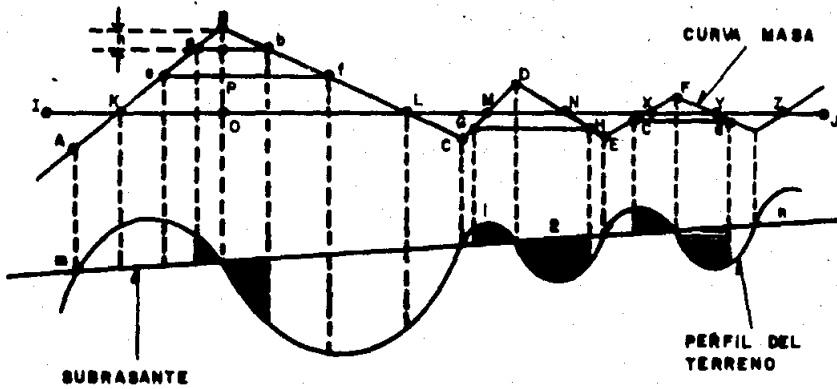


FIGURA III.6 PROPIEDADES DEL DIAGRAMA DE MASAS



OBJETIVOS DE LA CURVA MASA

FIG III. b

IV DRENAJE DE LOS CAMINOS

El objeto del drenaje en los caminos, es en primer término, el reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una u otra forma llega al mismo, y en segundo término, -- dar salida rápida al agua que llegue al camino.

Para que un camino tenga buen drenaje debe evitar que el agua circule en cantidades excesivas por el mismo, destruyendo el pavimento u originando la formación de baches, así como también que el agua que debe escurrir por las cunetas se estanque y reblandezca las terracerías originando pérdidas de estabilidad de las mismas con sus consiguientes asentamientos perjudiciales. Debe evitarse también que los cortes, formados por materiales de mala calidad, se saturen de agua con peligro de derrumbes o deslizamientos según el tipo de material del corte, y debe evitarse además, que el agua subterránea reblandezca la subrasante con su consiguiente peligro.

Como puede observarse, el prever un buen drenaje es uno de los factores más importante en el proyecto de un camino y por lo tanto debe preverse desde la localización misma tratando de alojar siempre el camino sobre suelos estables, permanentes y naturalmente drenados. Sin embargo, debido a la necesidad de un alineamiento determinado, el camino puede -- atravesar suelos variables, permeables unos e impermeables -- otros, obligando ello a la construcción de obras de drenaje de acuerdo con las condiciones requeridas. La experiencia en el análisis y estudio de muchos caminos en mal estado ha enseñado que el drenaje inadecuado más que ninguna otra causa, ha sido el responsable del daño que han sufrido.

En cuanto al trazo de la subrasante debe estudiarse cuidadosamente con relación al drenaje, ya que frecuentemente -- bastan ligeros cambios en ella para facilitar la remoción rápida y completa del agua. Además, es mucho más importante -- que la superficie sea rápida y correctamente drenada y protegida contra las inundaciones, que lograr que las terracerías

tengan el costo mínimo.

El cuidado en el estudio no sólo es aplicable a cruces de grandes ríos, sino para cualquier obra de drenaje por pequeña que sea, pues el drenaje menor es el que regula la vida del camino y el que a la larga dá el índice de economía de él. El peor enemigo de la vida de un camino es el agua.

Un camino ideal es aquel que tenga el menor número de cruces, que éstos sean definidos, de régimen hidráulico tranquilo, que el terreno sea seco, es decir, que no haya humedad y donde el nivel de aguas subterráneas no alcance a perjudicar por capilaridad el revestimiento, ni la superficie de rodamiento. Por eso se localizan a veces las líneas por los parte-aguas, o se recargan sobre la ladera de una cañada o se buscan las partes altas y firmes cuando la línea va por zonas bajas, húmedas o pantanosas.

FIJACION DE PUNTOS OBLIGADOS POR EL DRENAJE

Los puntos obligados motivados por el drenaje, lo constituyen principalmente los puentes grandes, ya que en la mayoría de los casos el resto del drenaje queda supeditado al proyecto integral del camino, tomando en consideración que un cruce no es sino un accidente del camino y no un factor básico en el proyecto del mismo. Un buen camino no es solamente aquel que tiene buenos cruces, sino aquel que, teniendo buenos cruces tiene buen alineamiento tanto vertical como horizontal; un camino que se sujeta a ligar una serie de cruces aunque éstos estén excelentemente escogidos, será un camino mal proyectado.

El estudio del drenaje que se va a exponer se divide en dos partes: DRENAJE SUPERFICIAL Y DRENAJE SUBTERRANEO.

IV.1 DRENAJE SUPERFICIAL

Se llama drenaje superficial al que tiende a eliminar el agua que escurre encima del terreno o del camino, sea que provenga directamente de lluvia, de escurrideros naturales o de aguas almacenadas.

El drenaje superficial comprende dos aspectos: uno es el que trata de evitar que el agua llegue al camino por medio de obras que lo protejan y el otro es el que trata de -- eliminar el agua que inevitablemente llega al camino, por me -- dio de estructuras especiales. Así pues, nuestro primer estu -- dio se referirá a las obras de captación y defensa tales como el Bombeo, Bordillos, Cunetas, Contracunetas y Lavaderos, y el segundo a las llamadas obras de cruce como las Alcantarillas, Puentes, Vados, etc.

IV.1.A OBRAS DE CAPTACION Y DEFENSA

- a).- BOMBEO DEL CAMINO.- Se denomina bombeo de un camino a la forma de la sección transversal del mismo y que tiene como fin principal el drenaje hacia los lados del -- agua que cae en el camino mismo. el bombeo que debe emplearse depende de la clase de superficie, facilidad de circulación de los vehículos y aspecto del camino. En -- nuestro país se acostumbra a emplear un bombeo de 2.0% -- para los caminos asfaltados y de 1.5 % para los de -- concreto hidráulico.
- b).- BORDILLO.- Bordillo es la guarnición que impide que el -- escurrimiento que cae sobre el camino vaya sobre el -- terraplén y lo erosione, por lo que es conducido por el -- bordillo hacia un desfogue de una cuneta o un lavadero. -- Los hay de dos tipos, de mezcla asfáltica y de concreto.
- c).- CUNETAS.- Las cunetas son zanjas que se hacen a ambos -- lados del camino con el propósito de recibir y conducir -- el agua pluvial de la mitad del camino (o de todo el -- camino en las curvas), el agua que escurre por los cor -- tes y a veces la que escurre de pequeñas áreas adyacentes. Cuando las cunetas pasan del corte al terraplén, -- se prolongan a lo largo del pie del terraplén dejando -- una berma convencional entre dicho pie y el borde de la -- cuneta para evitar que se remoje el terraplén lo cual -- es causa de asentamientos.
- Debido a que el área a drenar por las cunetas es relati -- vamente pequeña, generalmente se proyectan éstas para --

que den capacidad a fuertes aguaceros de 10 a 20 minutos de duración. Se puede decir que se considera suficientemente seguro proyectar cada cuneta para que tomen el 80 % de la precipitación pluvial que cae en la mitad del ancho total del derecho de vía. Las dimensiones, la pendiente y otras características de las cunetas se determinan mediante el flujo que va a escurrir por las mismas. Las cunetas generalmente se construyen de sección transversal triangular o trapezoidal y su diseño se basa en los principios del flujo en los canales abiertos.

d).- CONTRACUNETAS.- Las contracunetas son zanjas que se hacen en lugares convenientes con el fin de evitar que lleguen a las cunetas más agua que aquella para lo cual están proyectadas. Como se indicó con anterioridad, en virtud de que las cunetas sólo pueden llevar agua que escurre por el bombeo del camino y los taludes de los cortes y de pequeñas áreas adyacentes, con el fin de recoger y encauzar el agua proveniente de zonas más alejadas y que se dirigen al camino, hay que construir zanjas llamadas contracunetas colocadas transversalmente a la pendiente del terreno, las cuales interceptan el paso del agua y la alejan de los terrapienes y cortes. Cuando el camino sigue aproximadamente la dirección de la misma pendiente del terreno, son innecesarias las contracunetas porque entonces el agua correrá paralelamente al camino en dirección de los talwegs y por ahí saldrá a las alcantarillas.

Como se puede observar, el uso de las contracunetas está indicado en terrenos montañosos o lomeríos, pero en cualquier caso debe observarse la naturaleza geológica del terreno para no hacer contracunetas que vayan a ser perjudiciales. Las contracunetas se calculan igual que las cunetas y generalmente son de sección trapezoidal de 50 cms. de plantilla y taludes de 1:1 en material suficientemente compacto, pudiendo llegar a hacerse paredes verticales. En todos los casos el tamaño y forma debe--

rán sujetarse a las necesidades hidráulicas y a las condiciones del terreno.

- e).- LAVADEROS.- Son conductos que van de la orilla del acotamiento hasta la parte inferior del terraplén en forma perpendicular al camino y son generalmente de concreto, el objeto de este tipo de obra es conducir el escurrimiento de la superficie de rodamiento y del bordillo -- hasta donde no provoque erosión en los terraplenes, también llegan a ser de una sección de tubo acanalado.

IV.1.B OBRAS DE CRUCE: ALCANTARILLAS Y PUENTES

Las obras de cruce, que son llamadas también de drenaje transversal, tienen por objeto dar paso rápido al agua que, por no poder desviarse en otra forma, tenga que cruzar de un lado a otro del camino. En estas obras de cruce están comprendidos los puentes y las alcantarillas.

La diferencia entre alcantarilla y puente, es que las primeras son las estructuras de claro menor de 6.00 mts. y también aquellas que aunque mayores de claro, tienen colchón y el nombre de puentes es para las estructuras de claro mayor de 6.00 mts. y sin colchón.

Las alcantarillas se colocan hasta donde sea posible siguiendo en alineamiento y pendiente el cauce natural, pues en esa forma se trastorna menos el régimen hidráulico. Cuando el cruce es oblicuo es preferible dejar la alcantarilla oblicua y no tratar de ponerla normal, obligando al arroyo a cambiar de curso. En cambio tratándose de terreno plano en donde a veces los arroyos son meándricos, si es conveniente rectificar a encauzar el agua en una alcantarilla que no siga el curso original de la corriente, pero siempre localizando los puntos de entrada y salida o canales de entrada y salida en puntos del cauce antiguo y al mismo nivel. Cuando el agua corre en algún tramo del camino paralelamente a él, debe dársele paso en la primera oportunidad permitiendo que corra paralela, si ello es inevitable, del lado de aguas abajo.

Por lo que se refiere al cruce se clasifican las alcantarillas en normales en tangente, radiales en curva y obli-

cuas o esvirajadas.

En la construcción de un camino, aún en aquellos casos en los que los fondos estén limitados, deben siempre llevarse a cabo todas las estructuras necesarias, con el objeto de proteger el camino estableciendo un sistema razonable de drenaje de una vez por todas, ya que una estructura mal localizada ocasiona posteriormente trastornos costosos.

IV.1.C AREAS HIDRAULICAS DE LAS ALCANTARILLAS

El cálculo del área hidráulica de las alcantarillas es semejante al que se presenta en los puentes, o sea, se trata de permitir el paso del máximo caudal de agua que haya en cada caso, haciéndolo de tal manera que no cause trastornos ni al camino ni a la estructura misma.

Hay cinco procedimientos para proyectar hidráulicamente una alcantarilla, que son los siguientes:

- a).- Procedimiento por Comparación
- b).- Procedimiento Empírico
- c).- Procedimiento de Sección y Pendiente
- d).- Procedimiento de la Precipitación Pluvial
- e).- Procedimiento Racional.

a).- PROCEDIMIENTO POR COMPARACION.- Se aplica en aquellos casos en los que se trata de construir una nueva alcantarilla en un lugar donde ya había otra, o cerca de otra alcantarilla existente en el mismo arroyo. Este procedimiento es aplicable cuando las huellas de las altas aguas encontradas en la alcantarilla existente sean claras o cuando se pueden obtener datos verídicos de los vecinos del lugar relativos al nivel más alto alcanzado por el agua durante un período no menor de 10 años en ambos casos. Si no ha habido alcantarilla en el lugar, entonces una alcantarilla cercana puede dar indicaciones de valor si se pueden obtener datos de cómo ha funcionado en el pasado durante fuertes aguaceros.

b).- PROCEDIMIENTO EMPIRICO.- Es especialmente empleado cuando no ha existido ninguna alcantarilla en el lugar y --

cuando no hay datos al respecto del caudal o del arroyo - ni datos de precipitación pluvial. El método empírico está - bastante generalizado y consiste en el empleo de ciertas fórmulas empíricas para calcular el área hidráulica en función - del área drenada y de las características topográficas de la cuenca a drenar. Encontrando el área hidráulica de una alcantarilla por medio de las fórmulas empíricas ya sea la de TALBOT, la de PECK, o la de MEYERS. Se ha visto que los resultados difieren bastante entre sí, y los valores encontrados -- con la fórmula de Talbot son los que más se acercan al promedio de valores obtenidos con las tres fórmulas. Debido a lo anterior es por lo que, generalmente, se emplea más la fórmula de Talbot, que de Peck o la de Meyers. La fórmula de A.N. Talbot, profesor de la Universidad de Illinois es :

$$a = 0.183 C (A)^{3/4} \quad \text{en la que:}$$

a = Área hidráulica, en metros cuadrados, que deberá tener - la alcantarilla.

A = Superficie a drenar en hectáreas.

c).- PROCEDIMIENTO DE SECCION Y PENDIENTE.- Consiste en determinar el gasto del cauce por medio de secciones hidráulicas definidas y de la pendiente del arroyo, para ello es necesario valerse de las huellas de las aguas máximas en el sitio en que se colocará la alcantarilla y determinar la sección y la pendiente del cauce en el cruce y en dos secciones definidas en las cuales las márgenes sean altas y sobrepasen el nivel de las aguas máximas. El gasto máximo se calculará en función del área hidráulica, el perímetro mojado, la pendiente y un coeficiente de rugosidad de acuerdo con -- las paredes del cauce. Con estos elementos, y mediante la -- fórmula de Manning se obtiene la velocidad que multiplicada -- por el área hidráulica correspondiente nos proporciona el -- gasto máximo para el que debe proyectarse la alcantarilla.

d).- PROCEDIMIENTO DE LA PRECIPITACION PLUVIAL.- Consiste en proyectar la alcantarilla para dar paso a una cantidad de agua determinada por el escurrimiento probable del agua -

de lluvia. Las fórmulas para el cálculo del gasto en este procedimiento requieren el conocimiento de la precipitación pluvial, del área a drenar, de su topografía y de la clase de suelos en dicha área. Los tres últimos se pueden determinar en cualquier lugar en el momento en que se necesiten, -- mas no así la precipitación pluvial la cual es necesario conocer su valor máximo en un número bastante grande de años.

A continuación se anotará la fórmula de BURKI-ZIEGLER para calcular el gasto máximo de una alcantarilla debido a un aguacero intenso en un área tributaria determinada:

$$Q = 0.022 C I A (S/A)^{1/4}$$

en la que:

Q = Gasto de la alcantarilla en m³/seg.

A = Número de hectáreas tributarias

I = Precipitación pluvial, en cm/hr., correspondiente al aguacero más intenso (de 10 min. de duración total).

S = Pendiente del terreno, en mts/km.

El coeficiente C depende de la clase de terreno que forma la cuenca o área tributaria de la alcantarilla.

e).- PROCEDIMIENTO RACIONAL.- Consiste en emplear una fórmula que indica que el gasto es igual al porcentaje de la precipitación pluvial multiplicada por el área tributaria, y se expresa así:

$$Q = 27.52 C I A \quad \text{siendo:}$$

Q = Gasto en lts/seg.

C = Coeficiente de escurrentía.

I = Intensidad de la precipitación, correspondiente al tiempo de concentración, en cms/hr.

A = Área a drenar en hectáreas.

Esta fórmula está basada en ciertas hipótesis como:

1).- La proporción del escurrimiento resultante, de cualquier intensidad de lluvia, es un máximo cuando esa intensidad de lluvia dura al menos tanto como el tiempo de concentración.

2).- El máximo escurrimiento resultante de una intensidad de lluvia con duración igual o mayor que el tiempo de concentración es una fracción de esa precipitación; o sea que -

se supone una relación lineal entre L y Q como consecuencia que Q sea igual a cero cuando L sea igual a cero.

3).- El coeficiente de escurrentía es el mismo para todas -- las lluvias de diversas frecuencias.

4).- La relación entre máxima descarga y tamaño del área de drenaje es la misma que la relación entre duración e intensidad de precipitación.

Cuando se proyecta una alcantarilla ya sea por el método de comparación o ya sea por el método empírico, el área - se obtiene directamente y por lo tanto se puede proceder a - proyectar la forma, pendiente, etc., de la alcantarilla. Sin embargo, cuando se sigue el método de sección y pendiente, - el método de la precipitación pluvial o el método racional, - lo que se obtiene es el gasto Q que llega a la alcantarilla, y por lo tanto es necesario calcular el área hidráulica de - la misma para dar paso a ese gasto.

Generalmente, al proyectar las obras de drenaje, se --- acostumbra proporcionar el área hidráulica de éstas de manera que nunca trabajen como conducto lleno ya que ello supone que el nivel del agua se eleva a la entrada de la alcantarilla, lo que traería como consecuencia inundaciones de los terraplenes adyacentes.

IV.1.D PENDIENTE DE LA ALCANTARILLA

Es recomendable que la pendiente en las alcantarillas - sea la misma que la del lecho de la corriente. Si la pendiente de la alcantarilla es mayor, el extremo de la misma tiende a azolverse, y por el contrario, si la pendiente es menor que la del cauce es el extremo superior el que se obstruye. Sin embargo, cuando se trata de una alcantarilla sobre un -- talweg en terreno montañoso de fuerte pendiente, si se hace la alcantarilla con la pendiente del cauce resultaría que la intersección de la alcantarilla con el talud del lado de --- aguas abajo del terraplén, quedaría muy alejada del centro - del talud provocando con ello una estructura muy larga y muy costosa. En estos casos es preferible dar a la alcantarilla-

una pendiente bastante menor y construir su salida, sobre el talud del terraplén, un lavadero, o sea, un canal de mampostería o de concreto por el que escurra el agua hasta llegar al terreno natural.

IV.1.E TIPOS DE ALCANTARILLA

La elección de cuál tipo de alcantarilla es la mejor, - depende del suelo de cimentación, de las dimensiones de la alcantarilla y requisitos de la topografía y de la economía relativa de los diferentes tipos posibles y adecuados de estructuras.

Dependiendo de su forma y material, las alcantarillas - se clasifican principalmente en :

- 1.- ALCANTARILLA DE TUBO.- De concreto reforzado, de lámina corrugada, de barro vitrificado y de fierro fundido.
- 2.- ALCANTARILLA DE LOSA.- De concreto reforzado.
- 3.- ALCANTARILLA DE BOVEDA.- De mampostería o de concreto -- simple, sencillas o múltiples.
- 4.- ALCANTARILLA DE CAJON.- De concreto reforzado, sencillas o múltiples.

TUBOS.- Las alcantarillas construidas con tubos prefabricados en secciones, se llaman tubulares. Los tubos pueden ser metálicos o de concretos.

Las alcantarillas tubulares tienen la ventaja, sobre -- cualquier otro tipo, de la rapidez de su construcción, pues inmediatamente después de su tendido se puede construir el terraplén; así que son de aconsejarse en cualquier caso a me nos que la pendiente transversal sea mayor de 30°.

Las condiciones de una buena alcantarilla de tubo son - las siguientes:

- a).- Buena preparación de la plantilla donde va a colocarse el tubo, evitando que haya cama rígida, o que haya diferente resistencia del terreno, huecos, etc.
- b).- Colocación siguiendo las especificaciones de los fabricantes.
- c).- Articulaciones convenientes.

- d).- Colocación del colchón por capas de tubos.
- e).- Suficiente protección a la salida y a la entrada.
- f).- Tener suficiente pendiente para evitar azolves (mínimo 0.5 %, conveniente 2.0 %).
- g).- Disponer de un colchón mínimo de 30 cms. abajo de la -- subrasante.

Generalmente se colocan muros de cabeza que sirven tanto a la entrada como a la salida para anclar la obra y para impedir que la tierra del terraplén caiga en los tubos.

Cuando no hay muros de cabeza a la salida, es conveniente prolongar cuando menos un metro la longitud del tubo fuera de la traza del talud del terraplén con el terreno. En terreno suave es conveniente zampear la salida.

Cuando la pendiente es muy fuerte y hay peligro de resbalamiento de los tubos, se coloca muro de anclaje intermedio o varios si la obra es muy larga.

Para los distintos colchones hay diferentes calibres de lámina tratándose de tubos metálicos y diferentes proyectos para los de concreto.

LOSAS.- Se llama comúnmente losas a las alcantarillas de losa de concreto reforzado sobre muros de mampostería y se usan cuando, por la magnitud del gasto y forma del talweg, no es posible usar una batería de tubos o no hay los tubos de diámetro necesario o resultan excesivamente costosos o difíciles de transportar e instalar. También se recomiendan -- cuando se tienen a la mano los materiales necesarios como arena, grava y piedra y la mano de obra para la mampostería.

Es indispensable construirlas con suficiente anticipación para que no se interrumpa el camino y no sea necesario mantener una desviación durante mucho tiempo.

Hay losas con colchón y losas sin colchón, calculándose en el primer caso con cargas uniformemente distribuidas y en el segundo caso con cargas concentradas.

BOVEDAS.- Son estructuras en las que la parte que recibe la carga del camino es un arco de mampostería, concreto armado o concreto simple. También las hay metálicas.

Las bóvedas, como las losas, se aconsejan cuando no se pueden colocar tubos y cuando la piedra es abundante; también cuando la pendiente transversal es muy fuerte y cuando el colchón es muy grande.

Tienen el inconveniente de ser de ejecución lenta, pero tienen la gran ventaja de su estabilidad sobre todo si los estribos están bien cimentados. El mejor tipo, para las de claros grandes es el que tiene articulaciones en la bóveda. Pueden ser simples, gemelas o múltiples.

ALCANTARILLAS DE CAJON O CELULARES.- Se llaman alcantarillas celulares o de cajón, a las estructuras de concreto armado que tienen varias celdas.

Este tipo se usa en caso de que el terreno tenga poca resistencia, como en el caso de pantanos y cuando la altura del colchón es moderada y la extensión del cauce es muy grande. Son costosas y lentas de construir.

PUNTES.- Se llama puente propiamente dicho, a toda estructura definitiva o provisional, proyectada para dar paso a vehículos, animales, personas, agua, etc., salvando un obstáculo natural o artificial tal como barranca, río, ferrocarril, canal, camino, etc.

Los puentes pueden ser de mampostería, de concreto simple, de concreto armado, metálicos o mixtos.

Los de mampostería son puentes de arco. En estos casos el claro no es limitativo, pero si lo es la economía pues el costo de la obra falsa crece con el claro.

Los puentes de concreto simple, como en el caso de los de mampostería, solamente se construyen en arco, circular o parabólico.

En los de concreto armado encontramos: arcos, marcos rígidos, continuos, celulares, trabes y losas, etc., pueden ser además de paso inferior, de paso superior, de paso a través, etc.

CONDICIONES DE QUE DEPENDE LA ELECCION.- La primera condición de que depende la elección del tipo de alcantarilla o puente es que la estructura satisfaga las condiciones hidráulicas

licas del cauce. Así por ejemplo, en un cauce angosto y bien definido no es lógico estudiar una batería de tubos; ni en un cauce extendido o incierto con tirante bajo, conviene estudiar una bóveda.

Otra condición que influye en la elección del tipo es la magnitud del cauce y del gasto.

Una tercera condición es la posibilidad, pues de no haber fierro en el mercado es inútil elegir una estructura metálica o proyectar mamposterías donde no hay piedras.

La cuarta condición, es la urgencia.

La condición final, muy importante, es la económica, presentándose ésta en dos aspectos. El primero, de cuánto dinero se dispone y el segundo, cuál es la estructura más económica. Después de desechar los tipos que no resuelven funcionalmente el problema hidráulico, se hace un estudio económico de varios anteproyectos, incluyendo todos los términos -- que afectan los costos y se elige el más económico y el más factible.

Un caso que es excepción de las anteriores condiciones es, el estético, en que tiene que escogerse un tipo de puente que pudiera no ser el más económico. En el caso de caminos vecinales es poco probable este requisito.

Aunque comúnmente se piense lo contrario, el drenaje subterráneo o subdrenaje, desde muchos aspectos, es muy semejante al drenaje superficial, ya que las capas impermeables forman canales bien definidos o vasos de almacenamientos de agua subterránea tal como sucede en la superficie del terreno; el drenaje subterráneo consiste en proporcionar ductos de drenaje adecuados para controlar el escurrimiento de esa agua rápidamente.

Cada lugar que requiera drenaje subterráneo, o subdrenaje como también se llama, es un problema individual y diferente, y por lo tanto deben aplicarse los principios de ingeniería en su solución adecuada. Al drenaje subterráneo deberá dársele toda la atención que se merece ya que de él dependen gran parte de la seguridad y estabilidad del camino.

Aunque en términos generales el drenaje superficial es más importante que el drenaje subterráneo, hay que reconocer que hay lugares en los cuales no se puede prescindir de éste último. Los lugares inestables deben ser drenados inmediatamente y de una vez por todas durante la construcción. Un sistema de drenaje superficial y subterráneo bien proyectado e instalado en forma correcta pagará el costo de conservación.

Es de todos conocido que la mayor parte de los suelos, cuando están secos, dan soporte adecuado a las cargas de tránsito a las que se les somete directamente o a través de un pavimento. Si se conservan secos, aún los suelos llamados inestables, quedarán prácticamente libres de daño. Así pues, es necesario efectuar las obras necesarias para mantener el camino, si no completamente seco, por lo menos, con una humedad que no sea perjudicial a las partes que lo forman. Vamos por lo tanto a estudiar las obras de drenaje subterráneo más comunes para impedir que el agua llegue al camino y para remover aquella que haya llegado al mismo.

SUBDRENAJE SIN OBRAS AUXILIARES.- Los métodos para subdrenar sin obras auxiliares consisten en el aprovechamiento de las condiciones naturales del suelo para eliminar el agua subterránea o para abatir su nivel. Tal es el caso de las estabilizaciones de las terracerías y los pavimentos, con lo que disminuye el riesgo de que se provoquen los derrumbes en los cortes y deslaves en los terraplenes.

SUBDRENAJE CON OBRAS AUXILIARES.- Cuando los métodos aconsejados anteriormente no son efectivos, hay necesidad de proyectar un drenaje parecido al superficial, es decir, hay necesidad de establecer conductos para que el agua escurra y -salga o para que se abata el nivel subterráneo.

Tipos.- El primer tipo de dren subterráneo lo constituyen los tubos, con juntas abiertas y paredes perforadas o permeables. Estos tipos se alojan dentro de un relleno permeable que sirven como conducto para que el agua llegue al tubo y pueda salir.

El segundo tipo de drenaje subterráneo consiste en abrir una zanja y poner material permeable, suprimiendo el tubo. El ideal sería que la zanja tuviera la profundidad necesaria para captar todo el espesor del manto del agua, pero como ésto no es posible, bastará darle la profundidad a que quiera abatirse el nivel subterráneo para que éste no sea perjudicial al camino.

El tercer tipo de dren lo constituye la zanja rellena de material permeable con un tubo alojado dentro de él. En este caso el dren lo constituye propiamente el relleno de la zanja y el tubo sólo es el conducto necesario para dar salida al agua drenada. Los tubos pueden ser de barro, de concreto, o de lámina corrugada. La manera de hacer llegar el agua a ellos puede ser no poniendo juntas, o en los de barro y concreto, hacerlos porosos, o finalmente haciéndoles perforaciones siendo este último sistema el más usado y el que se recomienda.

En el caso particular de este camino, al estudiar la topografía del mismo, se observó que los primeros dos kilóme-

tros tienen un tipo de suelo tipo loberio. Para el proyecto de las obras de drenaje, se basó principalmente en la comparación con las obras de drenaje del camino existente.

Debido a los materiales poco cohesivos utilizados para las terracerías, los cuales cuando están confinados presentan VRS altos, se tuvo que poner especial atención a las obras de captación y defensa : bordillos, cunetas y lavaderos, ya que este tramo se construyó en varias etapas, debido a lo reducido del presupuesto autorizado. Se construyeron obras provisionales para encauzar el agua proveniente de las lluvias y evitar que se dañaran los terraplenes. Para ello a la subrasante se le dió una pendiente transversal provisional hacia un solo lado, y se construyeron bordillos con material de suelo cemento, producto de los cortes, asimismo lavaderos de concreto en los puntos más críticos para evitar la erosión de los terraplenes.

Tal fue el caso del terraplén construido de la estación 0+480 a la 0+600, y bajo la cual cruzaba una bóveda de mampostería en la estación 0+520. Ahí se reflejaron una grietas longitudinales después de la primera temporada de lluvias. Dichas grietas tenían hasta más de 3 centímetros de ancho. Se hicieron los estudios para determinar la causa de las mismas, pensándose primero que fue por falta de compactación del material, causa que se desechó al comprobarse por los reportes de compactación que éstos eran adecuados y algunas veces hasta superior a lo especificado. También se pensó que los terraplenes no cumplían con el talud de proyecto que era de 1.5 x 1 (Estabilidad de Taludes), se realizó un levantamiento de los mismos, resultando que estaban correctos.

Después de diversos estudios se llegó a la conclusión de que la causa eran los materiales, los cuales al perder la humedad óptima perdían su compactación y bajaba su VRS, formándose las grietas, por la falta de cohesión y confinamiento del material. Su solución fue recompactar una capa de 2.0 metros de profundidad al 95 % de compactación, mezclando el material que formaba el terraplén con otro material que tuviera mayor cohesión. Por último se le aplicó un riego de impregnación a toda la superficie terminada mientras se construía la base y la carpeta.

RELACION DE ALCANTARILLAS DEL TRAMO TEQUILA-MAGUILE

ESTACION	TIPO	DIMENSIONES	OBSERVACIONES
0+324.50	LOSA	1.00 x 1.50	PROLONGACION
0+520.00	BOVEDA	2.00 x 2.00	
0+762.66	TUBO	0.90 cm Ø	
1+140.00	TUBO	0.90 cm Ø	
1+490.58	TUBO	0.90 cm Ø	
1+689.47	BOVEDA	1.50 x 1.00	
1+995.92	BOVEDA	2.00 x 1.00	
2+205.13	BOVEDA	3.00 x 1.00	
2+792.23	LOSA	4.00 x 1.50	
3+507.35	TUBO	0.90 cm Ø	
4+029.35	TUBO	0.90 cm Ø	
4+378.02	BOVEDA	1.50 x 1.00	
4+668.06	TUBO	0.90 cm Ø	
5+054.39	TUBO	0.90 cm Ø	
5+345.00	LOSA	3.00 x 4.00	prolongacion
5+692.50	TUBO	0.90 cm Ø	
5+747.50	TUBO	0.90 cm Ø	
6+121.43	BOVEDA	4.00 x 2.00	
6+265.30	TUBO	0.90 cm Ø	
6+940.32	TUBO	1.05 cm Ø	
8+020.00	TUBO	1.05 cm Ø	
8+908.00	TUBO	1.05 cm Ø	
9+261.87	TUBO	1.05 cm Ø	
9+994.60	TUBO	1.05 cm Ø	

V EL PAVIMENTO

En la actualidad se puede decir que no existe una terminología única para designar las diferentes partes que forman un pavimento, sin embargo, comúnmente tal como se representa en la figura V.a, un pavimento, en su forma más completa se --- construye de varias capas teniendo cada una de ellas su función específica.

En general los pavimentos se dividen en dos tipos: Los pavimentos rígidos o de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles o de asfalto. La diferencia estructural entre ellos estriba en que los pavimentos flexibles presentan muy poca resistencia a la flexión.

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados comprendida (s) entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistentes a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos -- por las cargas impuestas por el tránsito.

En otras palabras, el pavimento es la superestructura de la obra vial que hace posible el tránsito expedito de los vehículos con la comodidad, seguridad, y economía previstas por el proyecto. La estructura o disposición de los elementos -- que lo constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades de tal suerte que puede estar formado -- por una sola capa, o más comúnmente, por varias a su vez. Dichas capas, pueden ser de materiales seleccionados, sometidos a muy diversos tratamientos; su superficie de rodamiento propiamente dicho puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar formada por acumulaciones de materias pétreas compactadas.

V.1 ESTUDIO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

GENERALIDADES.- El pavimento de asfalto o pavimento flexible, es una estructura formada por varias capas (sub-base, base- y carpeta asfáltica) con el fin de satisfacer los siguientes propósitos.

1.- Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito.

2.- Tener la impermeabilidad necesaria. Esto es con el objeto de impedir la infiltración del agua de lluvia, ya que si ésta penetra en exceso provoca la lubricación de las partículas con su consiguiente pérdida en la capacidad de soporte.

3.- Resistir la acción destructora de los vehículos. La acción abrasiva de las llantas de los vehículos provoca desgaste de la superficie y desprendimiento de partículas del pavimento.

4.- Tener resistencia a los agentes atmosféricos (Intemperismo). Los agentes atmosféricos actúan continuamente sobre la superficie de los pavimentos provocándole meteorización y alteración de los materiales que lo forman.

5.- Tener una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito rápido, seguro y cómodo de los vehículos.

6.- Presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas deformaciones de las terracerías.

En no pocas ocasiones, por una u otra circunstancia, generalmente controlables, se presentan pequeños asentamientos ya sea de la base o de la sub-base, los cuales no son en extremo perjudiciales, de ahí que convenga que el pavimento -- tenga cierta flexibilidad que la haga capaz de adaptarse a esas pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

Las características fundamentales de un pavimento flexible son:

a) Resistencia Estructural.

- b) Deformabilidad.
- c) Durabilidad.
- d) Costo.
- e) Requerimientos de Conservación.
- f) La Comodidad.

Bajo la carpeta bituminosa, formada típicamente por una mezcla de agregado pétreo y un aglutinante asfáltico que --- constituye la superficie de rodamiento, se disponen casi --- siempre por lo menos dos capas bien diferenciadas, una base, de material granular y una sub-base, formada, preferentemente, también por un suelo granular, aunque el requisito oblique menos que en la base, en el sentido de poderse admitir - suelos de menor calidad con mayor contenido de finos y menos exigencia en lo que se refiere a granulometría. La razón es obviamente, el mayor alejamiento de la sub-base de la superficie de rodamiento, por el que le llegan esfuerzos de menor intensidad.

Bajo la sub-base se dispone casi universalmente en el momento presente, otra capa, denominada sub-rasante, todavía con menores requisitos, de calidad mínima que la sub-base -- por la misma razón.

Bajo la sub-rasante aparece material convencional de la terracería tratado mecánicamente en la actualidad casi sin - excepción, por lo menos en lo referente a la compactación.

A continuación se tratará someramente las principales ca racterísticas de las capas que forman el pavimento flexible.

SUBRASANTE.- La sub-rasante con suficiente espesor y calidad permitirá importantes ahorros en los espesores de los pavimentos suprayacentes, sin perjuicio de la función estructural conjunta, pues será capaz de absorber niveles de es--- fuerzo relativamente altos provenientes de la superficie y - transmitirlos suficientemente disminuidos a las terracerías.

Desde el punto de vista económico resultan igualmente la

calidad y el espesor, los materiales que se usan en la capa subrasante nunca pueden ser demasiado buenos, de manera que la contribución de la capa usualmente descansa más en el espesor que en la calidad pero es incuestionable que si se lo gra una alta calidad en el material de la subrasante (guardando las razonables proporciones en relación a los de subbase y base) podrán tenerse los más importantes ahorros en los espesores de las capas de pavimento.

En muchos países, la sub-rasante no se construye con un material diferente al de la terracería y se distingue de éste sólo por un mejor tratamiento de compactación. Esta es una norma conveniente, sin duda cuando el material de la terracería es suficientemente bueno, pero si no lo es, la experiencia mexicana parece indicar que es sistemáticamente --económica y conveniente buscar un mejor material y acarrearlo desde un banco apropiado.

Pocas reglas generales pueden darse respecto al espesor que convenga dar a la capa sub-rasante, como quiera que se construya. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México ha establecido para sus carreteras la cifra mínima - de 30 cm. y llega a 50 cm. en caminos de alto tránsito o en lugares en donde el material de terracerías no sea de con-fiar; la misma cifra de 50 cm. se utiliza sistemáticamente en aeropistas y en éstas aún pueden aumentarse, como es el caso, por ejemplo, del aeropuerto de la Ciudad de México. - La Secretaría establece también en carreteras que el mate-rial de sub-rasante no debe tener partículas mayores de 7.6 cm (3"); elimina los suelos finos (MH, CH), cuyo límite líquido sea mayor de 100 % y todos los suelos orgánicos con límite líquido mayor de 50 % (OH). Especifica grados de -compactación mínimos de 95 % respecto a los estándares en -uso en la Institución.

Exige, finalmente un valor relativo de soporte mínimo - de 5 % con el material en condición saturada. En aeropistas, se pide un grado de compactación de 100 % y se prohíbe en -

términos generales el uso de cualquier material MH, CH, u OH.

Las reglas anteriores se presentan como norma de criterio, más que como regla rígida, pues como ya se hizo ver, - muchos factores circunstanciales influyen en el comportamiento de un material en un caso dado; el criterio correspondiente no puede ser ajeno a la intensidad del tránsito y a las condiciones de sub-drenaje principalmente..

SUB-BASE.- Para muchos, la principal función de la sub-base de un pavimento flexible, es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría construirse con un material de alta calidad como el usado en la base, - pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirla en parte por una capa de menor calidad aunque haya de ser aumentado el espesor, pues, naturalmente cuanto menor sea la calidad del material colocado tendrá que ser mayor el espesor necesario para soportar y transmitir los esfuerzos.

Otra función de la sub-base consiste en servir de transición entre el material de la base, generalmente granular - grueso y el de la sub-rasante, que tiende a ser mucho más fino; actúa también como filtro de la base e impide su incrustación en la sub-rasante. Esta también absorbe deformaciones perjudiciales en la sub-rasante (cambios volumétricos asociados a cambios de humedad), que podrían reflejarse en la superficie del pavimento.

Otra función es actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre desde arriba y para impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de la terracería.

De todas las funciones anteriores, la estructural y la económica existen seguramente en todas las sub-bases que se proyectan; las otras dependen un tanto de las circunstancias del caso y de la calidad del material que se utilice - en la propia sub-base.

Respecto al último punto mencionado, es común exigir a los materiales de sub-base requisitos de tamaño máximo granulometría, plasticidad, equivalente de arena y valor rela-

tivo de soporte cuando, como es común todavía, este último concepto se utilice para diseñar los espesores de las capas de pavimento. También suelen fijarse requerimientos mínimos de compactación.

La figura V.b muestra la zona en la que debe desarrollarse la curva granulométrica del material que se emplee en una sub-base según las normas de la S.C.T. Se pide que la curva además de estar comprendida en las zonas 1, 2, ó 3, tenga una forma semejante a los trazos que marcan esas zonas, sin cambios bruscos de curvatura.

La relación del porcentaje, en peso, que pase la malla No. 200 al que pase la malla No. 40 no deberá exceder de 0.65, el tamaño máximo del material se limita a 51 mm. (2").

Se fija tentativamente, que el equivalente de arena del material sea 20 como máximo. La S.C.T. utiliza muy extensivamente el método del valor relativo de soporte para proporcionar sus pavimentos; a los materiales de sub-base se les fija un valor relativo de soporte mínimo de 50 % con el material en condición saturada. Respecto al grado de compactación se exige el 95 %. La propia Secretaría establece una serie de posibilidades de estabilización de materiales con productos asfálticos, cemento o cal, para aquellos suelos que por sí mismos no satisfagan los requerimientos generales, concretamente de plasticidad, medida básicamente con la prueba de equivalente de arena y límites de plasticidad.

Básicamente conviene buscar dos cualidades principales en un material de sub-base que son la resistencia friccional y la capacidad drenante. La primera beneficiará la resistencia del conjunto y buen comportamiento en cuanto a deformabilidad. La capacidad drenante permitirá al pavimento eliminar convenientemente tanto el agua que se filtre por su superficie, como la que asciende por capilaridad.

Los espesores de sub-base son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suele considerarse 12 ó 15 cm. como la dimensión mínima constructiva.

BASE.- Hasta cierto punto existe en la base, que es la capa que sigue a la sub-base, en el orden ascendente adoptado, una función económica análoga a la discutida por la propia sub-base, pues permite reducir al espesor de la carpeta, -- más costosa, pero la función fundamental de la base de un pavimento flexible es estructural y consiste en proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes -- con intensidades adecuadas. La base también tiene una importante función drenante.

El material que constituya la base de un pavimento flexible debe ser, entonces, friccionante y suficientemente -- provisto de vacíos. La primera cualidad garantiza la resistencia estructural adecuada así como la permanencia de dicha resistencia al variar condiciones circunstanciales, como por ejemplo, el contenido de agua. Naturalmente que solamente emplear material friccionante no garantiza la debida resistencia a las características de deformabilidad; es preciso que ese material, cuyas características potenciales -- son buenas, las adquiera realmente y la adecuada compactación es el modo con el que se logra esto; una vez que el material friccionante ha adquirido la compacidad y trabazón estructural que una buena compactación proporciona, se llega a una base adecuada.

Las mismas zonas señaladas en la figura V.b. para el caso de sub-base son las que usa la S.C.T. para limitar las curvas granulométricas de sus bases, señalando preferentemente aquellas que queden comprendidas en las zonas 1 ó 2. -- Se exige que la curva granulométrica tenga una forma parecida a las fronteras que se señalan, sin cambios bruscos de curvatura y que la relación del porcentaje, en peso, que pase la malla No. 40 no sea mayor de 0.65. El tamaño máximo del agregado pétreo se fija en 52 mm (2") en materiales naturales que no requieran tratamiento y en 38 mm (1 1/2") en materiales que han de cribarse o triturarse.

La Secretaría también exige que el límite líquido del material de base sea 30 % como máximo, el equivalente de arena, 30 como mínimo en caminos menores de 1000 vehículos pesados al día y 50 en carreteras con un tránsito más intenso; en aeropistas, el equivalente de arena mínimo es 50, para operación de aviones comerciales. El valor relativo de soporte se fija como mínimo en 80 % para carreteras de menos de 1000 vehículos pesados al día, en 100 % para carreteras con más de 1000 y también 100 % para aeropistas propias para vuelos comerciales.

El grado de compactación que fijan las especificaciones mexicanas para base es 95 % respecto a los estándares usuales en el país, pero es práctica normal llevar la compactación hasta el 100 %.

Las especificaciones generales de la Secretaría señalan también una serie de normas para estabilizar los materiales naturales, que de por sí no son satisfactorios, con asfalto, cemento o cal.

Los espesores de las bases son también muy variables de acuerdo con el proyecto de que se trate, pero suele considerarse que 12 ó 15 cm. es el espesor mínimo que conviene -- construir.

En cuanto a finos debe señalarse que en este caso particular la Secretaría opera prácticamente siempre en las zonas 1 y 2 de las gráficas, aceptándose la zona 3 sólo en casos muy especiales. Se ve una exigencia de un 5 % de material fino como mínimo y valores en el orden de 18 ó 20 % -- como máximo práctico.

CARPETA.- La carpeta debe proporcionar en el pavimento flexible una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la aplicación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los producidos por las fuerzas centrífugas, los -- impactos, etc., debe tener la textura necesaria para permitir un rodamiento seguro y cómodo y un frenaje apropiado. La naturaleza de la carpeta debe ser tal que resista la acción

de los agentes del intemperismo. Es de desear un tipo de color que evite reflejos del sol durante el día o de luces artificiales durante la noche.

Es cada vez mayor la utilización de carpetas de concreto asfáltico de gran espesor, que a las funciones tradicionales-anteriormente enlistadas añaden necesariamente una importante función estructural e influyen mucho en el comportamiento esfuerzo-deformación de toda la sección resistente de la vía terrestre, al incorporar al conjunto un elemento cuya gran rigidez no debe ignorarse.

La exposición directa a las cargas del tránsito y la indeformabilidad necesaria para el buen servicio implican que la carpeta esté formada con material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal exterior nula, que provoca en la frontera superior del pavimento; en otras palabras se requiere ahora un material que posea "cohesión" y es precisamente el producto asfáltico que liga los agregados pétreos el que la proporciona, en el caso de las carpetas bituminosas.

- a).- No deben emplearse agregados pétreos que presenten más del 5 % en peso, de fragmentos en forma de lascas o que tengan marcada tendencia a romper en forma de lascas cuando se les tritura. Generalmente se consideran como lascas -- las que tengan una longitud mayor de tres veces la dimensión menor del agregado.
- b).- No deben emplearse agregados pétreos que contengan materia orgánica en forma perjudicial o arcilla en grumos.
- c).- Los agregados pétreos no deben tener más del 20 % de --- fragmentos suaves.
- d).- Los agregados pétreos deben emplearse de preferencia secos o cuando mucho con una humedad igual a la de absorción de ese material. En caso contrario, debe emplearse un adicionante en el asfalto.
- e).- El tamaño máximo del agregado pétreo no deberá ser mayor que las 2/3 partes del espesor de la carpeta proyectada.
- f).- Tener suficiente resistencia para soportar, sin romperse, las cargas del equipo de compactación.

- g).- La porción que pase la malla # 40 no debe tener una com-
tracción lineal mayor de tres.
- h).- Los materiales pétreos deben llenar características gra-
nulométricas tales que su curva graficada debe quedar --
dentro de las zonas marcadas por la curva de la fig. V.b.
- i).- El desgaste determinado con la máquina de Los Angeles no
debe ser mayor de 40 % .
- j).- La absorción del material pétreo no debe ser mayor de 3%.
- k).- La densidad aparente del material pétreo no debe ser me-
nor de 2.3 .
- l).- El material pétreo debe tener buena adherencia con el as-
falto.
- m).- El material pétreo debe resistir la prueba del intempe-
rismo acelerado.

SELLO.- El riego de sello es la aplicación de un material asfáltico que se cubre con una capa de material pétreo para impermeabilizar la carpeta, protegerla del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante.

Los casos en los que se recomienda el riego de sello:

- 1.- Cuando se requiera proporcionar una superficie de desgaste a una carpeta.
- 2.- Cuando la carpeta existente este agrietada y/o tenga --textura abierta, para evitar que se introduzca agua y especialmente que ésta llegue a la base.
- 3.- Dar rugosidad a la superficie para hacerla antiderrapante.
- 4.- Reavivar el asfalto de una carpeta expuesta a la acción de la intemperie.
- 5.- Proteger la carpeta cuando se inicia el proceso de desgranamiento y/o desgaste superficial.
- 6.- Obtener en la superficie de rodamiento un color adecuado para mayor visibilidad.
- 7.- En lugar de la carpeta asfáltica, que es más costosa, - para caminos de poco tránsito.

Los casos en que no deberá recurrirse al riego de sello por no ser una solución adecuada, son los siguientes:

- 1.- Cubrir defectos de construcción que, en primer lugar no debieron haberse tolerado y cuya solución no sea el riego de sello. Este es el caso por ejemplo, de carpeta con exceso de asfalto o disolventes, mala granulometría del material u otra.
- 2.- Tratar de corregir deformaciones o agrietamientos ocasionados por defectos de las capas inferiores a la carpeta y/o del drenaje superficial o subterráneo.
- 3.- Tratar de corregir desplazamientos del material debidos a la inestabilidad de las mezclas asfálticas o riegos de li ga deficientes.

Tanto los materiales pétreos, como los asfálticos deberán ajustarse íntegramente a lo asentado en las especificaciones. En la siguiente tabla se indican las característi--

cas que deben reunir los materiales pétreos y asfálticos recomendados para el riego de sello, así como las dosificaciones adecuadas para cada tipo de material.

C O N C E P T O	DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	
	3-A	3-E
I.- Material Pétreo		
1.- Granulometría.		
A) Que pase por la mailla de.....	9.5 mm. (3/8")	9.5 mm. (3/8").
B) se retenga en - mailla de.....	Núm. 8	Núm. 4
2.- Dosificación en Lt/M2	8 a 10	9 a 11
II.- Material asfáltico.		
1.- Cemento asfáltico (Temperatura de aplicación - 130°C a 160°C).	0.7 a 1.0	0.8 a 1.0
2.- FR-3 (75% de ce- mento asfáltico) (Temp. de apli- cación 60°C a - 80°C).....	0.9 a 1.3	1.0 a 1.3
3.- FR-4 (80% de ce- mento asfáltico) (Temp. de apli- cación 80°C a - 100°C).....	0.9 a 1.3	1.0 a 1.3
4.- Emulsión catiónica (60% de ce- mento asf.)(Temp.- de aplicación - 5°C a 40°C)....	1.2 a 1.7	1.3 a 1.7
5.- Emulsión aniónica (55% de ce- mento asf)(Temp. de aplicación - 5°C a 40°C)....	1.3 a 1.8	1.4 a 1.8

ESTRUCTURACION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

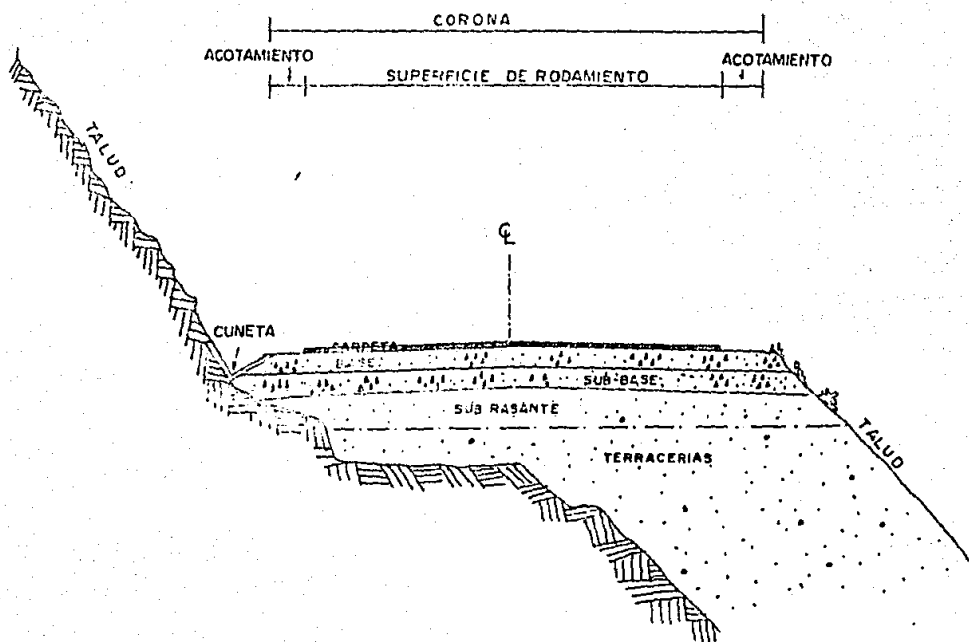
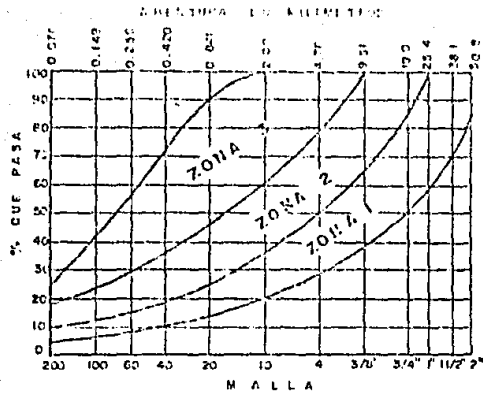
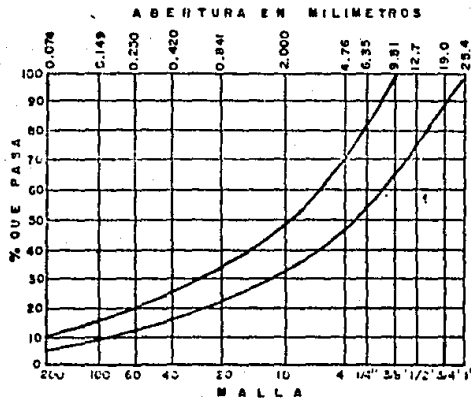


FIG. V.0



REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE UN MATERIAL DE SUB-BASE Y BASE



REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE UN MATERIAL DE CARPETA ASFALTICA

FIG. V. b.

V.2 ANALISIS DE TRANSITO Y METODO DE DISEÑO

V.2.A. ANALISIS DE TRANSITO.

La composición del tránsito actual es :

		<u>Cantidad</u>	<u>%</u>
Automóviles	(A)	4,205	64
Autobuses	(B)	526	8
Camiones	(C)	<u>1,839</u>	<u>28</u>
		6,570	100 %

Clasificación vehicular:

<u>Tipo de Vehículo</u>	<u>% de Vehículo</u>	<u>Cantidad</u>
AP	44 (6570)	2,891
AC	20	1,314
B	5	329
C2	3	197
C3	12	788
T2-S1	7	460
T2-S2	2	131
T3-S3	7	460
	<u>100 %</u>	<u>(TPDA) 6,570</u>

V.2.B. METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Se ha comentado la gran dificultad que actualmente se -- tiene en plantear teóricamente el problema de los pavimentos y es natural que esa dificultad o, para decirlo con mayor -- claridad, el hecho de no haberse logrado plantear en forma - satisfactoria ninguna solución teórica, se refleja en los mé -- todos de diseño existentes. La mayor parte de los métodos de diseño de espesores tienen como base una prueba de laborato -- rio o un conjunto de pruebas, que se supone sirven como índi -- ce para representar el comportamiento real de los pavimentos por medio de alguna correlación o correlaciones más o menos-

razonables y seguras, que deben existir entre el comportamiento de los materiales en el laboratorio y en la estructura. Es natural de esperar que los métodos de diseño que se basan en una prueba de laboratorio y en su correlación con el comportamiento estructural presenten las limitaciones y defectos que son de imaginarse.

Por otra parte, cuanto más representativo sea la prueba-índice, más posibilidades habrá de sacarle más partido.

Entre los métodos para el Diseño de Pavimentos están:

- a).- Método del Departamento de Carreteras de California (HVEEM).
- b).- Método del Instituto Norteamericano del Asfalto.
- c).- Método recomendado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

METODO RECOMENDADO POR EL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.

ESTUDIO DE TRANSITO DE VEHICULOS.

En este procedimiento el volumen de tránsito real mezclado (TPDA) se convierte en tránsito equivalente de ejes sencillos de 8.2 ton. mediante la aplicación adecuada de los coeficientes de daño por tránsito para vehículos típicos (fig. -- V.a al V.10).

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, se ha basado en la tipificación del tránsito y en los coeficientes de daño de los siguientes tipos de vehículos que pueden obtenerse a partir de las pruebas de la AASHO, para obtener su propia tabla de tipificación y de sus propios coeficientes de daño. Con base en experiencias realizadas en la pista circular de pruebas y en el estudio de comportamiento de tramos experimentados -- que la propia institución controla en diversos puntos de la red nacional mexicana de carreteras, el Instituto de Ingeniería diversificó un tanto la valuación de daños producidos por los diferentes vehículos en los pavimentos distinguiéndolos - en profundidades de 0.15,30 y 60 cms.

A.1).- DETERMINACION DEL TRANSITO EQUIVALENTE

El tránsito equivalente o número de cargas estándar acumulado al fin del periodo de análisis (ΣL), requiere de la determinación previa de los coeficientes de daño por eje y por vehículo.

En la tabla No. VII se presenta el procedimiento para -- transformar el tránsito mezclado al correspondiente tránsito-equivalente a ejes sencillos de 8.2 ton.

Para determinar ΣL , los coeficientes de daño se tomaron de las figuras V.1 a V.10 .

Se observa que el renglón " 8 " de esta tabla representa el número medio de ejes equivalentes por cada vehículo que -- circula por la carretera.

El renglón " 10 " representa el coeficiente de acumulación del tránsito o sea, el número por el que se multiplica el tránsito diario inicial para obtener el número de vehículos que pasan por la carretera en " n " años, consideramos una tasa de incrementos anual constante (r). Este coeficiente puede calcularse con la expresión:

$$C_T = ((1+r)^n - 1) 365/r.$$

o puede leerse directamente del nomograma de la fig.V.j

Considerando un periodo de diseño de 10 años y una tasa de crecimiento anual de 7 % se obtiene un tránsito-equivalente (ΣL) igual a 22'182,215, suponiendo $z=0$. - Para el diseño de sub-base y terracerías, considerando $z=30$ cm. el tránsito estándar acumulado (ΣL) es de ---- 10'271,078.

A.2.- ASIGNACION DEL NIVEL DE CONFIANZA.

El nivel de confianza (fig. V.k) depende del tipo de carretera, su importancia, TPDA, cargas, topografía, - etc. entre más importante sea, deberá tener un nivel de confianza mayor. Para este caso se uso con un nivel de confianza QU - 0.90

A.3.- DETERMINACION DE ESPESORES.

Para establecer los espesores equivalentes (Z_i)-- mínimos requeridos sobre una capa de material ($i+1$) se utiliza el nomograma correspondiente al nivel de confianza (QU) elegido. Los argumentos de entrada son el L y el VRS_z .

El espesor real de una capa cualquiera (D_i) se obtiene dividiendo el espesor equivalente de dicha capa -- ($a_i D_i$) entre su coeficiente de resistencia estructural (a_i).

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CARRETERA

De acuerdo con las características de la carretera proyectada, se considera que el diseño estructural de ésta se debe hacer mediante el uso de la gráfica de la fig. V.k la cual representa condiciones normales de diseño.

Utilizando los datos de tránsito acumulados ya obtenidos, se dibuja sobre la gráfica de la fig. V.k una curva de igual resistencia relativa. Esta curva es la que aparece en la figura mencionada, trazada con una línea -punteada.

A continuación se procede a determinar los espesores de las capas de la estructura del camino, que en este caso corresponden a la capa sub-rasante, sub-base, base asfáltica y carpeta. Para ello, se utilizan en primer término, la curva de igual resistencia y las propiedades de resistencia de cada uno de los materiales que constituirán dichas capas. Para determinar estas resistencias es necesario efectuar pruebas físicas, ya sea en el laboratorio o en el campo según corresponda, utilizando los bancos con que se construirá la obra. (Valor relativo - de soporte).

Una vez determinados los valores de VRS en los diferentes materiales se procede a calcular el VRS crítico - correspondiente a cada capa, mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$\widehat{VRS}_z = \overline{VRS} (1 - 0.84V)$$

En donde

\widehat{VRS}_z = Valor crítico de VRS para fines de diseño.

\overline{VRS} = Valor medio de cada material

V = Coeficiente de variación de los valores de prueba.

Cálculo de los VRS_2 que presenten el material en la capa:

SUELO NATURAL (1)	SUB-RASANTE (2)	SUB-BASE (3)	BASE (4)
15.1	26.8	33.1	122.5
6.3	10.5	31.2	88.2
20.5	25.7	30.6	125.0
9.6	47.8	88.2	<u>335.7</u>
16.3	12.3	50.0	
2.7	34.7	51.4	
15.5	3.2	49.3	
20.5	80.9	75.4	
6.4	31.5	40.7	
12.7	31.5	70.9	
2.7	9.1	33.4	
21.0	23.5	49.6	
2.2	4.1	61.1	
14.7	43.0	<u>665.5</u>	
19.5	12.4		
9.6	39.7		
27.9	36.1		
34.5	14.1		
25.1	38.8		
<u>282.8</u>	64.3		
	32.7		
	<u>622.7</u>		

$$VRS = \Sigma VRS / \text{No. de Pruebas}$$

$$VRS1 = 282.8 / 19 = 14$$

$$VRS2 = 622.7 / 21 = 30$$

$$VRS3 = 665.5 / 13 = 51$$

$$VRS4 = 335.7 / 3 = 112$$

$$s^2 = ((x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2) / (n-1)$$

$$s_1^2 = ((15.1-14)^2 + (6.3-14)^2 + \dots + (25.1-14)^2) / (19.1-1)$$

$$s_1^2 = 81.2$$

$$s_2^2 = 382.4$$

$$s_3^2 = 336.7$$

$$s_4^2 = 422.8$$

Desviación Standard $S = (s^2)^{1/2}$

$$s_1 = (81.2)^{1/2} = 9.01$$

$$s_2 = (382.4)^{1/2} = 19.60$$

$$s_3 = (336.7)^{1/2} = 18.40$$

$$s_4 = (422.8)^{1/2} = 20.56$$

Coefficiente de Variación $V = S_i / \bar{X} = S_i / VRS$

$$V_1 = 9.01/14 = 0.64$$

$$V_2 = 19.6/30 = 0.65$$

$$V_3 = 18.4/51 = 0.4$$

$$V_4 = 20.56/112 = 0.2$$

WRS Crítico $\widehat{VRS}_Z = VRS (1 - 0.84 V)$

$$\widehat{VRS}_Z^1 = 2.51$$

$$\widehat{VRS}_Z^2 = 5.00$$

$$\widehat{VRS}_Z^3 = 17.40$$

$$\widehat{VRS}_Z^4 = 75.15$$

El espesor total del material equivalente que deberá colocarse sobre el terreno natural se determina dibujando una línea vertical partiendo del punto cuyo \widehat{VRS}_Z es de 2.51 hasta interceptar la curva de igual resistencia en un punto, denominado punto crítico, que proyectado en el eje de las ordenadas (Z) proporciona un espesor total de 100 cm.

El espesor de la capa sub-rasante es igual a la distancia entre los puntos críticos correspondientes a los valores de VRS_z de 2.51 y 5.0, dando 30 cm.. Determinada en forma similar con los VRS_z de 5.0 y 17.4 se obtuvo un espesor de 34 cm. para la capa de sub-base.

La diferencia entre el espesor total y la suma de espesores de la sub-rasante y la sub-base es igual al espesor disponible para alojar la base y la carpeta, en grava -- equivalente, es decir, $100 - (30 + 34) = 36$ cm.

Con el VRS_z de la base en la curva para base y carpeta - con tránsito equivalente de $22'182,215 = 2.2 \times 10^7$ proporciona un espesor para la base de 24 cm. de grava --- equivalente y de acuerdo con la ecuación estructural de espesores :

$$Z_n = \sum_1^n a_i D_i \quad \text{en donde}$$

D1 = espesor de la carpeta asfáltica en cm. (real)

D2 = Espesor de la base asfáltica en cm. (real)

a1 y a2 = coeficientes de equivalencia de espesor real - a grava equivalente

a1 = 2 para concreto asfáltico.

por lo que

$$36 = 2 \times D1 + 2 \times 12$$

Espesor de la carpeta asfáltica = D1 = 6 cm.

De acuerdo a este método el espesor mínimo de carpeta recomendado es de 8 cm.

La estructuración del camino quedará finalmente de la siguiente manera:

CAPA SUB-RASANTE	30 cm
CAPA SUB-BASE	34 cm
CAPA BASE ASFALTICA	10 cm
CAPA CARPETA	8 cm



A2 Automóvil

Camión A,B,C	Conjunto	Peso, en ton		h, m/cm ²	k _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				k _v = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
					z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
1 ^a	1,0	0,6	2,0	0,007	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	
	2 ^a	1,0	0,8	2,0	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	
Σ	2,0	1,6		0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	



A2 Camión ligero, con capacidad de carga hasta de 3 ton

Camión A,C	Conjunto	Peso, en ton		h, m/cm ²	k _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				k _v = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
					z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
1 ^a	1,7	1,3	4,6	0,268	0,003	0,000	0,000	0,268	0,001	0,000	0,000	
	2 ^a	3,0	1,2	4,6	0,268	0,063	0,023	0,015	0,268	0,001	0,000	0,000
Σ	5,5	2,5		0,536	0,064	0,023	0,015	0,536	0,002	0,000	0,000	



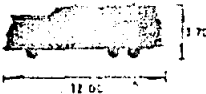
B2 Autobús de dos ejes

Camión A	Conjunto	Peso, en ton		h, m/cm ²	k _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				k _v = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
					z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
1 ^a	5,5	3,5	3,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,079	0,001	0,010	
	2 ^a	10,0	7,0	3,8	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,679	0,501	0,433
	Σ	15,5	10,5		2,000	1,890	2,457	2,939	2,000	0,757	0,502	0,443
Camión B	Conjunto	Carga máxima	Vacío	h, m/cm ²	z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
					z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
		1 ^a	5,0	3,5	5,0	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,079	0,001
2 ^a	9,0	6,5	5,0	1,000	1,234	1,403	1,630	1,000	0,558	0,359	0,292	
Σ	14,0	10,0		2,000	1,495	1,509	1,701	2,000	0,637	0,360	0,302	
Camión C	Conjunto	Carga máxima	Vacío	h, m/cm ²	z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
					z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
		1 ^a	4,0	3,0	3,0	1,000	0,126	0,002	0,021	1,000	0,044	0,009
2 ^a	6,0	6,0	3,0	1,000	0,944	0,900	0,878	1,000	0,448	0,249	0,190	
Σ	12,0	9,0		2,000	1,070	0,902	0,899	2,000	0,492	0,258	0,194	

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

- *EJE SENCILLO
- **EJE TANDEN
- ***EJE TRIPLE

Fig V1. Coeficientes de daño



B3 Autobús de tres ejes

Conjunto	Peso, en ton		P, kg/cm ²	+d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío				
	+Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60	
Camión A	1 ^{ra}	5,5	4,0	5,4	0,666	0,286	0,155	0,116	0,666	0,107	0,034	0,021
	2 ^{da}	14,0	8,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
	Σ	19,5	12,0		1,999	1,369	0,877	0,852	1,999	0,321	0,091	0,058
Camión B	1 ^{ra}	8,0	4,0	5,4	0,666	0,216	0,099	0,079	0,666	0,107	0,034	0,021
	2 ^{da}	14,0	7,5	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,172	0,042	0,026
	Σ	19,0	11,5		1,999	1,299	0,821	0,809	1,999	0,279	0,076	0,047
Camión C	1 ^{ra}	4,0	3,5	5,4	0,666	0,107	0,034	0,021	0,666	0,068	0,018	0,010
	2 ^{da}	14,0	7,5	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,172	0,042	0,026
	Σ	18,0	11,0		1,999	1,190	0,756	0,756	1,999	0,240	0,060	0,036



B4 Autobús de cuatro ejes

Conjunto	Peso, en ton		P, kg/cm ²	+d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío				
	+Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60	
Camión A	1 ^{ra}	7,0	5,0	5,4	1,333	0,136	0,030	0,018	1,333	0,038	0,006	0,003
	2 ^{da}	14,0	8,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
	Σ	21,0	13,0		2,666	1,219	0,752	0,753	2,666	0,252	0,063	0,040
Camión B	1 ^{ra}	7,0	5,0	5,4	1,333	0,136	0,030	0,018	1,333	0,038	0,006	0,003
	2 ^{da}	14,0	8,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
	Σ	21,0	13,0		2,666	1,219	0,752	0,753	2,666	0,252	0,063	0,040
Camión C	1 ^{ra}	7,0	5,0	5,4	1,333	0,136	0,030	0,018	1,333	0,038	0,006	0,003
	2 ^{da}	14,0	8,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,214	0,057	0,037
	Σ	21,0	13,0		2,666	1,219	0,752	0,753	2,666	0,252	0,063	0,040

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

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

Fig V 2. Coeficientes de daño



C2 Camión de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton			A, kg/cm ²	d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
	Carga máxima	Vació	5,0		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
Camión A	1 ^a	5,5	3,5	5,0	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,079	0,019	0,010
	2 ^a	10,0	3,0	5,0	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,044	0,009	0,004
	Σ	15,5	6,5		2,000	1,890	2,457	2,939	2,000	0,123	0,028	0,014
Camión B	1 ^a	5,0	3,0	5,0	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,044	0,009	0,004
	2 ^a	0,0	3,0	5,0	1,000	1,234	1,403	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
	Σ	14,0	6,0		2,000	1,495	1,509	1,701	2,000	0,088	0,018	0,008
Camión C	1 ^a	4,0	2,5	5,0	1,000	0,126	0,036	0,021	1,000	0,027	0,003	0,002
	2 ^a	8,0	2,5	5,0	1,000	0,944	0,900	0,878	1,000	0,027	0,003	0,002
	Σ	12,0	5,0		2,000	1,070	0,936	0,899	2,000	0,044	0,006	0,004



C3 Camión de tres ejes

Conjunto	Peso, en ton			A, kg/cm ²	d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
	Carga máxima	Vació	5,0		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
Camión A	1 ^a	5,5	4,0	5,0	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2 ^{aa}	10,0	4,5	5,0	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,028	0,003	0,002
	Σ	23,5	8,5		3,000	2,817	2,457	2,940	3,000	0,154	0,039	0,023
Camión B	1 ^a	5,0	3,0	5,0	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,106	0,028	0,016
	2 ^{aa}	15,0	4,2	5,0	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,021	0,002	0,001
	Σ	20,0	7,2		3,000	1,876	1,178	1,160	3,000	0,127	0,030	0,017
Camión C	1 ^a	4,0	2,5	5,4	0,666	0,107	0,034	0,021	0,666	0,069	0,018	0,010
	2 ^{aa}	14,0	4,0	5,4	1,333	1,083	0,722	0,735	1,333	0,015	0,002	0,001
	Σ	18,0	7,5		1,999	1,190	0,756	0,756	1,999	0,083	0,020	0,011

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

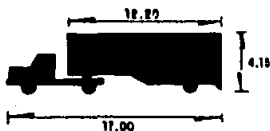
- *EJE SENCILLO
- **EJE TANDEM
- ***EJE TRIPLE

Fig V 3. Coeficientes de daño



C4 Camión de cuatro ejes

Conjunto	Peso, en ton		P, kg/cm ²	+ d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío				
	+Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60	
Camión A	1 ^a	5,5	4,5	5,0	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,187	0,064	0,040
	2 ^{***}	22,5	0,0	5,0	3,000	2,422	2,289	2,018	3,000	0,004	0,020	0,011
	Σ	28,0	12,5		4,000	2,771	2,456	2,937	4,000	0,271	0,084	0,051



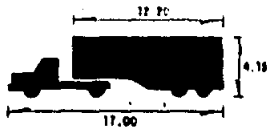
T2-S1 Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje

Conjunto	Peso, en ton		P, kg/cm ²	+ d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío				
	+Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60	
Camión A	1 ^a	5,5	3,2	5,0	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,057	0,012	0,006
	2 ^a	10,0	3,4	5,0	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,071	0,016	0,009
	3 ^a	10,0	3,4	5,0	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,071	0,016	0,009
	Σ	25,5	10,0		3,000	3,431	4,747	5,759	3,000	0,199	0,044	0,024
Camión B	1 ^a	5,0	3,0	5,0	1,000	0,221	0,106	0,071	1,000	0,044	0,009	0,004
	2 ^a	9,0	3,0	5,0	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
	3 ^a	9,0	3,0	5,0	1,000	1,234	1,483	1,630	1,000	0,044	0,009	0,004
	Σ	23,0	9,0		3,000	2,729	3,072	3,931	3,000	0,132	0,027	0,012

+Cargas máximas de acuerdo con el "Proyecto de Actualización del Capítulo XI del Reglamento de Explotación de caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, SCT", México, D.F., 1976.

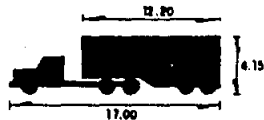
*EJE SENCILLO
 **EJE TANDEM
 ***EJE TRIPLE

Fig V 4. Coeficientes de daño



T2-S2 Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		h, kg/cm ²	d ₁ = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío				
	←Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60	
Camión A	1 ^a	5,5	4,0	5,0	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2 ^a	10,0	3,5	5,0	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,079	0,019	0,010
	3 ^a	18,0	4,0	5,0	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	Σ	33,5	11,5		4,000	4,358	4,747	5,760	4,000	0,222	0,057	0,032
Camión B	1 ^a	5,0	3,4	5,0	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,071	0,016	0,009
	2 ^a	9,0	3,4	5,0	1,000	1,294	1,483	1,630	1,000	0,071	0,016	0,009
	3 ^a	15,0	3,7	5,0	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,012	0,001	0,001
	Σ	29,0	10,5		4,000	3,110	2,661	2,790	4,000	0,154	0,033	0,019



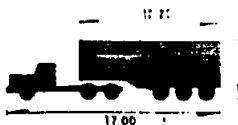
T3-S2 Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		h, kg/cm ²	d ₁ = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío				
	←Carga máxima	Vacío		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60	
Camión A	1 ^a	5,5	4,0	5,0	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2 ^a	10,0	4,0	5,0	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	3 ^a	10,0	4,0	5,0	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	Σ	41,50	12,0		5,000	5,285	4,747	5,761	5,000	0,160	0,040	0,023
Camión B	1 ^a	5,0	3,5	5,0	1,000	0,261	0,106	0,071	1,000	0,079	0,019	0,010
	2 ^a	15,0	4,0	5,0	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,017	0,002	0,001
	3 ^a	15,0	4,0	5,0	2,000	1,615	1,072	1,089	2,000	0,017	0,002	0,001
	Σ	35,0	11,5		5,000	3,491	2,250	2,249	5,000	0,113	0,023	0,012

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

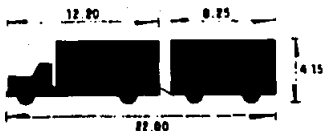
*EJE SENCILLO
 **EJE TANDEN
 ***EJE TRIPLE

Fig V5. Coeficientes de daño



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

Categoría	Cargante	Peso, en ton			↓ d_m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				↓ d_v = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío	A, kg/cm ²	± 0	± 15	± 30	± 60	± 0	± 15	± 30	± 60
					1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a		
	1 ^a	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021
	2 ^a	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
	3 ^a	22,5	5,0	5,8	3,000	2,422	2,289	2,818	3,000	0,031	0,002	0,001
	Σ	46,0	13,0		6,000	5,239	4,746	5,738	6,000	0,154	0,040	0,023



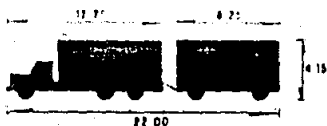
C2-R2 Camión de dos ejes con remolque de dos ejes

Categoría	Cargante	Peso, en ton			↓ d_m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				↓ d_v = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacío	A, kg/cm ²	± 0	± 15	± 30	± 60	± 0	± 15	± 30	± 60
					1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a		
	1 ^a	5,5	3,5	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,079	0,019	0,010
	2 ^a	10,0	3,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,044	0,009	0,004
	3 ^a	10,0	2,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000
	4 ^a	10,0	2,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000
	Σ	35,5	10,5		4,000	4,972	7,037	8,579	4,000	0,141	0,030	0,014

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

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

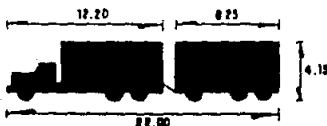
Fig V 6. Coeficientes de daño



C3-R2

Camión de tres ejes con
remolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		P_0 , kg/cm ²	ϕ_{cm} = Coeficiente daño bajo carga máxima				ϕ_v = Coeficiente de daño vacío			
	ϕ Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
	1 ^a	5,5		4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126
2 ^a	18,0	4,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,028	0,003	0,002
3 ^a	10,0	2,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000
4 ^a	10,0	2,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000
Σ	43,5	12,5		5,000	5,899	7,037	8,580	5,000	0,172	0,041	0,023



CR-R3

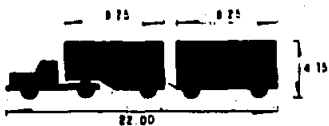
Camión de tres ejes con
remolque de tres ejes

Conjunto	Peso, en ton		P_0 , kg/cm ²	ϕ_{cm} = Coeficiente daño bajo carga máxima				ϕ_v = Coeficiente de daño vacío			
	ϕ Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
	1 ^a	5,5		4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126
2 ^a	18,0	4,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,028	0,003	0,002
3 ^a	10,0	2,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,009	0,001	0,000
4 ^a	10,0	2,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,005	0,000	0,000
Σ	51,5	13,5		6,000	6,826	7,037	8,581	6,000	0,168	0,040	0,023

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

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

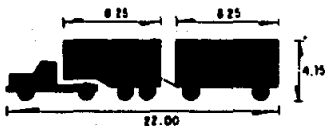
Fig V7. Coeficientes de daño



T2-S1-R2

Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton			A, kg/cm ²	↓ d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
	Carga máxima	Vacío	5,8		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
1 ^a	5,5	3,2	5,8	1,000	0,344	0,167	0,119	1,000	0,047	0,012	0,004	
2 ^a	10,0	3,4	5,8	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,071	0,016	0,005	
3 ^a	10,0	2,4	5,8	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,018	0,003	0,001	
4 ^a	10,0	2,3	5,8	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,015	0,002	0,001	
5 ^a	10,0	2,2	5,8	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,013	0,002	0,001	
Σ	45,5	13,5			5,000	6,513	9,327	11,399	5,000	0,174	0,035	0,018



T2-S2-R2

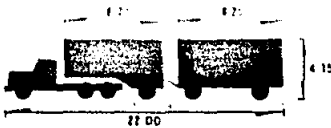
Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton			A, kg/cm ²	↓ d _m = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d _v = Coeficiente de daño vacío			
	Carga máxima	Vacío	5,8		z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
1 ^a	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021	
2 ^a	10,0	4,0	5,8	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,126	0,036	0,021	
3 ^a	18,0	3,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,009	0,001	0,000	
4 ^a	10,0	2,3	5,8	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,015	0,002	0,001	
5 ^a	10,0	2,2	5,8	1,000	1,541	2,290	2,020	1,000	0,013	0,002	0,001	
Σ	53,5	16,0			6,000	7,440	9,327	11,400	6,000	0,289	0,077	0,044

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

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

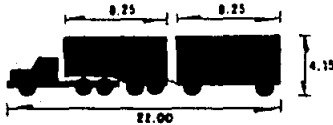
Fig VB. Coeficientes de daño



T3-S1-R2

Tractor de tres ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		P_0 , kg/cm ²	$\downarrow d_m$ = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío			
	\downarrow Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
	1 ^a	5,5		4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126
2 ^a	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
3 ^a	10,0	2,5	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,022	0,003	0,002
4 ^a	10,0	2,3	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,015	0,002	0,001
5 ^a	10,0	2,2	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,013	0,002	0,001
Σ	53,5	15,0		6,000	7,440	9,327	11,400	6,000	0,193	0,045	0,026



T3-S2-R2

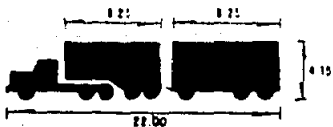
Tractor de dos ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de dos ejes

Conjunto	Peso, en ton		P_0 , kg/cm ²	$\downarrow d_m$ = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d_v = Coeficiente de daño vacío			
	\downarrow Carga máxima	Vacío		$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$	$z=0$	$z=15$	$z=30$	$z=60$
	1 ^a	5,5		4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126
2 ^a	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,017	0,002	0,001
3 ^a	18,0	3,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,821	2,000	0,009	0,001	0,000
4 ^a	10,0	2,3	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,015	0,002	0,001
5 ^a	10,0	2,2	5,8	1,000	1,541	2,290	2,820	1,000	0,013	0,002	0,001
Σ	61,5	16,0		7,000	8,367	9,327	11,401	7,000	0,180	0,043	0,024

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

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

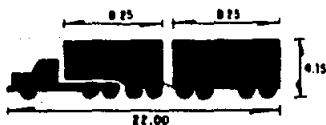
Fig V9. Coeficientes de daño



T3-S2-R3

Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de tres ejes

Caminos A	Conjunto	Peso, en ton			d ₁ = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d ₂ = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacio	p, kg/cm ²	z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
1 ^a	5,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021	
2 ^a	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,017	0,002	0,001	
3 ^a	18,0	3,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,009	0,001	0,000	
4 ^a	10,0	2,3	5,8	1,000	1,541	2,290	2,021	1,000	0,015	0,002	0,001	
5 ^a	18,0	3,2	5,8	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,006	0,001	0,000	
Σ	69,5	17,0		8,000	9,294	9,327	18,461	8,000	0,173	0,042	0,023	



T3-S2-R4

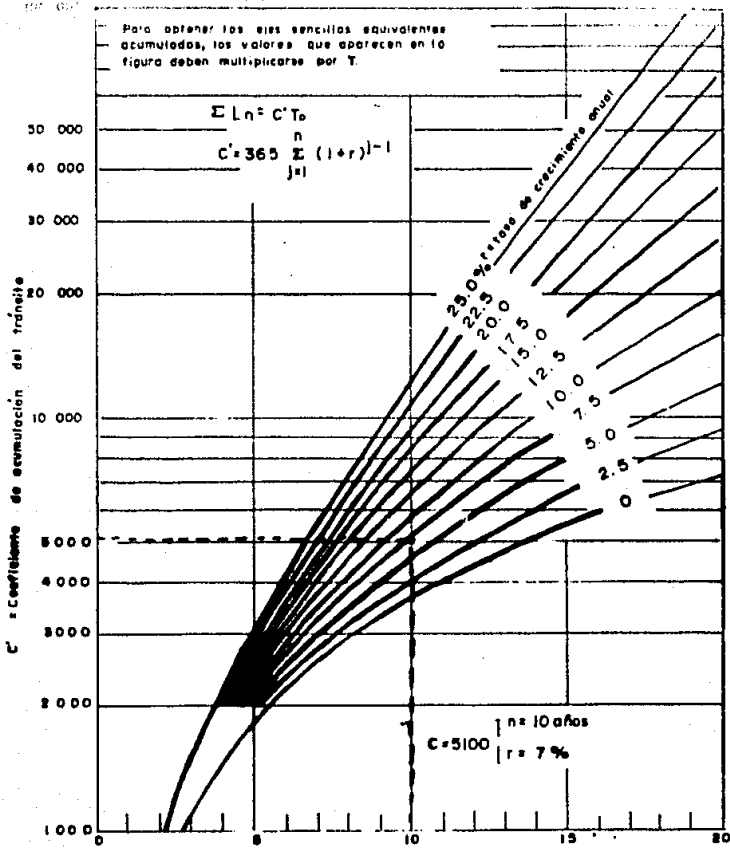
Tractor de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque de cuatro ejes

Caminos A	Conjunto	Peso, en ton			d ₁ = Coeficiente de daño bajo carga máxima				d ₂ = Coeficiente de daño vacío			
		Carga máxima	Vacio	p, kg/cm ²	z=0	z=15	z=30	z=60	z=0	z=15	z=30	z=60
1 ^a	8,5	4,0	5,8	1,000	0,349	0,167	0,119	1,000	0,126	0,036	0,021	
2 ^a	18,0	4,0	5,8	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,017	0,002	0,001	
3 ^a	18,0	3,5	5,8	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,009	0,001	0,000	
4 ^a	18,0	3,3	5,8	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,007	0,001	0,000	
5 ^a	18,0	3,2	5,8	2,000	2,468	2,290	2,021	2,000	0,006	0,001	0,000	
Σ	77,5	18,0		9,000	10,221	9,327	18,461	9,000	0,165	0,041	0,022	

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

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

Fig V 10. Coeficientes de daño



GRAFICA PARA ESTIMAR EL TRANSITO EQUIVALENTE ACUMULADO

FIG. V. j.

Let Transito de...

C = Coeficiente de acumulación de tránsito, para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r.

T₀ = Tránsito medio diario por carril en el primer año de servicio ejes equivalentes de 8.2 Ton

T₀ = $\sum N_i F_i + \sum N'_i F'_i$

N_i, N'_i = Promedio diario por carril de vehículo tipo i (cargados o descargados, respectivamente) durante el primer año de servicio.

F_i, F'_i = Coeficiente de daño relativo producido por cada viaje de vehículo i (cargado o descargado, respectivamente), ejes equivalentes de 8.2 Ton

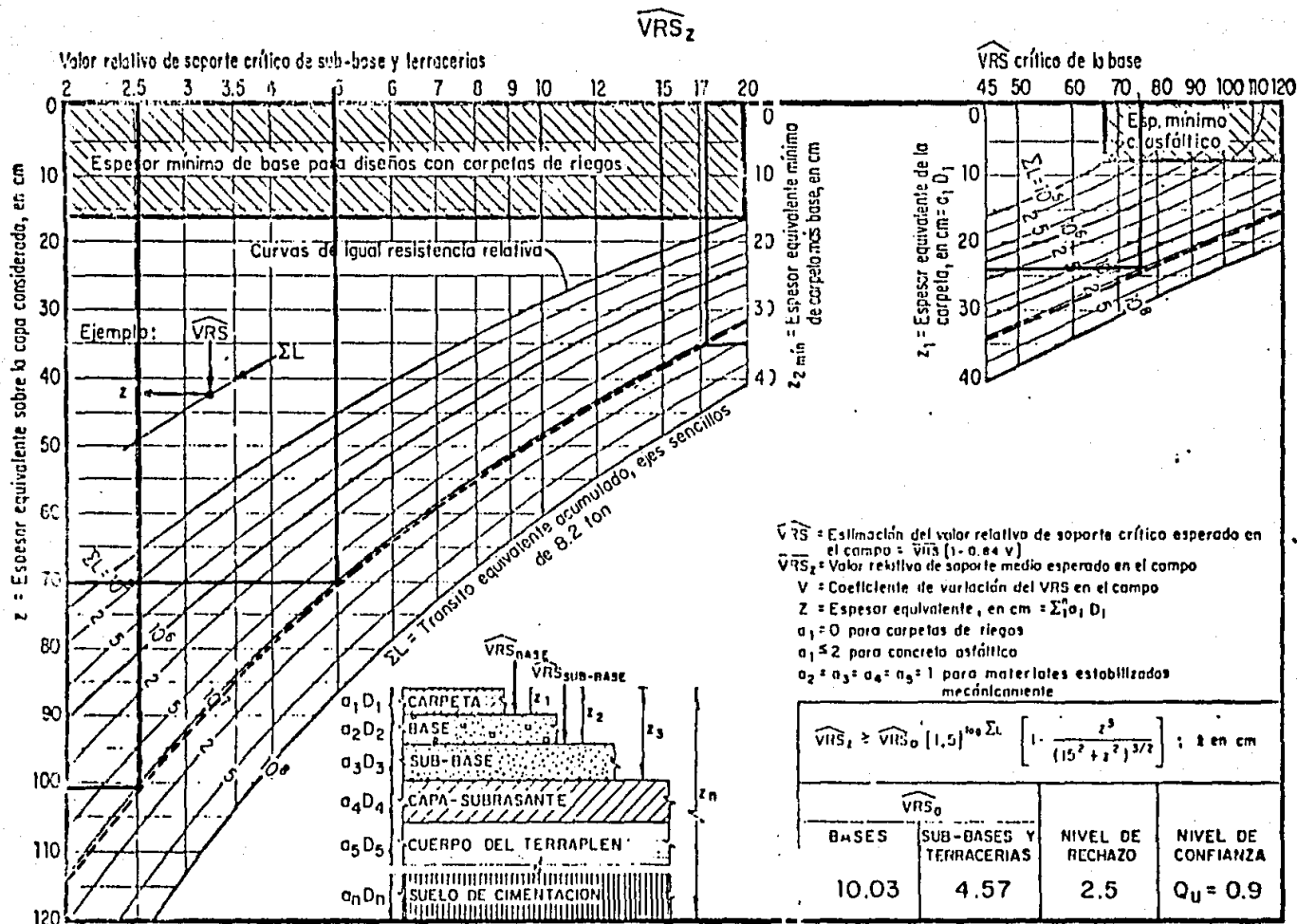


FIG. V.K.

Gráfica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible

TIPO DE VEHICULO	COMPOSICION DEL TRANSITO (1)	COEFICIENTE DE DISTRIBUCION DE VEHICULOS CARGADOS O VACIOS (2)		COMPOSICION DEL TRANSITO CARGADOS O VACIOS (3) · (1) · (2)	COEFICIENTES DE DAÑO (4)		NUMERO DE EJES SEMEJANTES EQUIVALENTES DE DAÑO (5) = (3) x (4)		
		CARGADOS	VACIOS		CARPETA Y BASE Z ¹	SUB-BASE Y TERRACERIAS Z ²	CARPETA Y BASE (6) = (3) x (4)	SUB-BASE Y TERRACERIAS (7) = (3) x (4)	
A2	0.440	CARGADOS	0.70	0.308	0.004	0.000	0.001	0.000	
		VACIOS	0.30	0.132	0.004	0.000	0.001	0.000	
A'2	0.200	CARGADOS	0.70	0.140	0.536	0.023	0.075	0.000	
		VACIOS	0.30	0.060	0.536	0.000	0.032	0.000	
B2	0.050	CARGADOS	0.70	0.035	2.000	1.589	0.070	0.000	
		VACIOS	0.30	0.015	2.000	0.360	0.030	0.000	
C2	0.030	CARGADOS	0.70	0.021	2.000	1.589	0.042	0.000	
		VACIOS	0.30	0.009	2.000	0.018	0.018	0.000	
C3	0.020	CARGADOS	0.70	0.084	3.000	1.178	0.252	0.000	
		VACIOS	0.30	0.036	3.000	0.030	0.108	0.001	
T2 - S1	0.070	CARGADOS	0.70	0.049	3.000	3.072	0.147	0.151	
		VACIOS	0.30	0.021	3.000	0.027	0.063	0.001	
T2 - S2	0.070	CARGADOS	0.70	0.014	4.000	2.661	0.056	0.037	
		VACIOS	0.30	0.006	4.000	0.033	0.024	0.000	
T3- S3	.	CARGADOS	0.70	0.049	6.000	4.746	0.294	0.237	
		VACIOS	0.30	0.021	6.000	0.040	0.126	0.001	
SUMAS	1.000	—	8.00	1.000	EJES EQUIVALENTES PARA TRANSITO UNITARIO (8)		1.339	0.620	
COEFICIENTE DE ACUMULACION DEL TRANSITO, $C_T = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] 365$					TDPA INICIAL EN EL CARRIL DE PROYECTO (9)		3,285	3,285	
n = AÑOS DE SERVICIO = -					C _T (10)		5,043	5,043	
T = TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO = 7 %									
TDPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL = 6,570					CD CARRIL PROYECTO = 0.5		ΣL (11) = (8) x (9) x (10)	22'182,215	10'271,87

TABLA VII

.Cálculo del tránsito equivalente acumulado (ΣL)

VI. BANCOS DE MATERIALES

VI.1.- GENERALIDADES.-

Uno de los costos más importantes en la construcción y mantenimiento de las vías terrestres corresponde a los mate
riales: roca, grava, arena y otros suelos, por lo que su lo
calización y selección se convierte en uno de los problemas
básicos del Ingeniero Civil, en conexión estrecha con el --
Geólogo. La experiencia diaria nos enseña que, si se da a -
estas tareas la debida importancia, podrán localizarse depó
sitos de materiales apropiados cerca del lugar de su utili-
zación, abatiendo los costos de transportación, que suelen-
ser de los que más afectan los totales; otras veces se lo-
grará obtener materiales utilizables en zonas que antes de-
pendían de otras más alejadas en ese aspecto. Por estas ra-
zones, la búsqueda científica y la explotación racional de-
los materiales ocupa más y más la atención de los grupos --
técnicos.

Durante muchos años la detección de bancos de materia-
les dependió de métodos exploratorios comunes, desde la sim
ple observación sobre el terreno, hasta el empleo de pozos-
a cielo abierto, posteadoras, barrenos y máquinas perforado
ras. En épocas más recientes, los estudios geofísicos, de -
gran potencialidad en estas cuestiones, han venido a sumar-
se a la técnica disponible, ahorrando mucho tiempo y esfuer
zo humano y mucha exploración.

De mucho de lo que de bancos de materiales se diga, se
rá aplicable a los préstamos laterales y aún a los materia-
les que se obtengan por la compensación longitudinal o ----
transversal. Será necesario establecer ciertas distinciones
entre los bancos de roca y los de suelo.

La valuación preliminar de los suelos se hace sobre to
do con base en experiencia precedente; la clasificación en-
el Sistema Unificado ayuda en todos los casos, pues ese sis
tema lleva aparejado el encasillamiento en un grupo determi
nado, todo un conjunto de índices de comportamiento. La va-

Enunciación en detalle de los suelos constitutivos de un banco de hacerse con base en pruebas de laboratorio.

VI.2.- LOCALIZACION DE BANCOS.-

El tema es de tal importancia que no puede considerarse completo un proyecto o digno de autorización para su ejecución, si no contiene una lista completa y detallada de los bancos de materiales de los que han de salir los suelos y rocas que forman la obra.

La búsqueda y localización de bancos de materiales puede hacerse principalmente por " fotointerpretación " o por reconocimientos terrestres directos; éstos últimos pueden auxiliarse, a su vez, por la fotointerpretación o por métodos de prospección geofísica.

Es preciso insistir que en la fotointerpretación ofrece un método sin rival para explorar varias áreas a bajo costo, en forma que fácilmente puede equivaler en precisión a un reconocimiento terrestre. Esto es uno de los aspectos en que la geología aplicada puede contribuir más eficazmente a la tecnología de las vías terrestres.

Bien sea que se utilice como único método de detección o como complemento de un estudio de fotointerpretación, el reconocimiento terrestre del futuro banco es indispensable, ya que con él, se define la posibilidad de la explotación, grado de dificultad, problemas que podrían acarrear aguas superficiales o subterráneas, volúmenes disponibles, facilidades legales, etc.

Ha de garantizarse que los bancos elegidos son los mejores entre todos los disponibles en varios aspectos que se interrelacionan. Primero, en lo que se refiere a la calidad de los materiales extraíbles, en relación al uso. Segundo, la accesibilidad y explotación por los procedimientos más eficientes y menos costosos. Tercero, que sean los que produzcan las mínimas distancias de acarreo de los materiales a la obra. Cuarto, deben ser los que conduzcan a procedimientos constructivos más sencillos y colocación final en -

la obra, requiriendo los estudios de proyectos, quinto, que los bancos localizados no conlleven a problemas legales de difícil o lenta solución.

VI.3.- EXPLORACION DE BANCOS.-

La exploración de una zona donde se pretende localizar un banco de material debe tener las siguientes metas:

- 1.- Determinación de la naturaleza del depósito, su geología, historia de explotaciones anteriores, escurrimientos de agua superficial y subterránea.
- 2.- Profundidad, espesor, extensión y composición de los estratos de suelo o roca.
- 3.- Obtención de toda información sobre propiedades de los suelos o rocas, los usos que de ellos se hayan hecho.

La investigación está formada por tres etapas:

- 1.- Reconocimiento preliminar, contar con el estudio geológico de la zona.
- 2.- Exploración preliminar, por medio de procedimientos simples, para obtener información sobre el espesor y composición del subsuelo, profundidad de agua freática y demás datos que permitan establecer la implantación de un banco de acuerdo a lo que se busca.
- 3.- Exploración definitiva, sondeos y pruebas de laboratorio para definir características ingenieriles del suelo o rocas encontrados.

Las armas de la exploración para localización y valuación de los bancos son:

METODOS DE EXPLORACION DE CARACTER PRELIMINAR:

- a) Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado
- b) Perforaciones con posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.
- c) Métodos de lavado.
- d) Métodos de penetración estándar.
- e) Métodos de penetración cónica.

1) Perturbaciones en boleos y gravas.

MÉTODOS DE SONDEO DEFINITIVO:

- a) Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.
- b) Métodos con tubos de pared delgada.
- c) Métodos rotatorios para roca.

MÉTODOS GEOFÍSICOS:

- a) Sísmico.
- b) De resistencia eléctrica.
- c) Magnético y gravimétrico.

MÉTODO DE FOTOINTERPRETACION.

En forma general las pruebas de laboratorio que se efectúan a los suelos que se extraen de los bancos, según su utilización, son:

1.- Terracerfias:

- a) Clasificación: Límites de plasticidad y granulometría.
- b) Calidad: Peso volumétrico máximo. A veces V.R.S.

2.- Capa Sub-Rasante:

- a) Clasificación: Límites de plasticidad y granulometría.
- b) Calidad: Peso volumétrico máximo, V.R.S., expansión y equivalente de arena.
- c) Diseño: Determinación del V.R.S., o bien prueba HVEEM. o pruebas triaxiales de Texas .

3.- Base y Sub-base:

- a) Clasificación: Límites de plasticidad y granulometría.
- b) Calidad: Peso volumétrico máximo, V.R.S., expansión y equivalente de arena.
- c) Diseño: Si se desea hacer un diseño estructural por capas deberán realizarse las pruebas indicadas para la sub rasante.

4.- Carpeta Asfáltica:

- a) Clasificación: Límites de plasticidad y granulometría.
- b) Calidad: Pruebas de desgaste y/o alterabilidad, equivalente de arena, expansión, afinidad con el asfalto, prueu

ba para definir la forma de los agregados.

- c) Diseño: Prueba Marshall o bien, prueba de HVEEM. El contenido óptimo de asfalto puede determinarse también por el método C.K.E.

Es importante tener en cuenta, que de entre dos materiales posibles para un cierto uso podrá haber una diferencia en calidad técnica cuando están en estado natural, pero esa diferencia podrá anularse o aún invertirse si el peor material recibe un tratamiento adecuado, se estabiliza de alguna manera o si, tal vez, el proyecto se modifica de manera que un material que originalmente no era apropiado, ahora resulta utilizable.

- Tratamientos: 1.- Eliminación de desperdicios.
2.- Disgregación.
3.- Cribado.
4.- Trituración (Parcial o Total).
5.- Lavado.
6.- Estabilización. (Mezcla de dos o más materiales con cal, cemento, asfalto, etc.).

Otra cosa de tomar en cuenta es la Explotación de los -- bancos, ya sean de roca o suelo, se hace utilizando determinados equipos con características y usos bien establecidos -- por la experiencia previa de construcción. La selección de -- equipo adecuado para un caso particular será función de tres factores fundamentales:

- Disponibilidad de equipo.
- El tipo de material a atacar.
- La distancia de acarreo del material.

Ya una vez expuestas las formas y factores que intervienen en forma general, se anexa el cuadro de bancos que se -- utilizarán en esta obra, así como algunos formatos donde se -- vacían los datos de laboratorio efectuados a suelos en sus -- diversas pruebas.

VI.4.- CUADRO DE BANCOS DE MATERIALES Y SUS CARACTERISTICAS.

BANCO	LOCALIZACION.	MATERIAL	TRATAMIENTO	UTILIZACION	Mezcla aproximada su emp. % en peso
I.-Sin nombre	Km. 7+500 con 500 mts. D/D.	Basalto.	Trituración total a tamaño máximo de 1 1/2" (38 mm)	Sub-base.	80% Banco No. 1 20% Banco No. 2
			Trituración total tamaño máximo de 1" (25 mm)	Base asfáltica.	Se usará solo.
			Trituración total a tamaño máximo de 3/4" (19 mm)	Carpeta.	Se usará solo.
			Trituración total para obtener ma- terial al 3-E.	Riego de sello.	Se usará solo.
II.-El Pichin	0+000 con 5200 m. sobre la ca- rretera actual- hacia Magdalena mas 900 m.de -- D/D.	Limo-Arenoso	Ninguno.	Sub-Base.	20% Banco No. 1 80% Banco No. 2
III.-Sin Nom- bre.	6+000 con 50 m. D/D.	Limo-Arcilloso	Ninguno.	Cuerpo de terra- plén.Subrasante.	Se usará solo. Se usará solo.
IV.-San Mar- tín.	10+600 con - - 1500 D/D.	Arena. Pumítica.	Ninguno.	Cuerpo de terra- plén.Subrasante.	Se usará solo. Se usará solo.



DEPENDENCIA FEDERAL DE SERVICIOS TECNICOS.

CENTRO SCT. JALISCO.

UNIDAD DE LABORATORIOS
RESIDENCIA

INFORME DE TERRACERIAS

OBRA CARRETERA: GUADALAJARA-TEPIC. ENSAYES Nos. _____
 LOCALIZACION TRAMO: TEQUILA-MAGDALENA. FECHA DE RECIBO _____
 FECHA DE INFORME _____

IDENTIFI- CACION	NUM DE ENSAYE	7102	7103	7483	7550	8129
	ESTACION	S1	S2	S3	S4	S5
	LADO	Banco San Martín, Km. 59+400				1500 Mts.
CAPA Terr. y S/R.						

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	TAMARO MAXIMO EN mm.	19.0	25.0	25.0	19.0	25.0
	% RETENIDO EN MALLA DE 75 mm	0	0	0	0	0
	% QUE PASA MALLA DE 4.75 mm	82.0	82.0	78.0	89.0	80.0
	" " " DE 0.425 mm	54.0	56.0	48.0	63.0	39.0
	" " " DE 0.075 mm	24.0	26.0	25.0	32.0	24.0
	EQUIVALENTE DE HUM. DE CAMPO %	-	-	-	-	-
	LIMITE LIQUIDO %	35.0	31.0	28.0	31.0	34.0
	INDICE PLASTICO %	N.P.	N.P.	N.P.	13.0	12.0
	CONTRACCION LINEAL %	0	0.2	1.0	2.4	4.4
	P.E.S. SUELTO kg/m ³	1071	1021	1009	971	921
	P.E.S. MAXIMO kg/m ³ Porter	1400	1505	1435	1435	1499
	HUMEDAD OPTIMA % Porter	16.6	15.3	19.2	19.2	21.4
	HUMEDAD NATURAL %	-	-	-	-	-
	COMPACTACION DEL LUGAR %	-	-	-	-	-
V.R.S. ESTANDAR SATURADO %	80.8	88.2	64.7	66.2	64.7	
EXPANSION %	0.23	0.0	0.35	0.25	0.26	
CLASIFICACION SOP.	SM.	SM.	SM.	SC.	SC.	

ESTUDIO DE ESPESORES	TIPO DE PRUEBA <u>PORTER MODIFICADA VARIANTE II.</u>						
	CURVA DE PROYECTO						
	80% COMP.	HUMEDAD DE PRUEBA %					
		VALOR RELATIVO DE SOPORTE %					
	90% COMP.	ESPESOR REQUERIDO, cm					
		HUMEDAD DE PRUEBA %	19.6	18.3	32.2	22.2	24.4
	95% COMP.	VALOR RELATIVO DE SOPORTE %	80.8	58.8	30.1	30.1	44.8
		ESPESOR REQUERIDO, cm					
	100% COMP.	HUMEDAD DE PRUEBA %	18.1	16.8	20.7	20.7	22.9
		VALOR RELATIVO DE SOPORTE %	119.1	80.8	60.3	60.3	73.5
		ESPESOR REQUERIDO, cm					
		HUMEDAD DE PRUEBA %	-	15.3	19.2	19.2	-
		VALOR RELATIVO DE SOPORTE %	-	104.0	102.9	102.9	-
		ESPESOR REQUERIDO, cm					

NOTA: En gráficos dibujados por separado se hace el análisis en conjunto de los V.R.S. y espesores de pavimentos requeridos.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:

EL LABORATORISTA	EL JEFE DEL LABORATORIO	V* B*
------------------	-------------------------	-------

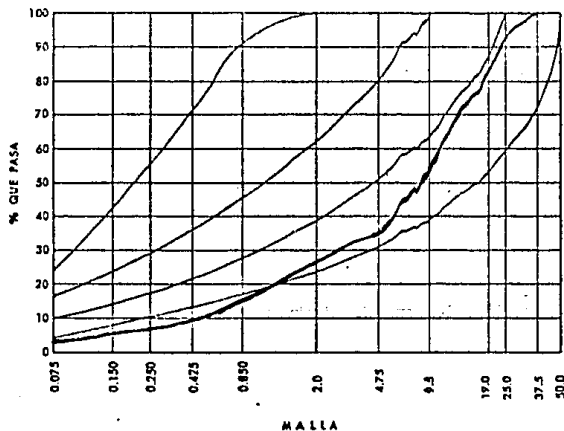
PROCEDIMIENTO DE ENSAYO EN MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

OBRA CARRETERA CUIMALAJARA-TEPIIC ENSAYO N° _____
 LOCALIZACION TRAMO NUEVO MAGDALENA-TEQUILA FECHA DE RECIBO _____
TEQUILA, CAPULCO, TEPIC, TILCOMITL, OAXACA DEL CACAHUATL, ETC. FECHA DE INFORME _____

DATOS DEL MUESTREO MATERIAL PARA CAPA DE: SUB-BASE BASE
 DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL ROCA BASALTICA TRITURADA
 CLASE DE DEPOSITO MUESTREO _____
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO SELECCION DE ROCAS EN GRANA
 UBICACION DEL BANCO NL 7+500 RESPECTO AL TRAZO NUEVO DEL TRAMO MAGDALENA-TEQUILA

P.E. SECO SUELTO kg/m ³	1184		
P.E.S. MAXIMO kg/m ³	1710		
HUMEDAD OPTIMA %	7.9		
P.E. DEL LUGAR kg/m ³			
HUMEDAD DEL LUGAR %			

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



MALLA	% RETENIDO	
	EN 50.0	
EN 37.5		
% QUE PASA		
50.0		
37.5	100	
25.0	93	
19.0	83	
9.5	54	
4.75	35	
2.00	26	
0.85	16	
0.425	9	
0.250	7	
0.150	5	
0.075	3	

V.R.S. (ESTANDAR) %	122.5
EXPANSION %	0.0
VALOR CEMENTANTE kg/cm ³	1.4
EQUIVALENTE DE ARENA %	77.3

PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA Núm. 9.5	
ABSORCION %	4.66
DENSIDAD	2.17
DURABILIDAD	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA Núm. 0.425	
LIMITE LIQUIDO %	22
LIMITE PLASTICO %	INDETERMINADO
INDICE PLASTICO %	NO PLASTICO
EQUIV. HUM. DE CAMPO %	DE ARENA 77.3
CONTRACCION LINEAL %	1.9
CLASIFICACION SOP	

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

EL LABORATORISTA	EL JEFE DEL LABORATORIO	V. No.
------------------	-------------------------	--------

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA



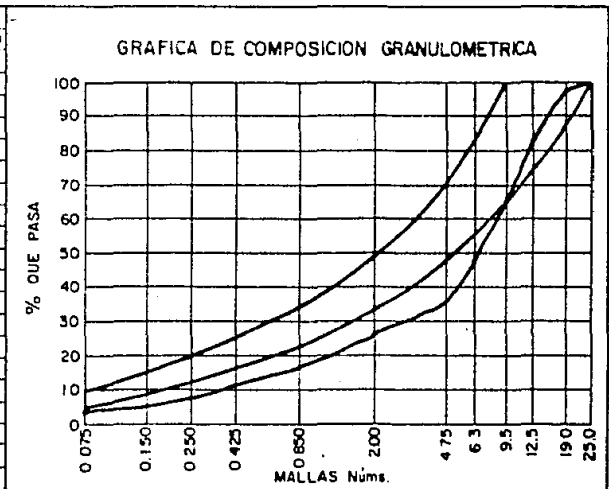
INFORME DE ENSAYE DE CONCRETO ASFALTICO

OBRA <u>CARRETERA: GUADALAJARA-TEPIC.</u>	ENSAYE No _____
LOCALIZACION <u>TRAZO NUEVO: MAGDALENA-TEQUILA.</u>	FECHA DE RECIBO _____
(CIUDAD, CAMINO, TRAMO, KILOMETRO, ORIGEN DEL CADEFAMIENTO, ETC)	FECHA DE INF _____

DATOS DEL MUESTREO	DESCRIPCION DEL MATERIAL <u>ROCA BASALTICA TRITURADA.</u> PARA USARSE EN <u>CARPETA.</u>
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO <u>SELECCION DE ROCAS EN GREÑA.</u>
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO <u>SONDEO No. 1 DEL BANCO DENOMINADO "EL 71" DE KM. --</u>
	UBICACION DEL BANCO DE DONDE PROCEDE EL MATERIAL PETREO <u>7+500 RESPECTO AL TRAZO NUEVO DEL TRAZO MAGDALENA-TEQUILA</u>

VIAJE No _____	TENDIDO EN km _____	A km _____	CARRIL _____	FRANJA _____
TEMP DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA. _____ °C. EN EL TENDIDO. _____ °C. AL INICIAR LA COMPACT _____ °C				

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PETREO	PE SECO SUELT kg/m ³	1250
	MALLAS QUE PASA DEL PROYECTO	
	Núm 250	100
	" 190	98
	" 125	83
	" 95	66
	" 63	49
	" 475	36
	" 200	27
	" 0850	17
	" 0425	11
	" 0250	8
	" 0150	6
	" 0075	4
	PE (δp), g/cm ³	2.37
ABSORCION %	3.30	
DESGASTE %	21.6	
% DE TRITURACION	100	
PART. ALARGADAS %	25.3	
PART. LAJEADAS %	32.9	
EQUIV. DE ARENA %	83.6	
CONTRACCION LINEAL %	1.8	



CARACTERISTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN		ESPECIFICACION	CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	
CONTENIDO ASFALTO %			P.E kg/m ³			TIPO	
ADITIVO USADO MARCA			ESTABILIDAD kg			PENETRACION	
TIPO			FLUJO mm			VISCOSIDAD	
CANTIDAD %			VACIOS %			TEMP. RECOM.	
AFINIDAD			V.A.M. %			TEMP DE APLIC.	

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES Estudio definitivo de este banco.
% de partículas en forma de laja y alargadas: 48.7

EL LABORATORISTA	EL JEFE DEL LABORATORIO	Vo Bo.
------------------	-------------------------	--------

VII. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

Las obras comprenden, en términos generales, la construcción de la rectificación de la carretera, entre los kilómetros 0+000 y 10+000, iniciándose en el kilómetro 70+930 del cadenamamiento de la carretera actual, y que contempla una sección de once (11.00) metros de ancho de corona.

I.- TERRACERIAS.- Se construirán siguiendo en términos generales los siguientes lineamientos:

A) Secciones en Terraplén:

- 1.- En el área de desplante del terraplén, se despalmará el terreno natural en un espesor promedio de veinte (20) centímetros, desechando este material, colocándolo y extendiéndolo de inmediato, cerca del límite del derecho de vía, donde no ocasione encharcamientos ni problemas de drenaje a la carretera.
- 2.- Una vez efectuado el despalme el material dejado al descubierto, deberá compactarse superficialmente al noventa por ciento (90%) como mínimo, en un espesor no menor de quince (15) centímetros.
- 3.- Se construirá el cuerpo del terraplén mediante capas no mayores de treinta (30) centímetros de espesor, con los materiales indicados en el cuadro de Bancos de Materiales, compactándolos al noventa (90%) como mínimo.
- 4.- Sobre el terraplén terminado, se construirá en dos capas de igual espesor, la capa sub-rasante de treinta (30) -- centímetros de espesor, con el material indicado en el Cuadro de Bancos de Materiales, compactándolos al noventa y cinco (95%) como mínimo.

B) Secciones en Cortes.

- 1.- en el área donde se ubicarán los cortes, se despalmará el terreno natural como se indicó en el inciso I.A.1 de estos trabajos por ejecutar.
- 2.- A continuación se efectuará en el terreno natural, el corte en el ancho necesario para alojar la sección de proyecto y hasta el nivel de la capa sub-rasante.

El material producto de esta operación se utilizará como compensación longitudinal en la construcción de los terraplenes.

- 3.- Una vez efectuados los trabajos anteriores, si el material dejado al descubierto cumple las normas para constituir la capa sub-rasante, se escarificará perfilando la superficie, y se compactará al noventa y cinco (95%) como mínimo, en un espesor no menor de treinta (30) centímetros. Si el material descrito no cumple con las Especificaciones una vez excavado hasta el nivel que marque el proyecto, el material dejado al descubierto deberá compactarse superficialmente al noventa por ciento (90%) como mínimo, en un espesor no menor de quince (15) centímetros, procediendo a continuación a construir en dos capas de igual espesor, la capa sub-rasante de treinta (30) centímetros de espesor con el material indicado en el Cuadro de Bancos de Materiales, compactándolo al noventa y cinco por ciento (95%) como mínimo.

C) en los Entronques, para proteger la unión del terraplén existente con el nuevo en la longitud que señale el proyecto se escarificará la base del pavimento en un espesor de quince (15) centímetros, a partir de la superficie descubierta al escarificar la carpeta, se disgregará y acamellonará el material obtenido; se perfilará la superficie para dar el bombeo de proyecto y se compactará superficialmente al noventa y cinco por ciento (95%) como mínimo, en una profundidad no menor de diez (10) centímetros. Con el material acamellonado, se construirá la capa subrasante, al mismo tiempo que la del cuerpo nuevo.

II.- OBRAS DE DRENAJE

- A) Anticipadamente a la construcción de las terracerías, se construirán las obras de drenaje que indique el proyecto.

III.- PAVIMENTO

- A).- Sobre la capa sub-rasante, se construirá una sub-base de treinta (30) centímetros de espesor, con material procedente de banco, de los indicados en el Cuadro de Ban--cos de Materiales compactándolo al cien por ciento (100%) como mínimo.
- B) Sobre la sub-base hidráulica terminada y superficialmente seca se aplicará un riego de impregnación con producto asfáltico FM-1, a razón de uno punto cinco (1.5) Lt/M2, aproximadamente.
- C) Después de aplicado el riego anterior, y de haber esperado el tiempo suficiente para su penetración y desfluxado, en todo el ancho de la sección, se dará un riego de liga con producto asfáltico FR-3, a razón de cero punto cinco (0.5) Lt/M2 aproximadamente.
- D) A continuación y en todo el ancho de la sección, once -- (11) metros, se construirá una base de concreto asfáltico, de diez (10) centímetros de espesor, de material comcompactado al noventa y cinco por ciento (95%) del peso volumétrico máximo determinado con la prueba Marshall. El -concreto asfáltico para la construcción de la base asfáltica, deberá elaborarse utilizando cemento asfáltico -Num. 6 y material pétreo de tamaño máximo de veinticinco (25) milímetros, procedente del banco indicado en el Cuadro - Bancos de Materiales; la dosificación aproximada del cemento asfáltico será de cien (100) Kg/M3 de material pétreo seco y suelto.
- E) Sobre la base asfáltica, en el ancho que ocupará la carpetas asfáltica, se dará un riego de liga con producto asfáltico FR-3, a razón de cero punto cinco (0.5) Lt/M2 -- aproximadamente.
- F) Inmediatamente después de aplicado el riego de liga anterior, se construirá la carpetas de concreto asfáltico de ocho (8) centímetros de espesor, de material compactado al noventa y cinco (95%) por ciento del peso volumétrico máximo determinado con la prueba Marshall.

El concreto asfáltico para la construcción de la carpeta asfáltica deberá elaborarse utilizando cemento asfáltico - Num. 6 y material pétreo de tamaño máximo de diecinueve- (19) milímetros, procedente del banco indicado en el Cuadro de Bancos de Materiales; la dosificación aproximada del cemento asfáltico será de cien (100) Kg/M3 de material pétreo seco y suelto.

- G) Se aplicará un riego de sello empleando producto asfáltico tipo FR-3 y material pétreo 3-E, en una proporción -- aproximada de uno punto dos (1.2) y diez (10) Lt/M2, respectivamente.

IV.- ESPESORES.

- A) Los espesores que han sido indicados para las diferentes capas, corresponden a material ya compactado al grado -- que en cada caso fue señalado.

VIII.- CONCLUSIONES

En la actualidad es necesario modernizar toda la red carretera en el país, debido a que las condiciones de carga, el tránsito promedio diario anual (TPDA), las velocidades de operación, etc., son muy diferentes de cuando se construyeron; -- sin embargo, la situación económica actual de la falta de recursos ha limitado un avance considerable de ello. Por lo anterior gran parte de los recursos que destina el Gobierno Federal en el área de carreteras se destina a la Conservación de las mismas, pues si no es posible reconstruir toda la red, se trata de que ésta no se deteriore aún más.

Debido a ello, ahora más que nunca se debe tener una adecuada planeación de las obras a ejecutar, que sean obras prioritarias, para que los pocos recursos disponibles su aprovechamiento sea el óptimo.

Tal es el caso de la rectificación del sub-tramo Tequila-Magdalena, del tramo Guadalajara-Tepic, correspondiente a la carretera México-Nogales. Este tramo tiene una longitud de 228 kilómetros aproximadamente, más sin embargo, se escogió del km 60+000 al 71+000 (entre Tequila y Magdalena), para su rectificación. Esto se debe a que en todo el tramo, éste era el más crítico y la base para ello fueron los accidentes. Estadísticas revelaban que era el subtramo con mayor cantidad de accidentes.

La disminución de los accidentes es claramente un beneficio económico; en nuestro caso y debido a que con la utilización de la obra o la mejora de la situación actual, los conductores sentirían menos restricciones en cuanto a velocidad y tomando en cuenta que nuestra disciplina para la seguridad del manejo está muy desarrollada, conviene auxiliarse de dispositivos adecuados con el objeto de ordenar con eficiencia al tránsito. En este tramo el Índice de Accidentes bajó de 1.789 a -- 0.881.

Se proyectó una rectificación donde se mejoraron los alineamientos horizontal, vertical y la sección transversal, para

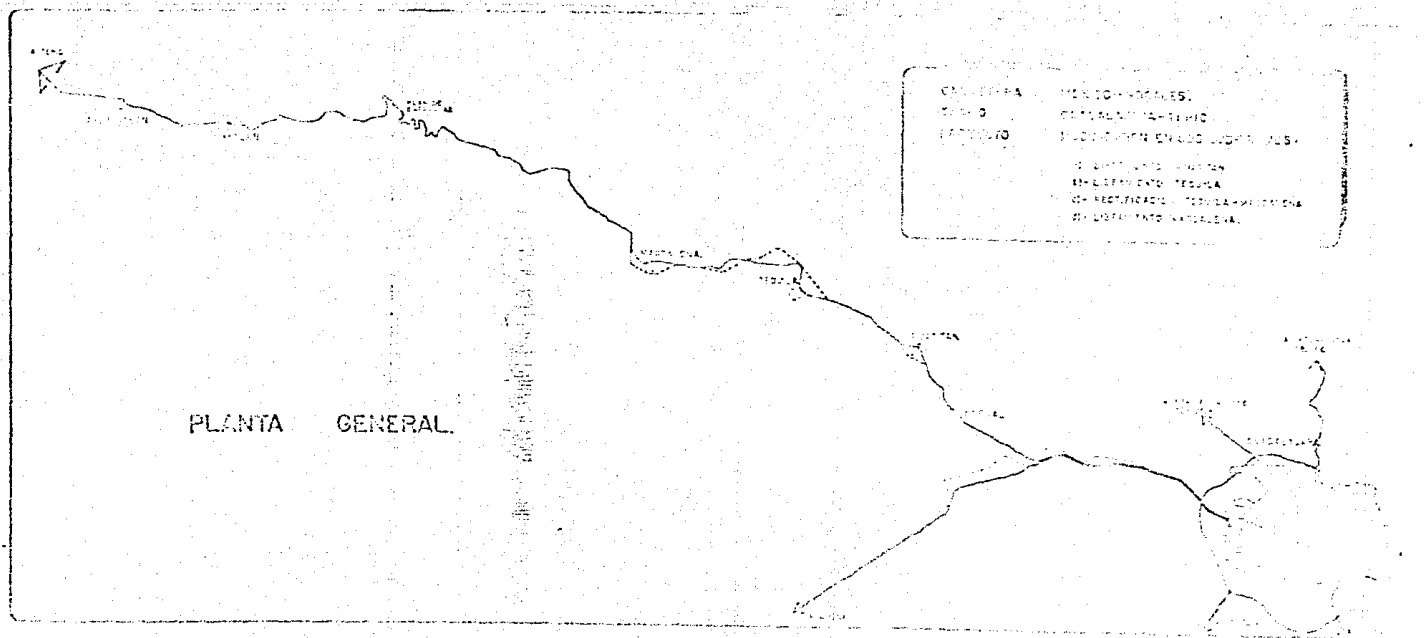
una velocidad de proyecto de 90 kph. promedio. El usuario siente que la carretera está más amplia, su ancho de corona aumentó de 7.20 m. a 11.00 m. , asimismo de aproximadamente 20 curvas compuestas e inversas que tenía el tramo antiguo, únicamente quedaron 10, con grados máximos de curvatura de 4°.

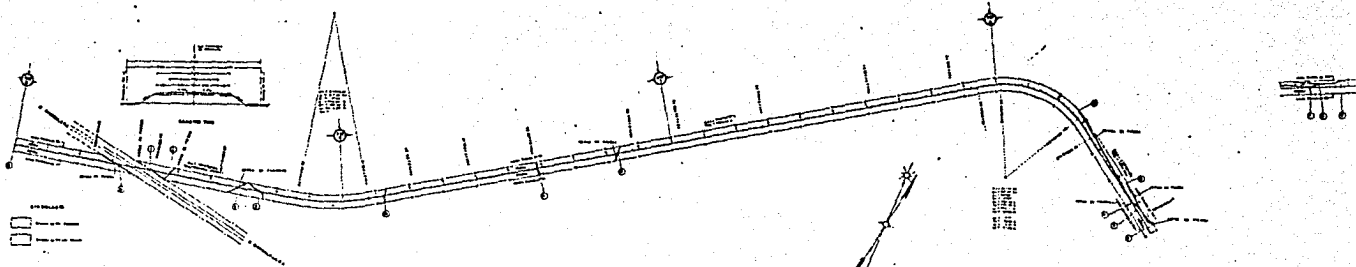
Actualmente los primeros cinco kilómetros se encuentran en operación, reduciendo los tiempos de recorrido de 10 a 5 minutos.

Esperando que con esta rectificación y las que se realicen posteriormente produzcan beneficios de seguridad y comodidad para el transporte carretero, principalmente el de carga el cual se agilizará más expeditamente disminuyéndose los costos de operación de los productos e insumos que por ella se transportan, así como la disminución de accidentes que tantas pérdidas humanas y económicas producen al país.

IX.- B I B L I O G R A F I A .

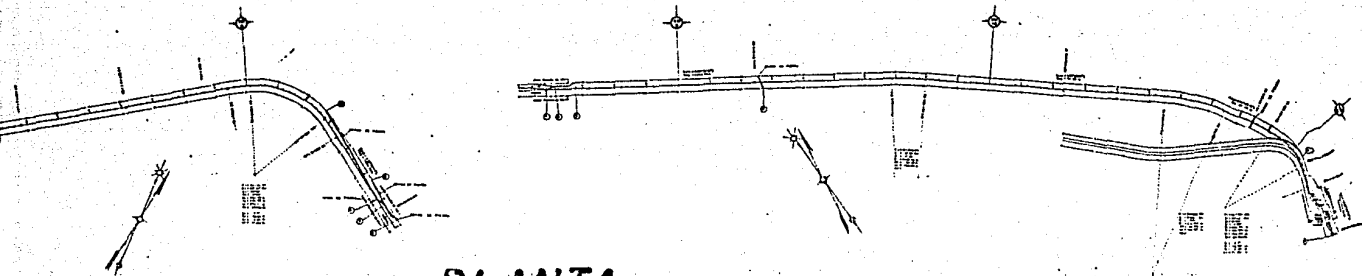
- 1.- MANUAL DE PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS.---
S.O.P. 1971.
- 2.- TOPOGRAFIA.
ING. MIGUEL MONTES DE OCA.
- 3.- LA INGENIERIA DE SUELOS. TOMOS I y II.
ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO
- 4.- VIAS DE COMUNICACION.
CARLOS CRESPO VILLALAZ
- 5.- MANUAL DE CAMINOS VECINALES.
RENE ETCHARREN GUTIERREZ.
- 6.- MANUAL PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE--
CARRETERAS.
SANTIAGO CORRO CABALLERO. UNAM-SAHOP 1980.





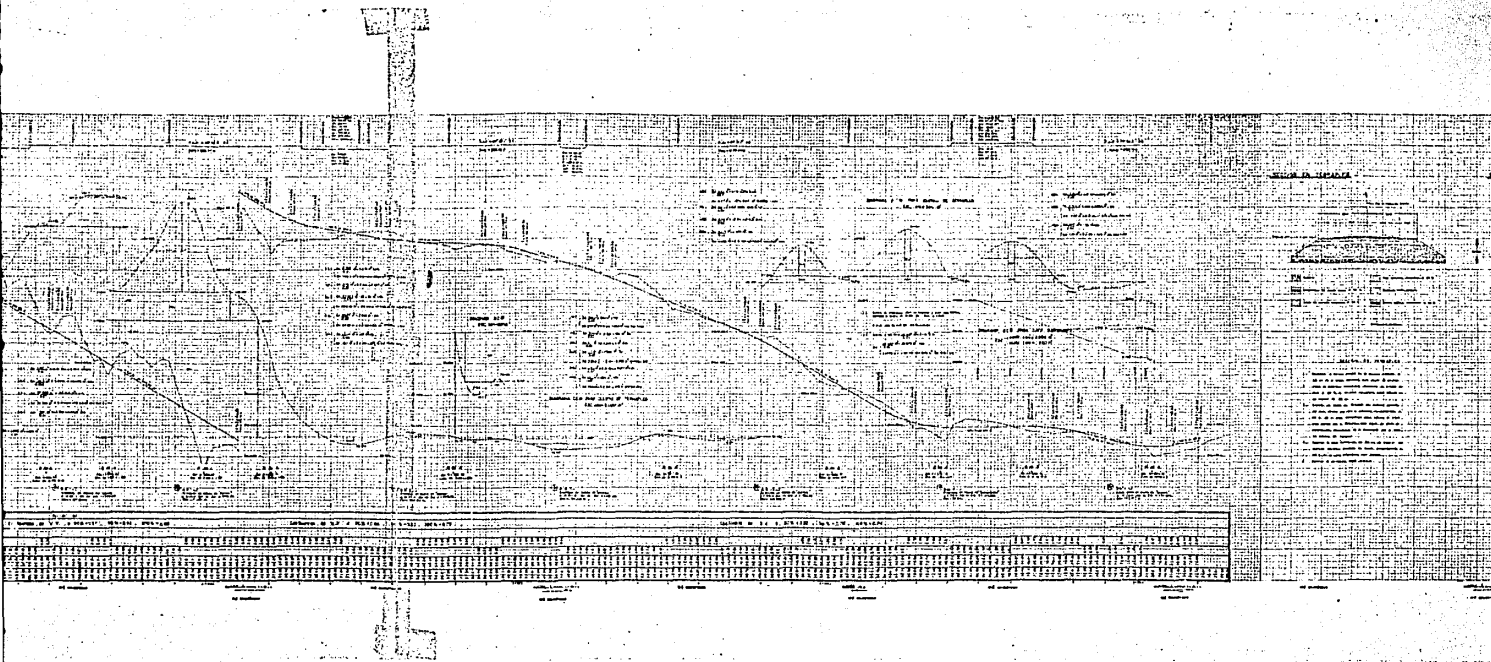
NO.	DESCRIPTION	QUANTITY	UNIT	AMOUNT	PERCENTAGE	AMOUNT	PERCENTAGE	AMOUNT	PERCENTAGE
1-1	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-2	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-3	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-4	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-5	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-6	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-7	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-8	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-9	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-10	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-11	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-12	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-13	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-14	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-15	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-16	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-17	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-18	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-19	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%
1-20	BRIDGE DECK	1,200.00	sq. ft.	1,200.00	100%	1,200.00	100%	1,200.00	100%

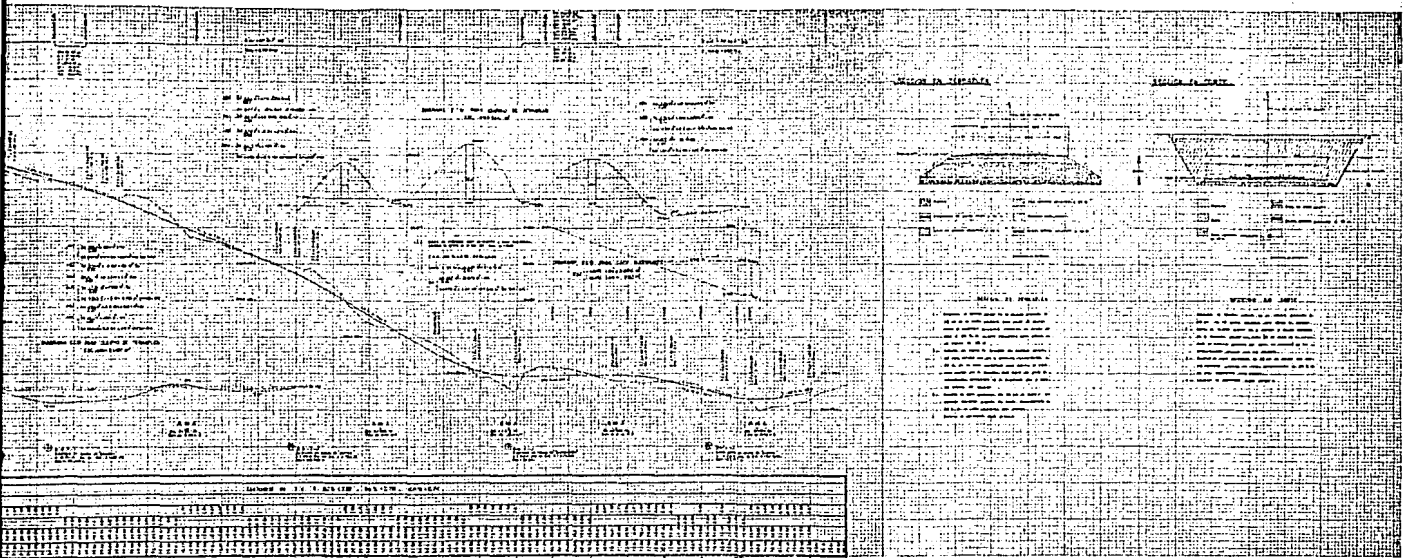
PLANT
TEQUILA - MAGD.
5+000-10+000



PLANTA

TEQUILA - MAGDALENA..
5+000-10+000





DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION
DE VIAS PUBLICAS
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

PLANTA

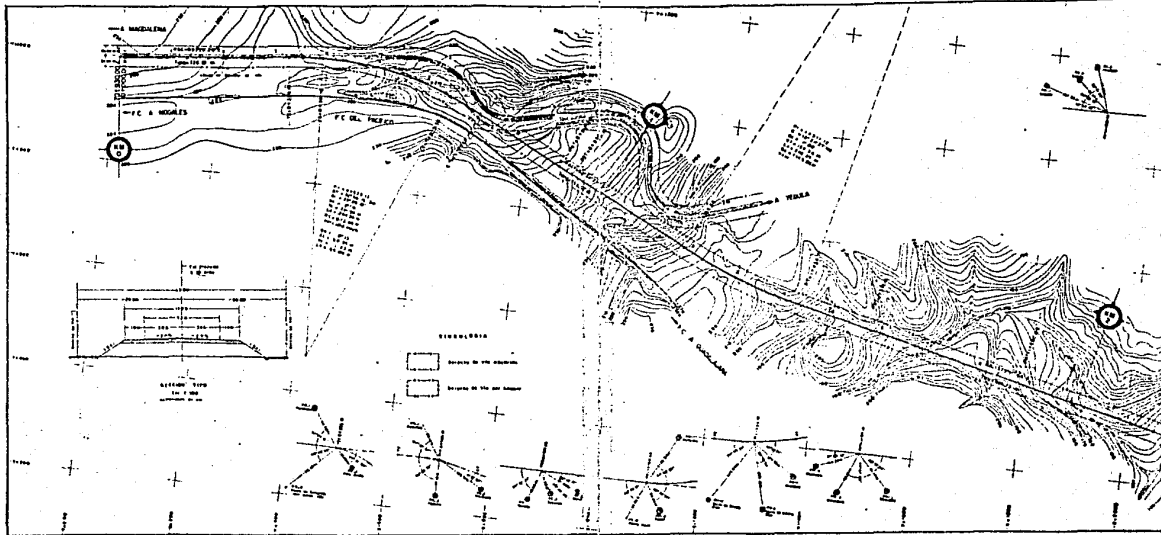
CAMINO MEXICO — NOGALES
TRAMO TEQUILA — MAGDALENA
SUBTRAMO TEQUILA — MAGDALENA
ESTACION 0+000 A 5+000
ORIGEN LOCAL Escala: 0+000-70+930

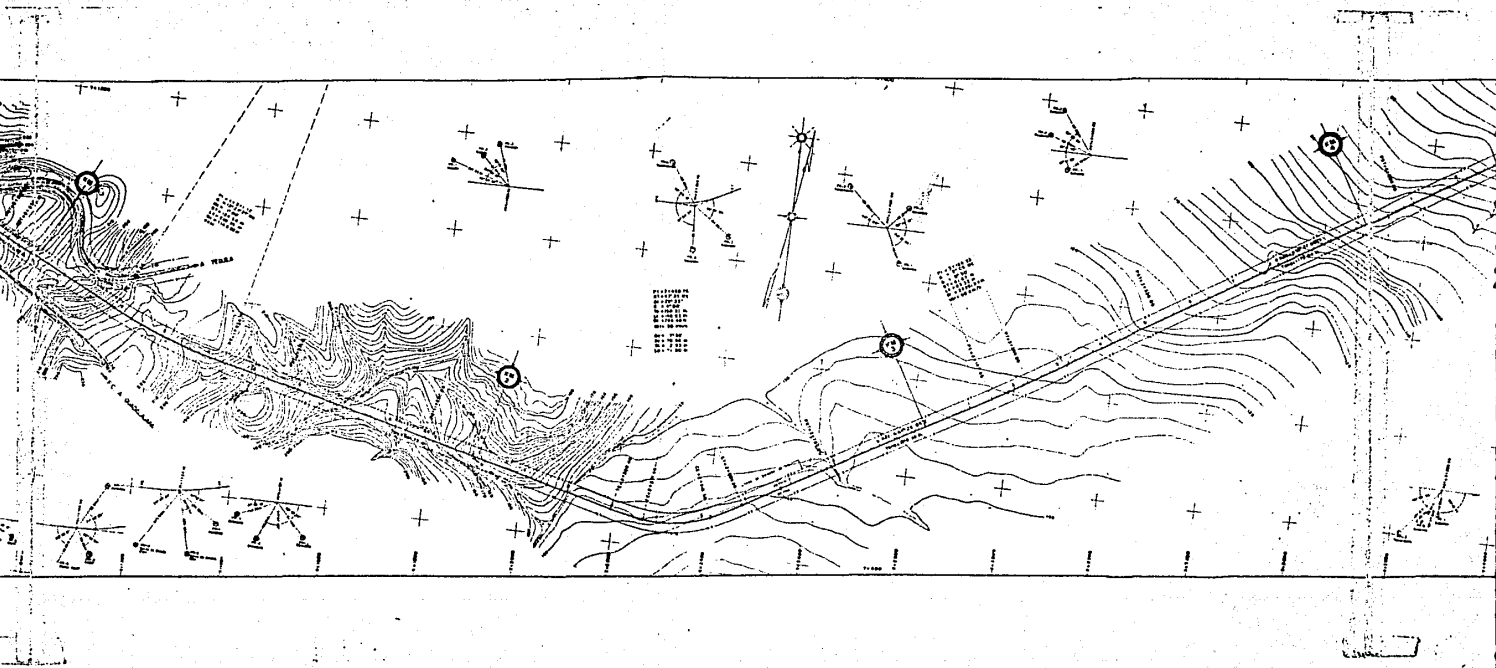
OFICINA DE ESTUDIOS DE CAMPO Y PROYECTO: GUADALAJARA

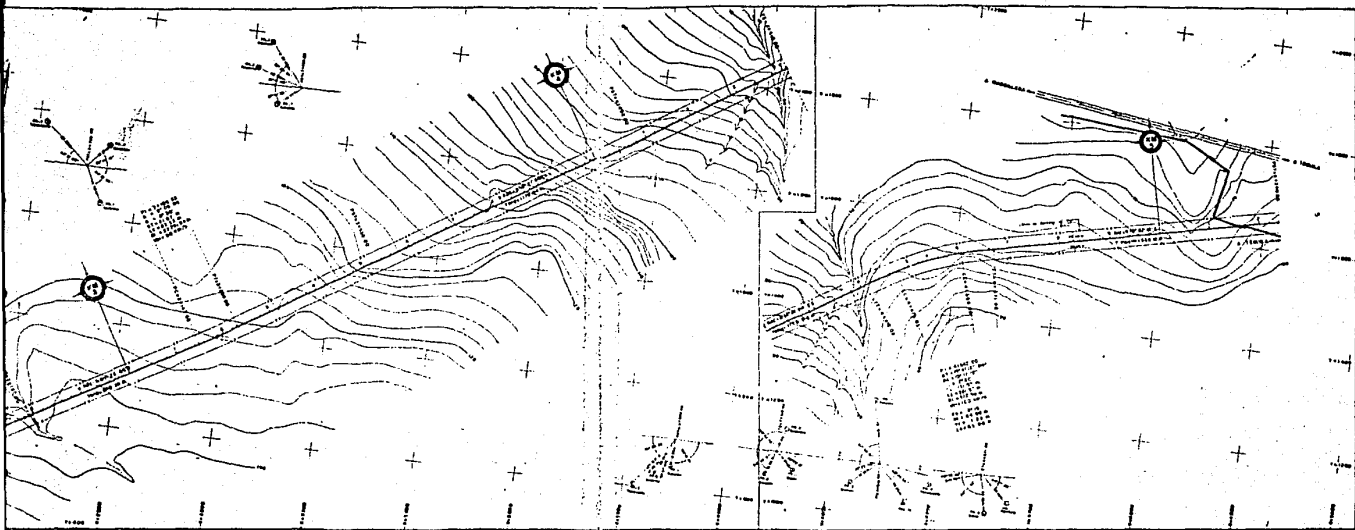
LEONARDO	CALENDAR	DIAGRAMA	PLANOS
EL SITE DE RECEPCION		EL SITE DE LA VIGIA	
EL SITE DEL REPARTIMIENTO		EL SUPLENTE GENERAL	
MOSAS DE SUELO NO. 113		PLANO NO.	

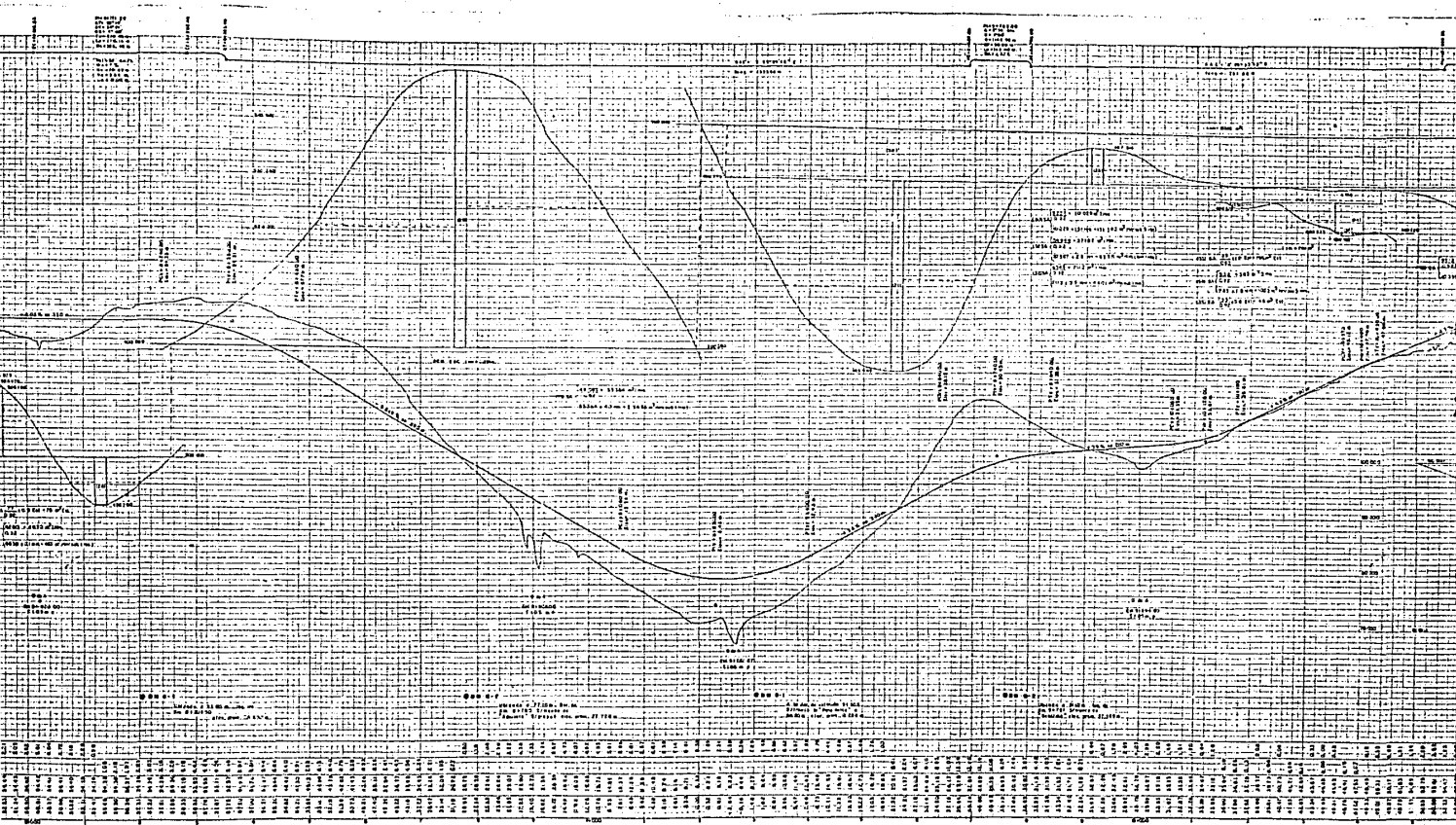
ESPECIFICACIONES PARA PROYECTO

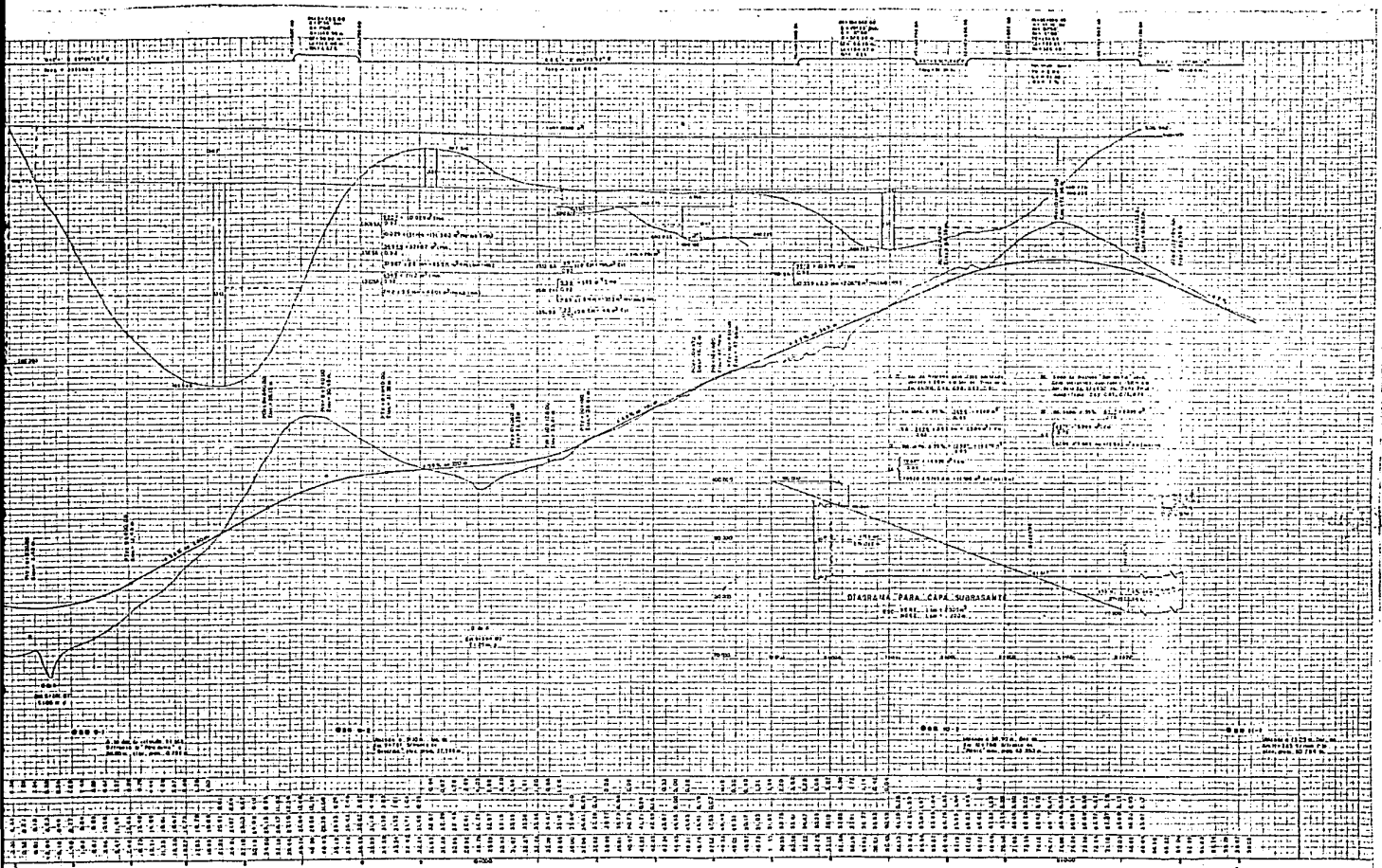
CONCEPTO	UNIDAD	VALOR	VALOR	VALOR
1. Pavimento	m ²	1.00	1.00	1.00
2. Obras de arte	m	1.00	1.00	1.00
3. Obras de saneamiento	m	1.00	1.00	1.00
4. Obras de drenaje	m	1.00	1.00	1.00
5. Obras de señalización	m	1.00	1.00	1.00
6. Obras de iluminación	m	1.00	1.00	1.00
7. Obras de mantenimiento	m	1.00	1.00	1.00
8. Obras de seguridad	m	1.00	1.00	1.00
9. Obras de protección	m	1.00	1.00	1.00
10. Obras de conservación	m	1.00	1.00	1.00
11. Obras de restauración	m	1.00	1.00	1.00
12. Obras de rehabilitación	m	1.00	1.00	1.00
13. Obras de modernización	m	1.00	1.00	1.00
14. Obras de ampliación	m	1.00	1.00	1.00
15. Obras de reconstrucción	m	1.00	1.00	1.00
16. Obras de demolición	m	1.00	1.00	1.00
17. Obras de saneamiento	m	1.00	1.00	1.00
18. Obras de drenaje	m	1.00	1.00	1.00
19. Obras de señalización	m	1.00	1.00	1.00
20. Obras de iluminación	m	1.00	1.00	1.00
21. Obras de mantenimiento	m	1.00	1.00	1.00
22. Obras de seguridad	m	1.00	1.00	1.00
23. Obras de protección	m	1.00	1.00	1.00
24. Obras de conservación	m	1.00	1.00	1.00
25. Obras de restauración	m	1.00	1.00	1.00
26. Obras de rehabilitación	m	1.00	1.00	1.00
27. Obras de modernización	m	1.00	1.00	1.00
28. Obras de ampliación	m	1.00	1.00	1.00
29. Obras de reconstrucción	m	1.00	1.00	1.00
30. Obras de demolición	m	1.00	1.00	1.00











1. Untuk keperluan ini, maka...
 2. Untuk keperluan ini, maka...
 3. Untuk keperluan ini, maka...
 4. Untuk keperluan ini, maka...
 5. Untuk keperluan ini, maka...
 6. Untuk keperluan ini, maka...
 7. Untuk keperluan ini, maka...
 8. Untuk keperluan ini, maka...
 9. Untuk keperluan ini, maka...
 10. Untuk keperluan ini, maka...

DIARAH PANG. CIVIL SURABAYA
 No. 101 - 102 - 103 - 104 - 105 - 106 - 107 - 108 - 109 - 110 - 111 - 112 - 113 - 114 - 115 - 116 - 117 - 118 - 119 - 120 - 121 - 122 - 123 - 124 - 125 - 126 - 127 - 128 - 129 - 130 - 131 - 132 - 133 - 134 - 135 - 136 - 137 - 138 - 139 - 140 - 141 - 142 - 143 - 144 - 145 - 146 - 147 - 148 - 149 - 150 - 151 - 152 - 153 - 154 - 155 - 156 - 157 - 158 - 159 - 160 - 161 - 162 - 163 - 164 - 165 - 166 - 167 - 168 - 169 - 170 - 171 - 172 - 173 - 174 - 175 - 176 - 177 - 178 - 179 - 180 - 181 - 182 - 183 - 184 - 185 - 186 - 187 - 188 - 189 - 190 - 191 - 192 - 193 - 194 - 195 - 196 - 197 - 198 - 199 - 200

1. Untuk keperluan ini, maka...
 2. Untuk keperluan ini, maka...
 3. Untuk keperluan ini, maka...
 4. Untuk keperluan ini, maka...
 5. Untuk keperluan ini, maka...
 6. Untuk keperluan ini, maka...
 7. Untuk keperluan ini, maka...
 8. Untuk keperluan ini, maka...
 9. Untuk keperluan ini, maka...
 10. Untuk keperluan ini, maka...