

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"**

**"PROYECTO GEOMETRICO DE LA AUTOPISTA
MÉXICO-TUXPAN
Km. 183+000 AL 190+000, ORIGEN ECATEPEC,
ESTADO DE MÉXICO."**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A N:

**CRUZ PÉREZ JORGE
SERRANO CASTAÑÓN ERIK**

ASESOR: ING. RICARDO NUÑEZ VAZQUEZ



MÉXICO, D.F.

MAYO DEL 2006.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



INDICE

1. PROLOGO	1
1.1. INTRODUCCIÓN	4
2. ESTUDIOS TOPOGRAFICOS PRELIMINARES	6
2.1 PROCESO DE RECONOCIMIENTO	6
2.2 BRIGADA DE RECONOCIMIENTO	6
2.2.1 EQUIPO	6
2.2.2 PROCESO DEL LEVANTA	7
2.3 LEVANTAMIENTO CONFIGURADO	7
2.3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS CURVAS DE NIVEL	8
2.4 TRAZO, NIVEL Y SECCIONES	9
2.4.1 TRAZO PRELIMINAR	9
2.4.1.1 BRIGADA DE TRAZO	10
2.4.1.2 EQUIPO	10
2.4.1.3 TRAZO DE CURVAS HORIZONTALES	13
2.4.2. NIVELACIÓN PRELIMINAR	14
2.4.2.1 BRIGADA DE NIVELACIÓN	16
2.4.2.2 EQUIPO	16
2.4.3 SECCIONES TRANSVERSALES PRELIMINARES	17
2.4.3.1 METODO DE SECCIONES TRANSVERSALES POR ACCIDENTES TOPOGRAFICOS	17
2.4.3.2. SECCIONES TRANSVERSALES POR EL METODO DE COTA REDONDA	19
2.4.3.3 BRIGADA DE SECCIONES TRANSVERSALES	21
2.4.3.4 EQUIPO	21
2.5 TRAZO, NIVEL Y SECCIONES PRELIMINARES FOTOGRAFOMETRICOS	24
3. ESTUDIOS TOPOGRAFICOS DEFINITIVOS	27
3.1 TRAZO DE LAS LINEAS DEFINITIVAS	27
3.1.1 TANGENTES	27
3.2 TRAZO DE CURVAS HORIZONTALES	28
3.2.1 EJEMPLO DE CÁLCULO DE UNA CURVA CIRCULAR SIMPLE	30
3.2.2 CURVAS DE TRANSICION	34
3.2.3 EJEMPLO DE CÁLCULO DE UNA CURVA DE TRANSICIÓN.	37
3.3 REFERENCIAS DEL TRAZO	43
3.4 NIVELACION DE LAS RAMAS DEFINITIVAS	46
3.5 SECCIONES TRANSVERSALES DEL EJE DE PROYECTO	48
3.5.1 DERECHO DE VIA	48
3.6 PLANOS TOPOGRÁFICOS POR COORDENADAS	49



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4. GEOTECNIA	53
4.1 NATURALEZA, CLASIFICACIÓN Y ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL SUELO.	53
4.1.1 NATURALEZA	53
4.1.2 CLASIFICACIÓN	53
4.1.2.1 SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS UTILIZADO EN LA S.C.T.	54
4.1.3 ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL SUELO	61
4.1.4 REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA	67
4.2 BANCOS DE PRÉSTAMOS DE MATERIALES	69
4.3 LOCALIZACION, EXPLORACION Y MUESTREO	69
4.3.1 LOCALIZACIÓN	69
4.3.2 EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE BANCOS	70
4.4 EMPUJES Y TEORIAS CLÁSICAS DE CÁLCULO	77
4.4.1 CRITERIO DE FALLA MOHR – COULOMB	77
4.4.2 TEORÍA DE RANKINE EN SUELOS FRICCIONANTES.	80
4.4.3 TEORÍA DE RANKINE EN SUELOS COHESIVOS.	81
4.4.4 TEORÍA DE RANKINE EN SUELOS CON “COHESIÓN Y FRICCIÓN”.	82
4.4.5 TEORIA DE COULOMB PARA SUELOS FRICCIONANTES	83
4.4.6 TEORIA DE COULOMB PARA SUELOS CON COHESIÓN Y FRICCION	86
4.4.7 METODO SEMI - EMPIRICO DE TERZAGHI	87
4.4.8 METODO GRAFICO DE CULMANN	91
4.5 PRUEBAS DE LABORATORIO	94
4.5.1 MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE PLASTICIDAD	94
4.5.2 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL LÍMITE LÍQUIDO	95
4.5.3 LÍMITE PLÁSTICO	96
4.5.4 VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR (V.R.S. std.)	97
4.5.5 EQUIVALENTE DE ARENA	99
4.5.6 PRUEBA TRIAXIAL RAPIDA	101
4.5.7 RESISTENCIA A LA ABRASION O DESGASTE DE LOS AGREGADOS	103
4.5.8 VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR (V.R.S. std.)	105
4.5.9 COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR).	107
4.5.10 PRUEBA PORTER	110
4.6 COMPACTACIONES Y REPORTE GEOTÉCNICO	114
4.6.1 COMPACTACIONES	114



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4.6.2 INFORME DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS	127
5. DRENAJE	134
5.1 DRENAJE SUPERFICIAL	134
5.2 DRENAJE LONGITUDINAL	135
5.3 OBRAS DE CAPTACIÓN Y DEFENSA.	135
5.4 DRENAJE TRANSVERSAL	140
5.5 OBRAS DE CRUCE	140
5.6 DIFERENTES TIPOS DE ALCANTARILLA	157
5.7 EJEMPLOS NUMÉRICOS	160
5.7.1 METODO RACIONAL	160
5.7.2 DISEÑO Y CÁLCULO DE UN TUBO DE CONCRETO	166
5.7.3 DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA LOSA DE CONCRETO	170
5.7.4 DISEÑO Y CÁLCULO DE UN ESTRIBO DE MAMPOSTERÍA	179
5.8 SUBDRENAJE	191
5.8.1 AGUA SUBTERRÁNEA	191
5.9 DRENAJE SUBTERRÁNEO	191
5.10 PROBLEMAS DEL SUBDRENAJE	194
5.11 DRENAJE SIN OBRAS AUXILIARES	195
5.12 DRENAJE CON OBRAS AUXILIARES	197
5.13 DRENAJE INTERCEPTOR DE ESCURRIMIENTO	198
5.14 METODOS DE SUBDRENAJE	198
5.15 GEOTEXTILES	211
5.16 APLICACIÓN DE LOS DIVERSOS TIPOS DE DRENES	214
5.17 ESCURRIMIENTOS LONGITUDINALES	217
5.18 DATOS DE CAMPO	220
6. PROYECTO DE SUBRASANTE	222
6.1.- GENERALIDADES	222
6.2.- ELEMENTOS QUE DEFINEN EL PROYECTO DE LA SUB-RASANTE	249
6.3.- CONDICIONES TOPOGRAFICAS Y GEOTECNICAS.	249
6.3.1.- CONDICIONES TOPOGRAFICAS	249
6.3.2.- CONDICIONES GEOTECNICAS	251
6.4.- SUB-RASANTE MINIMA.	251
6.5.- LIGA DE SUB-RASANTES	252
6.6.- CÁLCULO TRADICIONAL Y ELECTRONICO.	254
6.6.1 CALCULO TRADICIONAL.	254
6.6.2.- CÁLCULO ELECTRONICO	259
6.7 OPERACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS	267



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



7. CURVA MASA	303
7.1 DEFINICION	303
7.2 OBJETIVOS	308
7.3 COMPENSACION DE VOLUMENES DE CORTE Y TERRAPLEN	309
7.4 FIJACION DE LA LINEA COMPENSADORA MÁS ECONOMICA.	311
7.5 PROCEDIMIENTO GRAFICO Y MATEMATICO.	311
7.5.1 PROCEDIMIENTO GRAFICO	311
7.5.2 PROCEDIMIENTO MATEMATICO.	312
7.6 ACARREOS DE DISTANCIA LIBRE Y SOBRECARREROS	322
7.6.1 ACARREOS	322
7.6.2 ACARREO DE DISTANCIA LIBRE	322
7.6.3 DISTANCIA MEDIA DE SOBRECARRERO	323
7.7 PRÉSTAMOS LATERALES Y DE BANCO	325
7.7.1 PRESTAMOS LATERALES	325
7.7.2 PRESTAMOS DE BANCO	325
7.8 DESPERDICIOS Y TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES	325
7.9 MAQUINARIA Y EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCION DE TERRACERIAS	329
7.9.1 IDENTIFICACION FUNCIONAL DE LA MAQUINARIA Y/O EQUIPO	329
7.9.2. IDENTIFICACION DE TRABAJO DEL EQUIPO.	330
7.9.2.1 FACTORES DE SELECCIÓN DEL EQUIPO.	330
7.9.3 DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA.	331
7.9.3.1 TRACTORES.	331
7.9.3.2 MOTOESCREPAS.	333
7.9.3.3. RETROESCAVADORA.	333
7.9.3.4. CARGADORES	335
7.9.3.5. APISONADORAS	336
7.9.3.6. MOTOCONFORMADORAS.	337
7.9.3.7. EQUIPO DE ACARREO	338
7.9.3.8 EQUIPO DE COMPACTACION	339
7.9.3.9 MAQUINARIA PARA PRODUCCIÓN DE MATERIALES.	341
7.9.3.10 PALA MECÁNICA	344
7.9.3.11 ESCREPAS O TRAÍLLAS	345
8. CANTIDADES DE OBRA	346
8.1 IMPORTANCIA DE LAS CANTIDADES DE OBRA.	346
8.2 FORMACIONES DE ESTRUCTURAS Y COMPACTACIONES	354
8.3 ACARREOS	357
8.4 OBSERVACIONES GENERALES	364
8.5 OBSERVACIONES GEOTECNICAS.	365
8.6 FUNDAMENTOS PARA LA INTEGRACIÓN DE UN PRECIO UNITARIO.	365



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



9. PLANOS DEFINITIVOS	367
9.1 DATOS DE PROYECTO	368
9.2 PLANTA FOTOGRAFICA	368
9.3 POLIGONAL DE REFERENCIA Y REFERENCIA DEL TRAZO	368
9.4 GEOMETRÍA DE ALINEAMIENTO HORIZONTAL	369
9.5 PERFIL TOPOGRAFICO	370
9.6 INFORMACION GEOTECNICA Y CLASIFICACIÓN PRESUPUESTAL	370
9.7 OBRAS DE DRENAJE	371
9.8 SUBRASANTE	371
9.9 SOBREELEVACIONES Y AMPLIACIONES PARA ENTRONQUES	371
9.10 CURVA MASA	372
9.11 SECCION TIPO	372
9.12 ACARREOS PARA TERRACERIAS	373
9.13 CANTIDADES DE OBRA	374
9.14 NOTAS COMPLEMENTARIAS	376
10. BIBLIOGRAFÍA	377



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



I. PROLOGO

La humanidad posee por naturaleza una extraordinaria capacidad de evolucionar. El hombre en su eterna curiosidad y búsqueda de mejores condiciones de vida, ha heredado obras para el disfrute de la comunidad.

La cantidad y calidad de estas obras determina la acción requerida, de tal manera que cuando la envergadura de las mismas rebasa la posibilidad de individuo, es necesaria la acción colectiva.

Día a día se abren por todos los rumbos de nuestro país nuevas vías de comunicación que permiten vigorizar y alentar la economía de México.

Los beneficios de carácter socioeconómico que representan las nuevas vías de comunicación son obvios, como lo es también el esfuerzo del Gobierno Federal para cumplir con el compromiso de integrar las zonas económicas de la nación.

La construcción de estas vías de comunicación pueden ser estatales, vecinales o de mano de obra y en ellas interviene la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la cual determina las especificaciones que debe tener el camino, siempre bajo la supervisión de los técnicos especializados de dicha dependencia.

El aumento de la demanda de servicios para transportar personas y mercancías, así como para comunicar regiones y núcleos de población, ha impulsado el crecimiento del sector.

Dentro de la estrategia del Sector Comunicaciones y Transportes se han tomado en cuenta las políticas de los sectores de asentamientos humanos y de transporte, entre los que destacan la contribución al fortalecimiento y desenvolvimiento de nuevos polos de desarrollo, propiciando la creación de nuevos empleos; el aprovechamiento de los recursos turísticos nacionales, que conllevan a la aportación de divisas; el apoyo a la infraestructura del transporte con el establecimiento de nuevas zonas industriales o su expansión, la reducción de costos de transporte y tiempos de recorrido para beneficio de la economía nacional; la reducción del índice de accidentes y mediante el sistema de cuotas, la modernización y expansión de la red de carreteras con especificaciones acordes a las necesidades del país.⁽¹⁾

Las autopistas y puentes han sido factor fundamental en el desarrollo económico, político, social y cultural de México durante los últimos 50 años, ya que han permitido la creación de infraestructuras tan importantes como la educativa, la hidráulica, la agrícola, la urbana y la de salud, entre otras, a la vez que han integrado y comunicado a diversas zonas y regiones, lo que ha facilitado su articulación con el resto de la República.

(1) www.sct.gob.mx



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

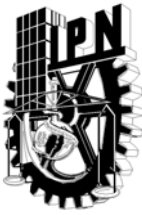


En México, al igual que en otros países que cuentan con sistemas de carreteras, puentes y túneles de cuota de altas especificaciones, los beneficios que estos han aportado a las sociedades a las que sirven son evidentes, al ofrecer a los usuarios ahorros en tiempos de recorrido, consumo de combustibles y desgastes de vehículos, a los que se suman más y mejores servicios que se manifiestan en comodidad, eficiencia y seguridad en sus traslados.

Con una extensión de 365,119 kilómetros, las carreteras de México enlazan por igual tanto a los principales centros de población, que a los de producción y consumo del país. Este sistema carretero cuenta con 5,683 kilómetros de autopistas federales de cuota, y 147,456 kilómetros conforman la red de caminos rurales.

En sus diferentes modalidades, por este sistema se movilizan anualmente más de 2,700 millones de personas y alrededor de 620 millones de toneladas de carga, lo que lo convierte en el principal medio de traslado en el país, equivalente al 60% del tonelaje total de carga que circula por el territorio, y al 98% de los pasajeros. El uso de la red carretera del país se ha quintuplicado de 1960 a la fecha, con un crecimiento anual del 9%. (2) (Fig. I.1).

(2) www.capufe.gob.mx



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



CORREDORES CARRETEROS

SIMBOLOGÍA	
1. MÉXICO-NOGALES CON RAMAL A TIJUANA	
2. MÉXICO-NUÉVO LAREDO CON RAMAL A PIEDRAS NEGRAS	
3. QUERÉTARO-CD. JUÁREZ	
4. VERACRUZ-MONTERREY CON RAMAL A MATAMOROS	
5. PUEBLA-PROGRESO	
6. MAZATLÁN-MATAMOROS	
7. PUEBLA-OAXACA-CD. HIDALGO	
8. MANZANILLO-TAMPICO CON RAMAL A L. CÁRDENAS Y ECUANUIREO	
9. TRANSISTMICO	
10. ACAPULCO-TUXPAN	
11. ACAPULCO-VERACRUZ	
12. ATLITPLANO	
13. TRANSPENINSULAR DE BAJA CALIFORNIA	
14. PENINSULAR DE YUCATAN	

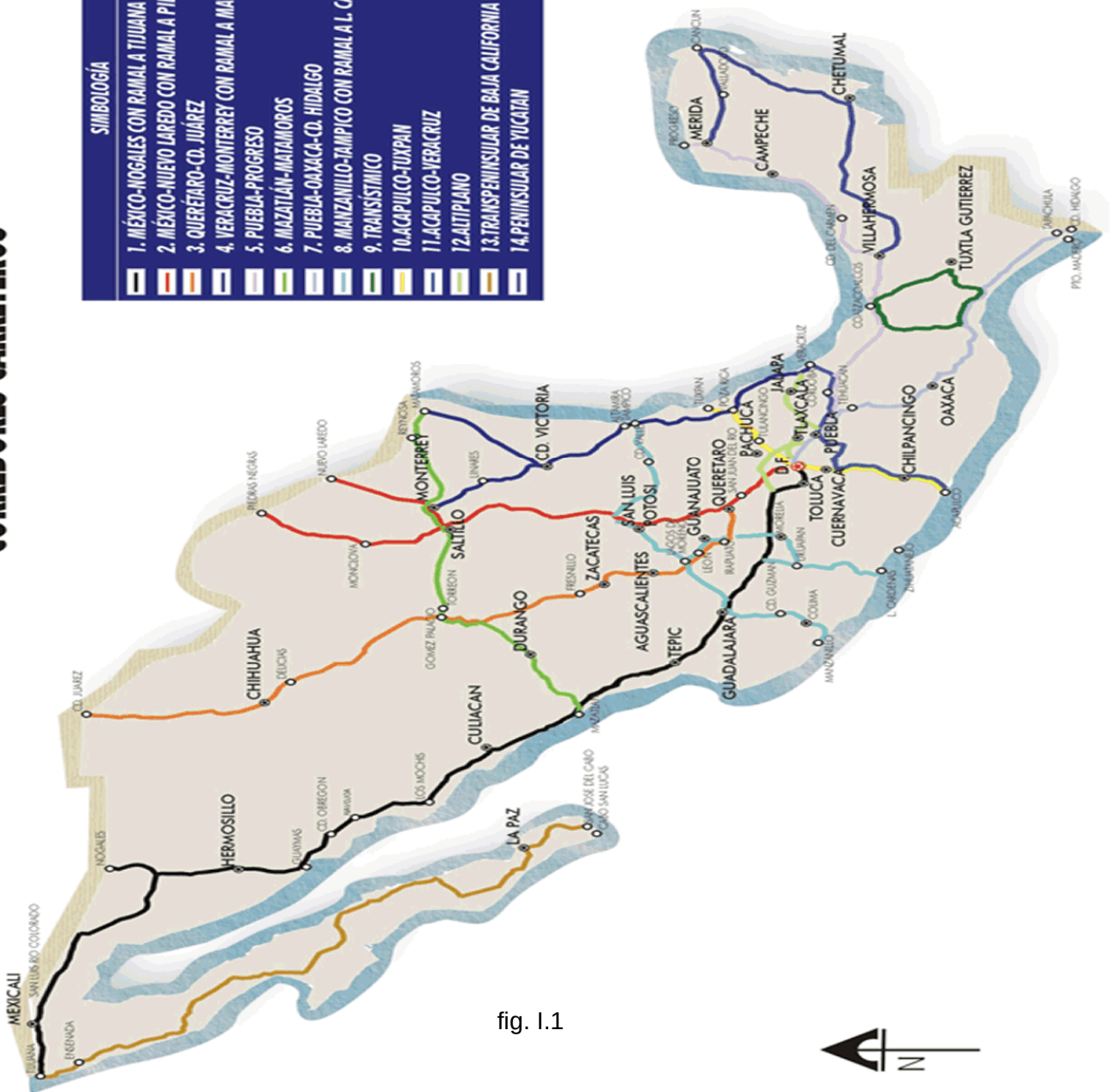


fig. I.1



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



I.1 INTRODUCCIÓN

El origen de la Autopista México-Tuxpan, nace en Ecatepec de Morelos, Estado de México, el camino se va desarrollando y se van incorporando localidades y municipios importantes de los estados de México, Hidalgo y Puebla; los cuales se presentan de la siguiente manera: Pirámides Estado de México (accesa en el Kilómetro 20), Ciudad Sahagun Hidalgo (accesa en el kilómetro 52), Epazóyucan Hidalgo (accesa en el Kilómetro 62), Pachuca Hidalgo (accesa en el Kilómetro 82), Tulancingo Hidalgo (accesa en el Kilómetro 88), Santa Ana Hureytlalpan Hidalgo (accesa en el Kilómetro 104), Huachinango Puebla (accesa en el Kilómetro 140), Nuevo Necaxa Puebla (accesa en el kilómetro 140), Xicotepec Puebla (accesa en el Kilómetro 152), Ávila Camacho (accesa en el Kilómetro 179), Mecapalapan Puebla (accesa en el Kilómetro 191), Poza Rica Veracruz (accesa en el Kilómetro 226), Veracruz (accesa en el Kilómetro 230).

Las diferentes etapas del desarrollo del proyecto del cual trata la tesis, se abordaran de la siguiente manera:

ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PRELIMINARES.

Obtener datos topográficos necesarios, que nos servirán de base para las propuestas, y así poder dar una posible solución a la vía.

ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS DEFINITIVOS.

Al determinar la solución más viable de las propuestas presentadas, se procede a la realización de los trabajos topográficos definitivos del proyecto.

GEOTECNIA.

Estos estudios nos definirán el tipo de suelo que se tiene, sus características, propiedades físicas y químicas; y así saber si es necesario mejorar sus propiedades de acuerdo a la necesidad del proyecto.

DRENAJE.

Por medio de estos estudios se podrá dar una solución a los escurrimientos que se tendrán dentro del trazo, por medio de los diferentes tipos de obras de acuerdo a las necesidades que se tengan.

PROYECTO DE SUBRASANTE.

De acuerdo al perfil obtenido en los estudios topográficos definitivos, se procede al cálculo de la subrasante, considerando la subrasante mínima aplicada para disminuir tanto cortes como terraplenes, ya que influye de manera importante en el costo final de la obra.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



CURVA MASA.

La curva masa es la representación grafica de los volúmenes de corte y los de terraplén, que se presentan en el proyecto, y poder determinar el cálculo de la distancia de acarreo a que se pagaran estos movimientos de tierra.

CANTIDADES DE OBRA.

Aquí se presentan los diferentes conceptos que se desarrollaron dentro de la construcción de la vía, y los volúmenes totales de los mismos, que servirán para la elaboración del presupuesto de obra.

PLANOS DEFINITIVOS.

Es la representación grafica de todos los estudios realizados para la elaboración del proyecto; como planta topográfica, perfiles y secciones de construcción, para ubicar en ellos drenaje, bancos de nivel y zonas críticas.



2. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PRELIMINARES

2.1 PROCESO DE RECONOCIMIENTO

Esto se realiza en gabinete con ayuda de cartas geográficas, al estudiar estas cartas el ingeniero se da una idea de las características principales de la región, sobre todo en lo que respecta a la topografía, hidrología y las poblaciones; lo cual nos permite ir fijando los puntos obligados, de esta manera es posible señalar en las cartas, varias rutas posibles para el trazo del camino.

Una vez representadas las posibles rutas en las cartas geográficas se inicia propiamente el trabajo de campo

2.2 BRIGADA DE RECONOCIMIENTO

Para realizar el reconocimiento necesitamos una brigada que cuente con uno o dos ingenieros capaces de recabar todos los datos convenientes tanto de las características superficiales de la zona como de la geología del lugar.

2.2.1 EQUIPO

El reconocimiento se lleva a cabo con el siguiente equipo: brújula de mano, clisímetro, odómetro, machetes, hachas. También se pueden llegar a utilizar equipos topográficos más avanzados como tránsito, niveles fijos o en su defecto las estaciones totales.



Fig. 1 www.sokkia.com



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



2.2.2 PROCESO DEL LEVANTAMIENTO

La brigada se guiará sobre la ruta marcada en las cartas geográficas con el objetivo de recabar información suficiente para realizar un trazo preliminar; entre los datos que se deberán obtener se enlistan a continuación:

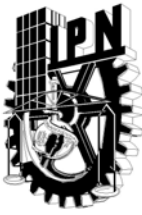
- La ubicación del camino; esto es localizar el rumbo general de la línea con ayuda de la brújula.
- Obtención de pendientes longitudinales y pendientes transversales; entre los puntos obligados tomadas con el clisímetro, con esto se puede ir obteniendo la pendiente preeliminar que deberá tener el camino
- Elevaciones; de los puntos obligados que sean característicos del terreno que también se pueden obtener con el clisímetro.
- Distancias entre los puntos obligados; que se pueden obtener con la ayuda del odómetro del vehículo de apoyo.
- Condiciones climatológicas del lugar
- Datos geológicos de la zona
- Datos generales de hidrología
- Ubicación de puntos importantes: centros turísticos, zonas agrícolas, barrancas, ríos, propiedades, poblaciones, etc.

2.3 LEVANTAMIENTO CONFIGURADO

Las cartas geográficas nos muestran la configuración del terreno, la cual nos servirá para el proyecto del camino, en donde podemos encontrar una serie de elevaciones a las que llamamos curvas de nivel.

Una curva de nivel es una línea imaginaria cerrada que une puntos de igual cota o elevación.

Una equidistancia es la separación vertical que existe entre dos curvas de nivel consecutivas. Se suelen manejar diferentes equidistancias dependiendo claramente de lo accidentado del terreno: las equidistancias generalmente más usadas son de 0.50, 1.00, 2.00 ó 5.00 metros.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

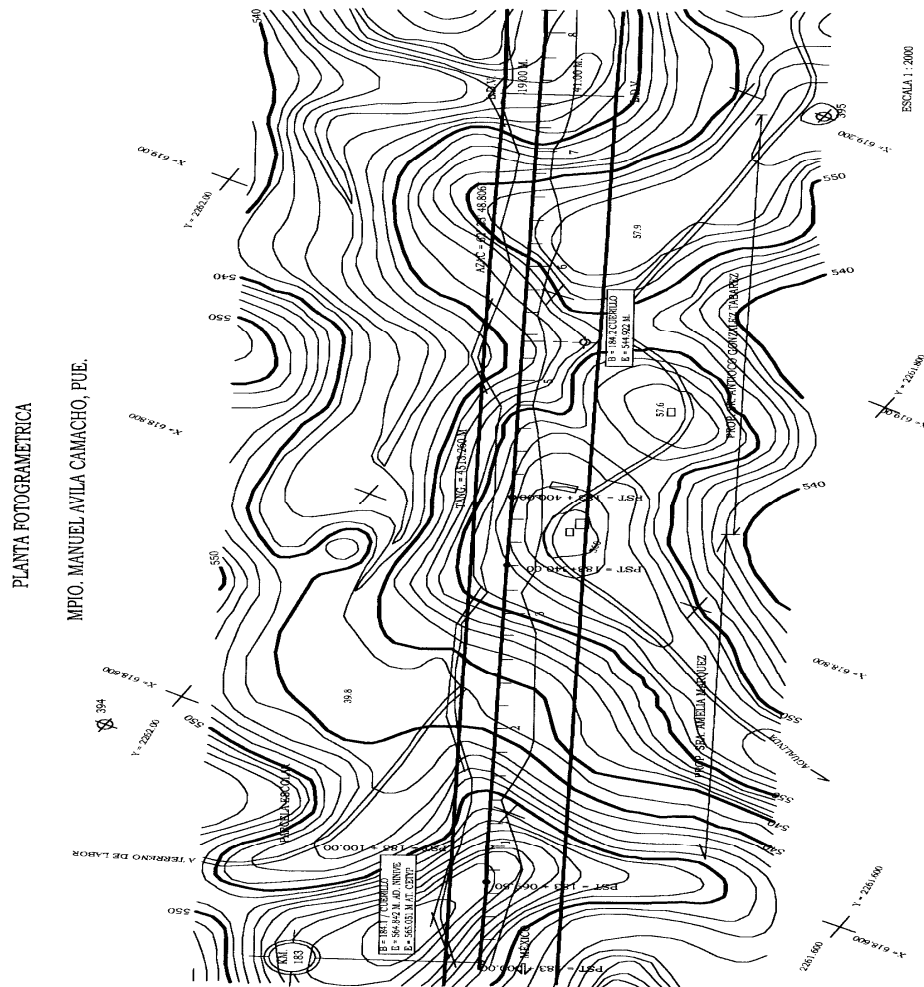


FIG. 2. TOPOGRAFÍA DE TERRENO NATURAL CON CURVAS DE NIVEL

2.3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS CURVAS DE NIVEL

- 1.- Toda curva debe cerrar sobre sí misma.
- 2.- Las curvas no se pueden juntar ó cruzar porque representan diferentes cotas de terreno.
- 3.- La distancia horizontal entre dos curvas de nivel consecutivas es inversamente proporcional a la pendiente.
- 4.- Si el espaciamiento entre las curvas es amplio la pendiente es suave, sí es muy estrecho la pendiente es fuerte.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Para obtener la configuración del terreno existen diferentes métodos, pero el más común es el método de las secciones transversales el cual se describe más adelante en el Tema 2.4.3.

2.4 TRAZO, NIVEL Y SECCIONES

2.4.1 TRAZO PRELIMINAR

Ya estudiado el terreno, se procede a trazar la poligonal abierta que pasará por todos los puntos obligados que se localizaron tanto en el reconocimiento como en las cartas geográficas.

Se empieza en un punto inicial u origen; sobre la línea se irán clavando estacas a cada 20.00 metros así como en lugares con accidentes topográficos notables hasta llegar al siguiente vértice ó PI. Sucesivamente se trabajará así a lo largo de todas las líneas hasta encontrar el punto final o destino.

El trazo preliminar es la base para obtener el trazo definitivo por lo que es de gran importancia marcar todos los accidentes topográficos de una manera cuidadosa para con esto realizar una serie de presupuestos preliminares de la obra y poder elegir la ruta mas adecuada, la línea puede ser modificada tantas veces como lo requiera el proyecto y que en gabinete se marca sobre las cartas geográficas en color azul.

A continuación se describe el proceso de trazo en campo, el cual se hace por medio del método de las deflexiones:

- a) Se coloca el aparato en el cadenamiento 0 + 000 u origen, teniendo en coincidencia los ceros del limbo y del vernier así como el Norte Magnético, una vez teniendo en coincidencia el Norte Magnético con los ceros del aparato, se fija la aguja de la brújula y se aprieta el tornillo del movimiento particular.
- b) Utilizando el movimiento general se visa el primer PI o PST del camino y se suelta la aguja de la brújula, obteniendo de esta manera el Rumbo Magnético de la primera línea.
- c) Una vez marcada la primera línea, los cadeneros comienzan a desplazarse hacia el primer PI en distancias consecutivas de 20.00 m., esto en caso de que el terreno sea sensiblemente plano; en caso contrario los cadeneros tendrán que ubicarse en los accidentes topográficos más notables para poder tener una referencia adecuada de su ubicación.
- d) En caso de que desde el origen no sea posible alinear a los cadeneros para que lleguen al PI, el aparato puede ser colocado en una estación intermedia ya ubicada para poder continuar con el alineamiento de esta tangente. Lo anterior se hace colocando el aparato en dicha estación, se visa el Origen o una estación intermedia de atrás con el anteojo en posición inversa, una vez localizada la estación anterior se da vuelta al anteojo para que quede en posición directa y se pueda continuar alineando a los cadeneros hasta que lleguen al PI de adelante.
- e) Ya que los cadeneros hallan llegado al PI siguiente, el aparato tendrá que trasladarse a este punto, una vez ubicado en el PI, se visara el Origen o PI anterior con el anteojo en posición inversa (esto es para no perder la línea anterior), una vez ubicado el PI anterior se coloca el anteojo del aparato en posición directa y se marca en el limbo la deflexión correspondiente a la línea siguiente.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- f) Los cadeneros volverán a marcar estaciones a cada 20.00 m. o a la distancia que se requiera, hasta llegar al siguiente PI. Los puntos c.), d.) y e.) se repetirán las veces que sea necesarias hasta encontrar el destino o final del camino.

Cabe mencionar que cada una de las estaciones, ya sean intermedias o PI's deberán materializarse, dicha materialización puede ser realizada por medio de estacas de madera o testigos de concreto (mojoneras), cada una de estas marcas o señalizaciones deberá tener escrito tanto el cadenamiento o kilometraje de la línea como la simbología del punto (PI o PST), a su vez de que deberán estar perfectamente referenciadas, ya que en ocasiones las estaciones se pueden perder o mover de lugar. El tema de Referencias de Trazo se tratará en el tema de Trazo Definitivo. (1)



Fig. 3 www.grupottq.com.mx

2.4.1.1 BRIGADA DE TRAZO

Para realizar el trazo se tiene una brigada, que consta de un ingeniero trazador, cadeneros y peones.

2.4.1.2 EQUIPO

Para trazar nuestras líneas se utiliza el siguiente equipo: transitó, cinta, balizas, marro, trompos, estacas, machetes, etc. Para realizar el trazo también pueden ser utilizadas las estaciones totales convencionales.

(1) "Apuntes de Topografía", Núñez Vázquez Ricardo; ESIA - IPN (1997, 1998)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Fig. 4 www.sokkia.com



Fig. 5 www.sokkia.com

A continuación se muestra el formato que se utiliza para la elaboración del Registro de Trazo:
Columna 1 - ESTACION: Se refiere al cadenamiento o kilometraje de una estación en particular.

Columna 2 - PUNTO VISADO (PV): Es el punto siguiente que estamos observando desde una dicha estación.

Columna 3 - DEFLEXIÓN: Es el ángulo comprendido entre dos líneas o tangentes, el cual se obtiene de la siguiente forma: se coloca el aparato en el PI comprendido entre las dos tangentes, se visara el Origen o PI anterior con el anteojo en posición inversa (esto es para no perder la línea anterior), una vez ubicado el PI anterior se coloca el anteojo del aparato en posición directa y se marca en el limbo la deflexión correspondiente a la línea siguiente ó las deflexiones de las curvas calculadas.

Columna 4 - DATOS DE LA CURVA: En esta columna se escribirán los datos de curvas que existan en el camino. Los datos que debe contener esta columna son: Punto de Inflexión, Deflexión entre tangentes, Grado de la Curva, Radio de la Curva, Longitud de Subtangente y Longitud de la Curva. Los datos antes mencionados se obtienen de los trabajos de cálculo en gabinete.

Columna 5 - RUMBO MAGNETICO OBSERVADO: Se colocará en esta columna el Rumbo Magnético Observado para cada línea del trazo. Este rumbo se obtiene leyendo el ángulo que forma la dirección de cada línea con respecto al Norte Magnético.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Columna 6 - RUMBO ASTRONÓMICO CALCULADO (RAC): Se refiere al Rumbo Astronómico Calculado de cada línea de nuestro trazo, El RAC resulta de la resta o suma del RMO y la Declinación Magnética (ζ), esta declinación tendrá que ser calculada para cada lugar en específico por medio de una Orientación Astronómica. La Declinación Magnética se restará si el RMO es SE o NW, y se sumará si el RMO es NE o SW. En nuestro caso la declinación magnética tiene un valor de $08^{\circ} 23' 00''$.

Columna 7 – NOTAS: En este espacio se anotarán todo tipo de detalles que puedan influir en la construcción del camino; como pueden ser: líneas de conducción, ríos, barrancas, cercas, linderos de propiedades, construcciones, etc.

2.4.1.3 TRAZO DE CURVAS HORIZONTALES

Una vez obtenido el trazo preliminar se procede al cálculo y trazado de las curvas horizontales, las cuales pueden ser circulares simples o circulares con espirales de transición. Las curvas horizontales nos servirán para unir dos tangentes consecutivas de nuestro trazo.

El trazo en campo de las curvas horizontales se lleva a cabo comúnmente por el método de las deflexiones y el equipo que se utiliza para el trazo de las curvas es el mismo que se ocupa para el trazo de las tangentes

Una vez realizados los trabajos de gabinete para el cálculo de la curva se realizan los siguientes trabajos:

- a) Se centra el aparato en el PI de la curva en cuestión, se visa el PI anterior o en su defecto un PST de la tangente de atrás, se mide la distancia denominada como ST del PI de la curva hacia el PI o PST anterior encontrando así el punto conocido como PC, procurando que este quede bien señalizado en el terreno, ya sea con una estaca o trompo; del mismo modo para encontrar el PT se realizan los mismos pasos, solo que esta vez se realizarán sobre la tangente de adelante del PI de la curva.
- b) Una vez encontrados los puntos PC y PT, el aparato utilizado para el trazo (comúnmente es un tránsito), se coloca en el PC visando hacia el PI y poniendo en coincidencia los ceros tanto del limbo como del vernier.
- c) Una vez realizado esto se fija el movimiento general del aparato y se procede a la localización de la primera estación de la curva, la cual se obtiene midiendo la longitud de la primera cuerda en la dirección que nos arroje de la primera deflexión total, la cual se inscribe en el limbo del aparato.
- d) Para la localización de las siguientes estaciones de la curva se inscribirá en el limbo la deflexión total correspondiente, la cual al ser interceptada con la longitud de cuerda (que se tomara a partir de la estación anterior) nos dará la localización de la estación en cuestión.

Cabe hacer mención de que no en todas las ocasiones es posible realizar el trazo de toda la curva desde el PC; en estos casos se realiza lo siguiente:

- a) Se cambia el aparato a una estación previamente localizada sobre la curva, se visará hacia el PC o hacia cualquier otra estación de la curva con el anteojo en posición inversa.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



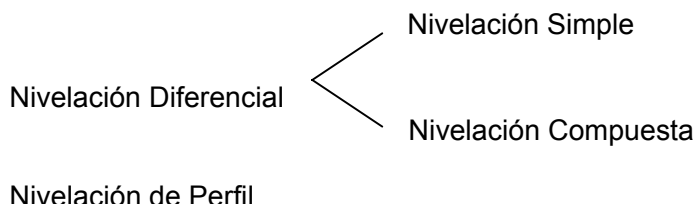
- b) Dadas estas condiciones se procede a dar vuelta de campana al anteojo e inscribir en el limbo la deflexión correspondiente a la siguiente estación, remarcado que esta deflexión será la misma que se calculó en la tabla de construcción.
- c) Se seguirá el trazo de las estaciones faltantes con el procedimiento que se menciono anteriormente hasta encontrar la estación que corresponda al PT de la curva. (2)

El ejemplo del cálculo de curvas horizontales circulares simples y curvas horizontales circulares con espirales de transición se mostrara más adelante en los trabajos de trazo definitivo.

2.4.2. NIVELACIÓN PRELIMINAR

Ya establecida línea a seguir se procede a la nivelación, que consiste en realizar el perfil preliminar del camino, determinando cada una de las cotas de las estaciones del trazo.

Existen varios métodos para elaborar dicha nivelación, entre los cuales se encuentran:



La Nivelación Diferencial: es aquella donde se determinan las elevaciones de ciertos puntos sin importar la distancia entre ellos.

La Nivelación de perfil: determina la elevación de puntos establecidos pero toma en cuenta la distancia que existe entre ellos, con la finalidad de obtener el perfil del terreno nivelado.

Para nuestro trabajo utilizaremos la Nivelación de Perfil, la cual describiremos a continuación:

- a) Teniendo establecidos los cadenamientos a cada 20.00 m. que se marcaron en el trazo de las tangentes, se procede a colocar el aparato utilizado (que puede ser un nivel fijo o un tránsito), en un lugar conveniente "A", de manera que desde este lugar se puedan observar dos Bancos de nivel o Puntos de Liga.
- b) Se coloca el estadal en el BN-1 y se toma la lectura correspondiente, misma que se considerara como lectura positiva o lectura atrás, que se sumará a una cota arbitraria de terreno obteniéndose así la altura o cota de aparato.

(2) "Apuntes de Topografía", Núñez Vázquez Ricardo; ESIA - IPN (1997, 1998)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- c) Ya que se tomo la lectura del BN-1, se comienza con la lectura de las estaciones del trazo, empezando desde el cadenamiento 0+000; cada una de estas lecturas se restará a la cota de aparato obtenida anteriormente obteniendo así la cota de terreno de cada uno de los puntos o estaciones intermedias. Las lecturas de estaciones intermedias se tomarán hasta donde sea posible y se cerrarán las lecturas desde el punto "A" con la correspondiente al BN-2 o PL-1.

Las lecturas de estaciones intermedias así como la del BN-2 o PL-1 se consideraran como lecturas negativas o lecturas adelante.

- d) Una vez terminadas las lecturas desde "A", se cambia el aparato a otro punto "B" desde el cual se pueda observar el BN-2 o PL-1 y otro BN o PL.
- e) Se toma desde "B" nuevamente la lectura del BN-2 o PL-1 considerando esta lectura como positiva o atrás, la cual se sumará a la cota del BN-2 o PL-1 encontrada anteriormente y así se obtendrá una nueva altura de aparato. Desde el punto "B" se tomara la lectura de las estaciones intermedias siguientes del cadenamiento, que tendrán un valor negativo y se irán restando una a una a la nueva cota de aparato para encontrar la cota de terreno correspondiente a las estaciones intermedias siguientes.
- f) Lo anterior se realizará las veces que sea necesario hasta que se finalice la nivelación de toda la línea de nuestro camino. (3)

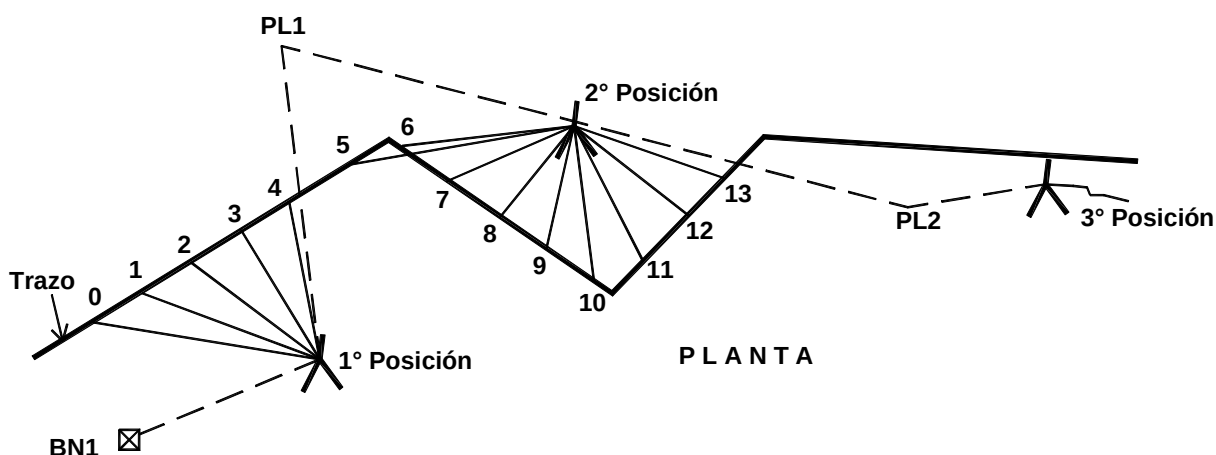


Fig. 6

"Para comprobar que nuestra nivelación esta bien realizada se elaborará una nivelación diferencial de "regreso", esto es partiendo desde el destino hasta el origen de nuestra línea, tomando únicamente lecturas en los PL o BN.



Otro método para la comprobación de la nivelación es utilizando el registro de campo; esto es realizando la resta entre las sumas de los valores de las lecturas positivas o de atrás menos la suma de los valores negativos o de adelante; el resultado deberá ser igual al desnivel existente entre el BN-1 y el BN final".
(4)

$$[\Sigma(+)] - [\Sigma(-)] = \text{Desnivel entre BN-1 y BN final.}$$

Más adelante explicaremos a detalle el llenado del registro de nivel empleado en este trabajo.

2.4.2.1 BRIGADA DE NIVELACIÓN

Para poder llevar a cabo la nivelación se necesita un ingeniero nivelador, estadaleros y peones.

2.4.2.2 EQUIPO

Necesitamos un nivel fijo, tránsito o estación total, estadales, cintas, marros, estacas, etc.

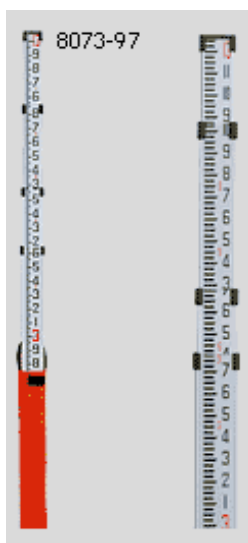


Fig. 7 www.sokkia.com



Fig. 8 www.sokkia.com

Más adelante mostraremos y explicaremos el llenado del formato de campo para el Registro de Nivel.

(4) Topografía, Montes de Oca Miguel, (1982)



2.4.3 SECCIONES TRANSVERSALES PRELIMINARES

Para encontrar la configuración topográfica de la zona utilizamos el método de secciones transversales, las cuales parten de la poligonal base que se trazo. Las secciones nos permiten conocer los puntos del terreno de cota cerrada los cuales a su vez determinarán el relieve del terreno.

Una vez trazada la línea con todas sus curvas y habiéndola nivelado, se procede a sacar secciones transversales del terreno en cada estación de 20.00 metros y en todos aquellos puntos intermedios en los cuales exista cambio notable de pendiente; a su vez este corte se realizará por lo menos a una distancia de 30.00 metros a cada lado del eje.

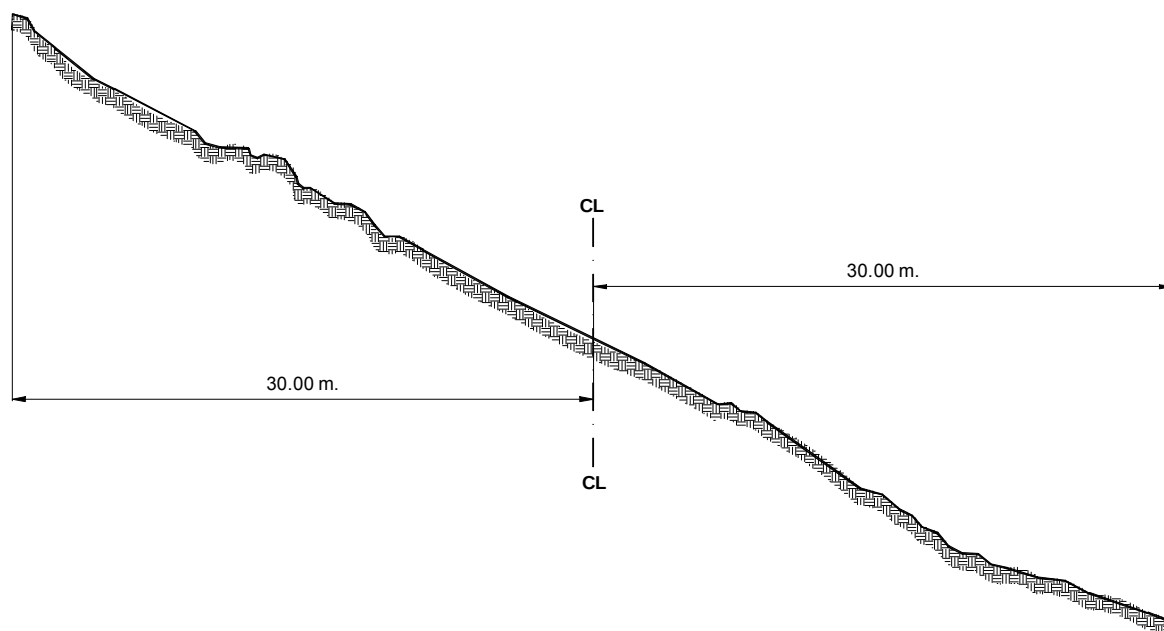


Fig. 9

2.4.3.1 METODO DE SECCIONES TRANSVERSALES POR ACCIDENTES TOPOGRAFICOS

Este método consiste en trazar y nivelar una poligonal abierta perpendicular al trazo principal, a cada 20.00 metros sobre este y a cada uno de los lados de la línea de trazo. Con los datos de trazo y nivelación de esta poligonal auxiliar se dibuja un perfil que nos arrojará la configuración del terreno.

El trabajo de campo para la obtención de estas secciones transversales se describe a continuación:

- Se traza la poligonal de apoyo marcando sobre ésta puntos de control a cierta distancia. Esta distancia dependerá de los accidentes del terreno; es decir que si el terreno es prácticamente plano se utilizará una equidistancia entre los puntos, esta equidistancia dependerá de la experiencia y criterio del ingeniero. Por otro lado si el terreno es muy accidentado, la distancia



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



entre los puntos será regida por los cambios de pendiente que existan a lo largo de la poligonal de apoyo.

- b) La nivelación de esta poligonal de apoyo se realiza con un nivel de mano y el proceso de trabajos de nivelación es el siguiente:
- i) El nivelador checa su altura de visibilidad o altura de ojo sobre el cadenamiento de cota conocida de la línea principal.
 - ii) Una vez checada su altura de visibilidad, el estadalero se aleja sobre la poligonal de apoyo hasta una cierta distancia, la cual será definida conforme a lo mencionado en el inciso a.).
 - iii) El observador tomará la lectura que arroja el estadal y anotará la distancia a la que se encuentra el estadal, encontrando las coordenadas del primer punto de control.
 - iv) Ya que han sido anotados los datos mencionados, el observador se trasladará hasta el lugar donde el estadalero se posicionó anteriormente.
 - v) Una vez ubicado en la posición que corresponde, el observador tomará la nueva lectura del estadal y la nueva distancia del siguiente punto de control.

Los pasos iii), iv) y v) se repetirán hasta cubrir la distancia requerida para el levantamiento de las secciones transversales. (5)

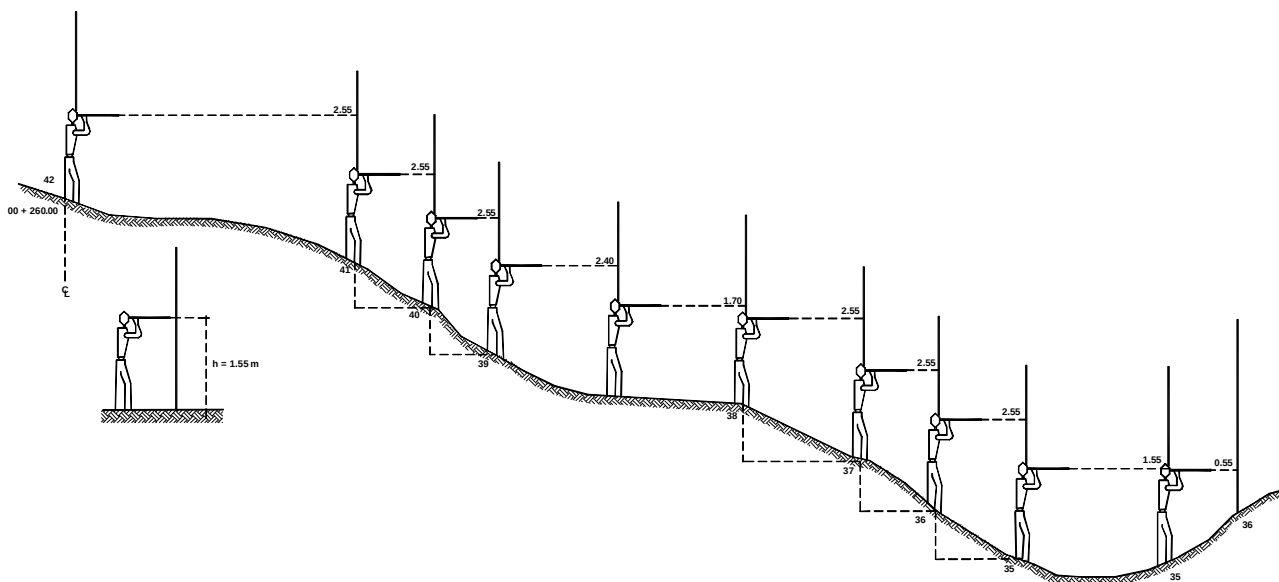


Fig. 10



2.4.3.2. SECCIONES TRANSVERSALES POR EL METODO DE COTA REDONDA ⁶

El levantamiento topográfico de las secciones transversales se hace generalmente por el método de determinación de puntos de cota redonda. El procedimiento y registro de este trabajo es el siguiente:

- a) Los peones brecheros limpian a ambos lados de la estaca, que materializa la estación del trazo, una distancia de 150 m a 200 m, perpendicular a la línea preliminar.
- b) El topógrafo mide su altura de ojo sobre el piso, se coloca en la estación desde la cual va a obtenerse la sección y en dirección normal al trazo para buscar el primer punto de cota redonda, procediendo luego con los demás que correspondan a la equidistancia de las curvas de nivel.

Si el terreno desciende, el primer punto que buscará el topógrafo tendrá la cota redonda inmediata inferior a la de la estación y le corresponderá una lectura en el estadal (Fig. 11).

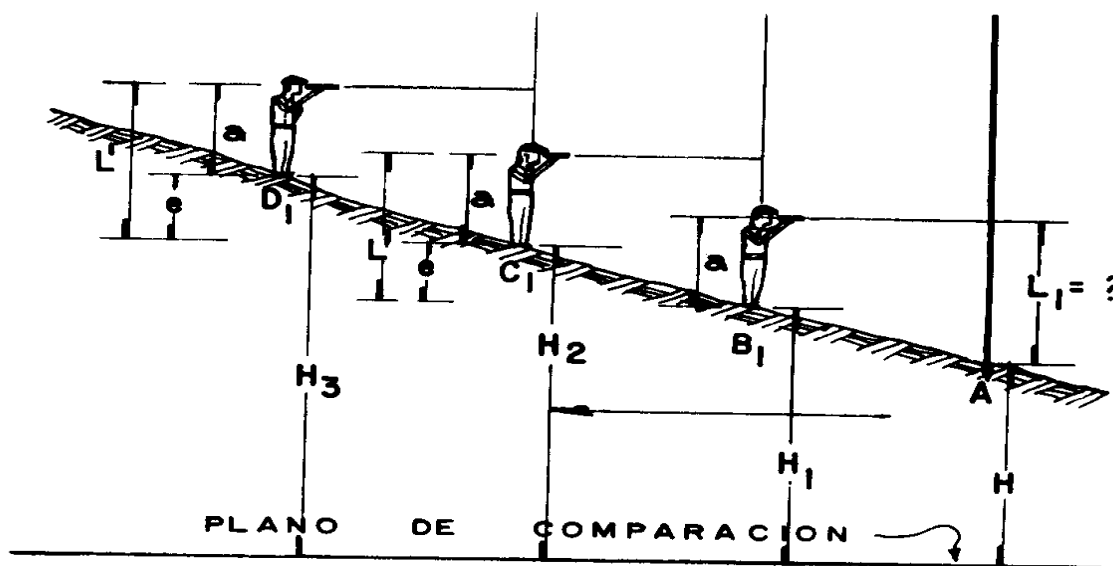


Fig. 11

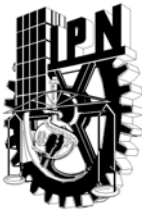
Siendo: H = cota de la estación en que se apoya la sección

a = altura de ojo del topógrafo

H' = cota redonda buscada.

- c) Una vez calculada la lectura que se requiere en el estadal, el estadalero se desplaza hasta que el topógrafo pueda tomar dicha lectura, manteniendo al mismo tiempo la perpendicularidad con relación al alineamiento. El estadal estará entonces en el punto B de cota redonda H' . Se mide la distancia de la estación A al estadal y se anota en el registro de campo.

(6) "Topografía aplicada", García Márquez Fernando; Árbol editorial, 1994, Pp. 342 – 344.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- d) A continuación se traslada el topógrafo al punto B y dirige al estadalero hasta encontrar el punto C, en el cual debe observarse en el estadal la lectura:

$$L' = a + e$$

a = altura de ojo del topógrafo

e = equidistancia vertical

Anota la distancia de la estación al punto C y pasa a este punto para continuar el trabajo. La lectura $L_f = a + e$, será la que tendrá que hacer el topógrafo en lo sucesivo para ir obteniendo los puntos de cota redonda.

Si el terreno asciende, el topógrafo con el nivel debe ir adelante y él será el que avance o retroceda hasta colocarse en un punto desde el cual observe en el estadal la lectura deseada: (Fig. 12).

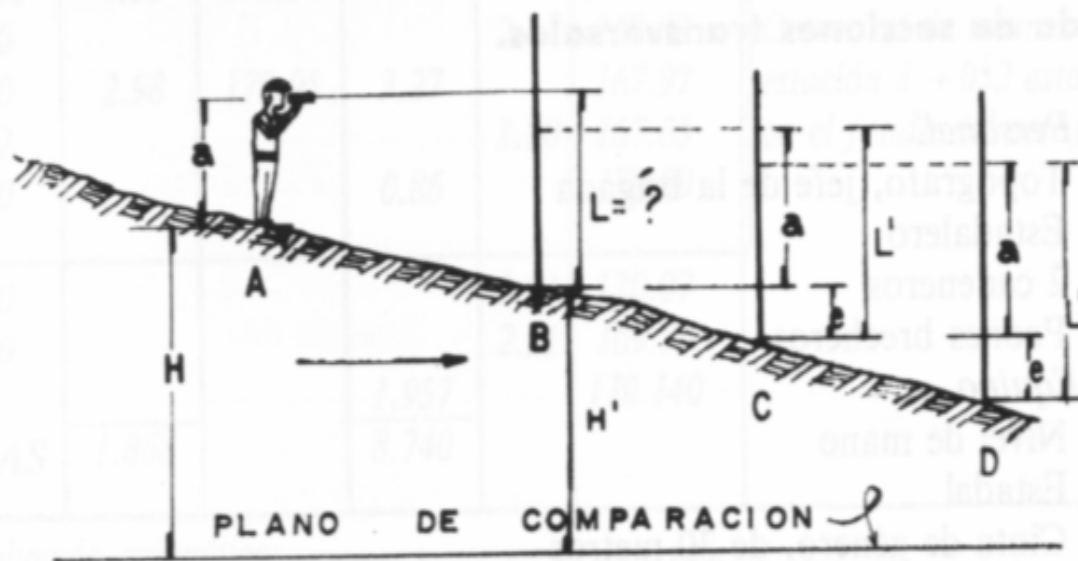


Fig. 12

$$L, = H, + a-H$$

En la cual:

$H,$ = cota redonda buscada

a = altura de ojo del topógrafo

H = cota de la estación en que se apoya la sección.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



El primer punto B_i tendrá cota redonda H_p y la lectura en el estadal colocado en la estación A será L_p. Una vez localizado el punto B se mide la distancia de dicho punto a la estación A; a continuación el estadalero se pasa al punto B, y el topógrafo se desplaza hasta encontrar el punto C_p desde el cual puede leer en el estadal:

$$L' = a + e$$

Luego se mide la distancia de C, a la estación. Para encontrar los siguientes puntos de cota redonda, se tomará en el estadal la lectura L'.

La equidistancia vertical "e" en las secciones de topografía varía según el tipo de terreno, como se indica en la tabla siguiente:

Clase de terreno	Equidistancia vertical.
Plano	0.50 m.
Lomerío suave	1.00 m.
Lomerío fuerte	2.00 m.
Accidentado	5.00 m.

2.4.3.3 BRIGADA DE SECCIONES TRANSVERSALES

El personal que se requiere es un topógrafo ó jefe de la brigada, estadaleros, cadeneros y peones.

2.4.3.4 EQUIPO

Se utilizan niveles de mano, niveles fijos o estaciones totales, estadales, cinta, juego de fichas, machetes y marros.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Fig. 13 www.sokkia.com

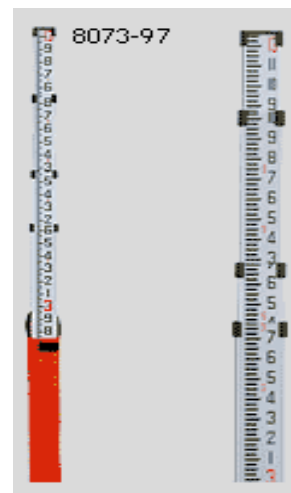


Fig. 14 www.sokkia.com

A continuación se muestra el formato utilizado en campo para el registro de Secciones Transversales:

- a En la parte central del formato se colocará el kilometraje y la elevación de terreno que corresponda para cada estación.

En los extremos izquierdo y derecho del formato se anotarán las distancias entre punto y punto de control así como el desnivel que existe entre la cota o elevación de terreno de la estación y cota de terreno de los puntos de control.



PERFILES Y SECCIONES TRANSVERSALES DEL TERRENO

OBRA VIAL: AUTOPISTA MEXICO - TUXPAN

TRAMO: TULANCINGO EN TRONQUE TIHUATLAN

DE KM. 183+000 A KM.

ORIGEN: **ENTRONQUE ECATEPEC**

183 + 180

ORIGEN: **ENTRONQUE ECATEPEC**

SUBTRAMO:

IZQUIERDA

DERECHA

CADEN. / ELEV.

KM.	m	cm.
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0	0
34	0	0
35	0	0
36	0	0
37	0	0
38	0	0
39	0	0
40	0	0
41	0	0
42	0	0
43	0	0
44	0	0
45	0	0
46	0	0
47	0	0
48	0	0
49	0	0
50	0	0
51	0	0
52	0	0
53	0	0
54	0	0
55	0	0
56	0	0
57	0	0
58	0	0
59	0	0
60	0	0
61	0	0
62	0	0
63	0	0
64	0	0
65	0	0
66	0	0
67	0	0
68	0	0
69	0	0
70	0	0
71	0	0
72	0	0
73	0	0
74	0	0
75	0	0
76	0	0
77	0	0
78	0	0
79	0	0
80	0	0
81	0	0
82	0	0
83	0	0
84	0	0
85	0	0
86	0	0
87	0	0
88	0	0
89	0	0
90	0	0
91	0	0
92	0	0
93	0	0
94	0	0
95	0	0
96	0	0
97	0	0
98	0	0
99	0	0
100	0	0

DIST.				30	183	0	0	30
DESN.				10	PST	553	79	-7.5
DIST.			30	26	183	20	0	16
DESN.			9.6	8.9		556	7	-8.9
DIST.			30	25	183	40	0	15
DESN.			7.1	7		556	50	-5.2
DIST.			30	16	183	60	0	14
DESN.			-0.1	1		554	13	-4
DIST.			30	12	183	69	5	30
DESN.			-2.5	0.2		554	67	-3.8
DIST.			30	12	183	80	0	11
DESN.			-6.7	-12		554	55	-0.5
DIST.			30	6	183	100	0	8
DESN.			-10.6	-0.6		561	17	0
DIST.			30	8	183	120	0	30
DESN.			-7.8	-0.3		556	27	-5.4
DIST.			30	11	183	140	0	30
DESN.			-5.5	0.2		551	64	-6.2
DIST.	30		13	8	183	160	0	30
DESN.	-3		1.6	1.1		546	76	-5.2
DIST.			30	16	183	180	0	30
DESN.			0	2		541	81	-2.3

SELECCIONO:

REVISO:

FECHA:



2.5 TRAZO, NIVEL Y SECCIONES PRELIMINARES FOTOGRAMÉTRICOS

Antes de realizar los trabajos preliminares fotogramétricos se trazan las posibles rutas del camino en las cartas geográficas, para posteriormente realizar el reconocimiento aéreo. Cabe mencionar que si no es posible contar con un equipo fotogramétrico, bastará realizar el trazo preliminar de las líneas sobre las cartas geográficas.

Los reconocimientos aéreos son de gran ayuda para elegir la alternativa adecuada, ya que proporciona datos con mayor exactitud, las fotografías aéreas realizadas pueden reportar gran información acerca del terreno a estudiar, el objetivo de un levantamiento de este tipo es ampliar las condiciones del estudio preliminar.

Ya definida la línea preliminar, se procede a tomar fotografías sobre esta, lo que nos permite obtener un mapa fotográfico sobre el cual se trasladará la línea propuesta en las cartas geográficas, verificando que los puntos obligados ubicados en las cartas permanezcan o existan en las fotografías confirmando así que el trazo propuesto es el correcto.

Para convertir los datos aerofotográficos en mapas se utilizan aparatos llamados estereoscopios, por medio de los cuales se observa un par de fotografías que nos revelarán una imagen en tercera dimensión, la cual nos ayuda para reconocer y ubicar todos los detalles del lugar.

La topografía preliminar por métodos fotogramétricos es realizada casi en su totalidad con trabajos de gabinete. En los mapas fotográficos (generalmente a escala 1:20) es donde se realizan el trazado del camino así como las rutas de acceso para maquinaria y equipo de construcción.

A continuación mostraremos las etapas que comúnmente se llevan a cabo para la realización un reconocimiento fotogramétrico.

“PRIMERA ETAPA: Reconocimiento de toda el área entre los puntos terminales.

- 1.- Examen estereoscópico de las fotografías aéreas a una escala pequeña, complementando dicho estudio con las cartas geográficas disponibles.
- 2.- Determinación de controles topográficos o puntos de control.
- 3.- Localización de las posibles rutas sobre las fotografías y las cartas geográficas.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Fig. 15

SEGUNDA ETAPA: Levantamiento del reconocimiento de las rutas posibles.

- 1.- Examen estereoscópico de las fotografías aéreas a una escala mayor de cada una de las rutas.
- 2.- Comparación detallada de controles topográficos o puntos de control.
- 3.- Preparación de los mapas fotogramétricos de las posibles rutas.
- 4.- Ubicación y Comparación de las posibles rutas sobre fotografías y cartas geográficas.
- 5.- Selección de la mejor ruta.

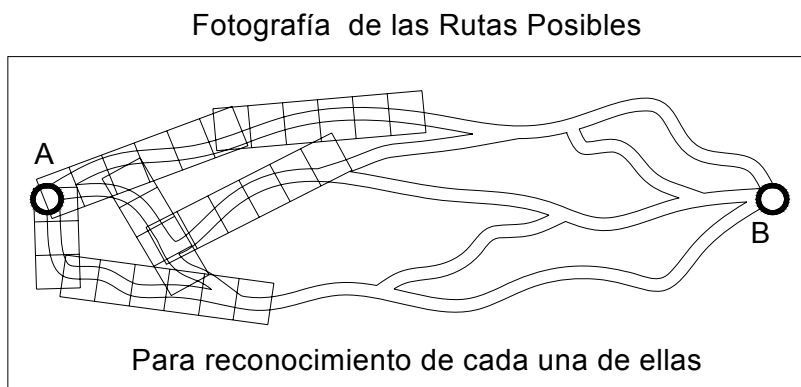


Fig. 16



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



TERCERA ETAPA: Levantamiento preeliminar de la mejor ruta.

- 1.- Preparación de mapas topográficos a gran escala, por medio de métodos fotogramétricos y fotografías de la ruta.
- 2.- Diseño de la línea preeliminar.
 - a) Por medio de las dimensiones topográficas del mapa a gran escala.
 - b) Mediante exámenes estereoscópicos de las fotografías de la ruta.
- 3.- Preparación de los planos ejecutivos de la obra.

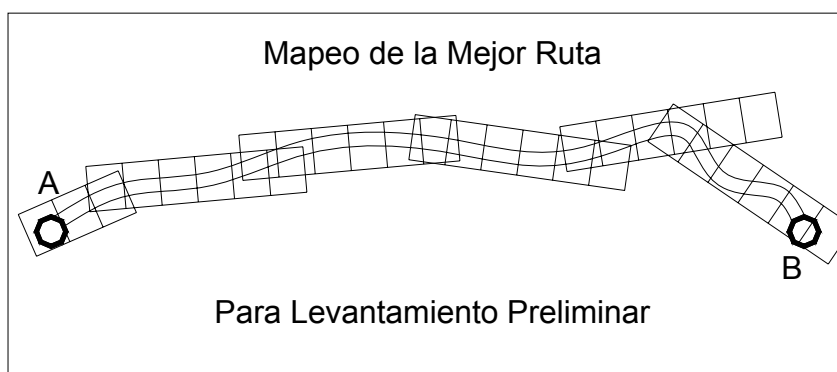


Fig. 17

CUARTA ETAPA: Materialización de la mejor ruta, localizando el derecho de vía, las estructuras con que contará el camino así como las rutas de acceso para equipo, material, maquinaria y personal.” (7)

Para poder llevar a cabo la nivelación de la ruta preliminar es necesario contar con las cartas geográficas disponibles de la zona, ya que con estas se realizará una superposición de imágenes. Hay que recordar que las cartas geográficas contienen información de curvas de nivel, con las cuales podremos tener los parámetros de cotas de terreno y poder realizar la nivelación preliminar. Del mismo modo se hará para obtener las secciones transversales del camino, recordando que si se requieren mas curvas de nivel de las que se cuentan en las cartas geográficas, estas se podrán obtener por medio de interpolación.

(7) Ingeniería de Carreteras, Hewes & Oglesby, (1975)



3.0 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS DEFINITIVOS

3.1 TRAZO DE LAS LINEAS DEFINITIVAS

Una vez finalizado el proyecto en gabinete, se procede a realizar el trazo definitivo, el cual esta basado en el trazo preliminar. Esta vez por tratarse del trazo definitivo, en gabinete se dibujará la línea que representa el alineamiento en color rojo. El alineamiento horizontal definitivo esta compuesto por: tangentes, curvas circulares y y/o por curvas de transición.

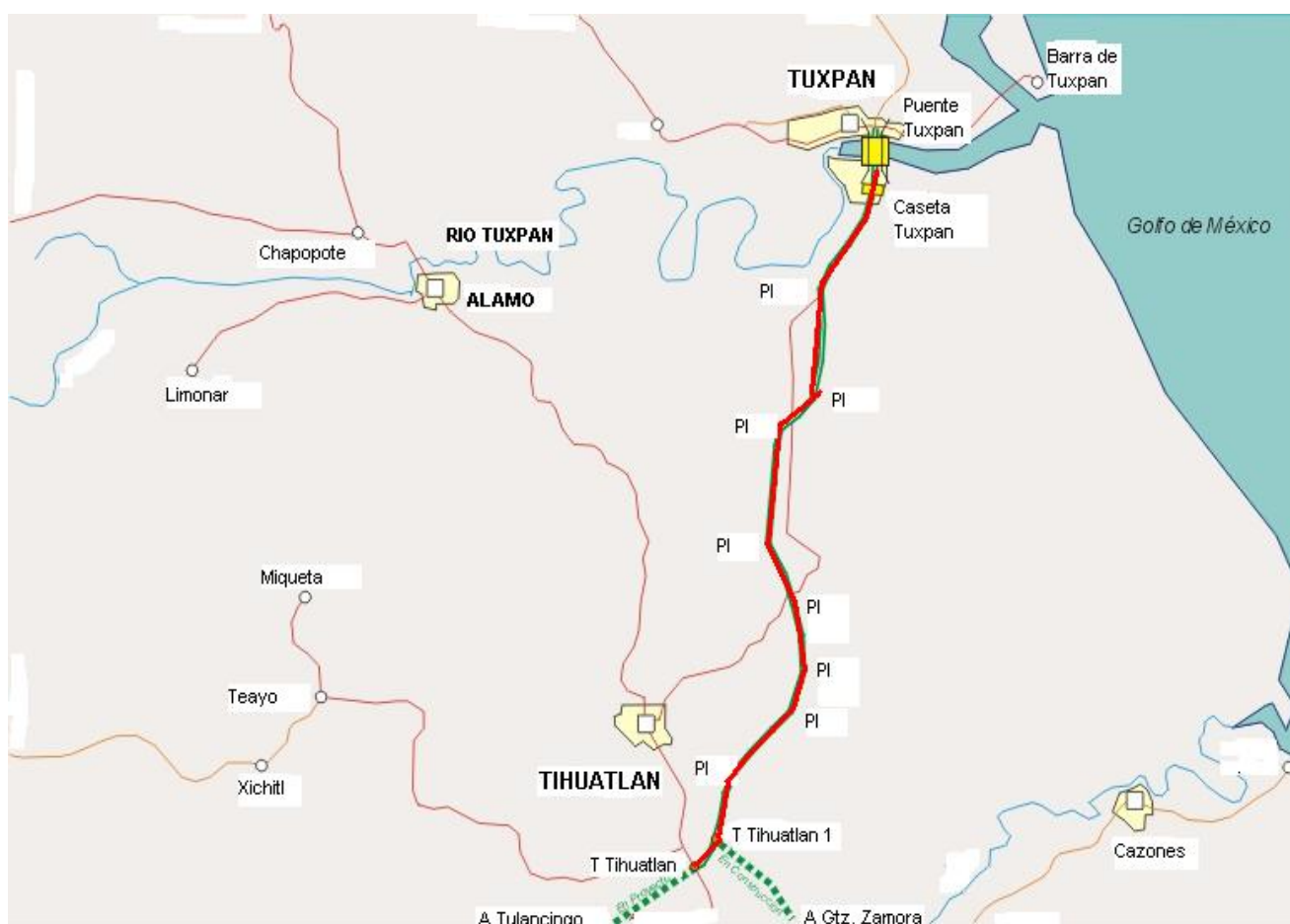


Fig. 3.1 [www.google / buscador de imágenes / topografía](http://www.google.com/search?q=www.google+buscador+de+im%C3%A1genes+topograf%C3%ADa)

3.1.1 TANGENTES

Son las proyecciones horizontales de las rectas que unen las curvas de un camino. Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se denomina como PI, y al ángulo de deflexión formado entre estas se representa como Δ .



Las recomendaciones generales que se deben tomar en cuenta, para la determinación de las tangentes son:

- 1.- El ángulo de deflexión entre dos tangentes sucesivas, debe ser del menor valor posible.
- 2.- La longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la sobreelevación y ampliación a esas curvas.

El trazo en campo de estas líneas se realiza de la misma forma como en el trazo preliminar antes mencionado, utilizando a su vez el mismo formato de campo para realizar las anotaciones correspondientes.

3.2 TRAZO DE CURVAS HORIZONTALES

Las curvas son arcos de círculo que forman la proyección horizontal que unen dos tangentes; las curvas que se utilizan en proyectos de caminos son las curvas circulares pueden ser simples o compuestas, según se trate de un solo arco o de dos o más sucesivos de diferente radio.

- A) Curvas circulares simples: Se denomina así a una curva cuando dos tangentes están unidas entre sí por un solo arco; y dependiendo del sentido del cadenamiento, las curvas simples pueden ser hacia la derecha o hacia la izquierda.

A continuación se mencionan los elementos que forman una curva simple:

1. Grado de curvatura: Es el ángulo comprendido en un arco y se denomina con la letra G_c .

$$G_c = \frac{1145.92}{R_c}$$

Cabe mencionar que para que una curva sea segura se recomienda calcular el grado máximo de curvatura ($G_{c_{\max}}$), el cual se deriva de la velocidad de proyecto para el camino en estudio.

$$G_{c_{\max}} = \frac{1145.92}{R_{c_{\min}}} \quad R_{c_{\min}} = 0.0282V_p^2$$

El G_c a emplear será determinado por un porcentaje del 40% del $G_{c_{\max}}$ sin embargo, el G_c definitivo de la curva será el seleccionado por el proyectista teniendo como directriz de selección su criterio y experiencia.

$$G_c = 0.40G_{c_{\max}}$$

2. Radio de la curva: Es el radio del arco de círculo representado en una curva; se denomina con la letra R_c .

$$R_c = \frac{1145.92}{G_c}$$

3. Ángulo central: Es al ángulo comprendido entre el principio y el final de la curva y es igual al valor de la deflexión que forman las tangentes de esta curva. Se representa con la letra Δ_c .



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4. Longitud de la curva: Es la longitud comprendida entre el principio (PC) y el final (PT) de la curva y se representa como L_c .

$$L_c = 20 \frac{\Delta}{G_c}$$

5. Subtangente: Es la distancia comprendida entre el PI y el PC o entre el PI y el PT; se representa como ST.

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta}{2}$$

6. Externa: Es la distancia mínima entre el Pi y la curva. Se representa con la letra E.

$$E = R_c ((1 / \cos \text{ de } \Delta/2) - 1)$$

7. Ordenada media: Es la longitud de la flecha en un punto medio de la curva, se simboliza con la letra M = F.

$$M = R_c (1 - \cos (\Delta/2))$$

8. Cuerda: Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva, se le denomina C. si estos puntos son el Pc y el PT, a la cuerda resultante se le denomina cuerda larga.

$$CL = 2R_c \sin (\Delta/2)$$

9. Kilometraje del principio de curva: $KmPC = KmPI - ST$

10. Kilometraje del principio de tangente: $KmPT = KmPC + L_c$

11. Deflexión por metro: es el ángulo de deflexión correspondiente a una cuerda de 1 metro y se expresa por la letra D'm (Valor expresado en minutos).

$$D'm = 1.5G_c$$

Una vez calculados todos los elementos antes mencionados, se procede a elaborar la tabla de construcción, la cual tiene el siguiente formato.

	ESTACION	L_c	DEFLEXION PARCIAL	DEFLEXION TOTAL

[illegible]

Gc	Grado de curvatura
PI	Punto de intersección de las tangentes
PC	Punto donde comienza la curva circular simple
PT	Punto donde termina la curva circular simple
PST	Punto sobre tangente
PSST	Punto sobre subtangente
O	Centro de la curva circular
Δ	Angulo de deflexión de las tangentes
Δ_c	Angulo central de la curva circular
Rc	Radio de la curva circular
ST	Subtangente
E	Externa
Lc	Longitud de la curva circular

Curva ubicada entre los kilómetros 187+000 y 189+000 de la autopista México – Tuxpan dentro del municipio de Tlacuilotepec en el estado de Puebla, México

30



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



DATOS:

PI = 187+875.317
Vp = 110 km/h
Tipo de camino = A2
 $\Delta = 9^{\circ}6'31''139$ Izq.

CALCULO DE LA CURVA:

1. Grado de curvatura

$$R_{c_{\min}} = 0.0282V_p^2 \qquad R_{c_{\min}} = 0.0282(110)^2 = 341.22m.$$
$$G_{c_{\max}} = \frac{1145.92}{R_{c_{\min}}} \qquad G_{c_{\max}} = \frac{1145.92}{341.22} = 3.3583 \qquad G_{c_{\max}} = 3^{\circ}21'30''$$
$$40\% G_c = 0.40G_{c_{\max}} \qquad 40\% G_c = 0.40(3.3583) = 1.3422 \qquad 40\% G_c = 1^{\circ}20'36''$$

En este caso nosotros utilizaremos un G_c de $0^{\circ}20'00''$ (0.33) por ser este el grado empleado en el proyecto de la autopista, recordando que el proyectista es el que decide y determina que grado de curva se utilizará para el cálculo de las curvas circulares simples.

2. Radio de la curva

$$R_c = \frac{1145.92}{G_c} \qquad R_c = \frac{1145.92}{0^{\circ}20'00''} \qquad R_c = 3437.76m$$

3. Subtangente

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta}{2} \qquad ST = 3437.76 \tan \frac{9^{\circ}6'31.139''}{2} \qquad ST = 273.838m$$

4. Longitud de la curva

$$L_c = 20 \frac{\Delta}{G_c} \qquad L_c = 20 \frac{9^{\circ}6'31.139''}{0^{\circ}20'00''} \qquad L_c = 546.519m$$

5. Kilometraje del principio de curva y Kilometraje del principio de tangente

$$KmPC = KmPI - ST \qquad kmPC = 187 + 875.317 - 273.838 \qquad kmPC = 187 + 601.479$$
$$KmPT = KmPC + L_c \qquad kmPT = 187 + 601.479 + 546.519 \qquad kmPT = 188 + 148.000$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



6. Externa.

$$E = Rc \left(\frac{1}{\cos(\Delta/2)} - 1 \right) = 3437.76 \left(\frac{1}{\cos(9^\circ 6' 31.139''/2)} - 1 \right) = 10.8891 \text{ m.}$$

7. Ordenada Media.

$$M = Rc (1 - \cos(\Delta/2)) = 3437.76 (1 - \cos(9^\circ 6' 31.139''/2)) = 10.854 \text{ m.}$$

8. Cuerda.

$$CL = 2Rc \sin(\Delta/2) = 2 * 3437.76 \sin(9^\circ 6' 31.139''/2) = 545.945 \text{ m.}$$

Una vez obtenidos los elementos más importantes de la curva circular simple se procede a realizar una tabla de construcción para poder trazar la curva en el campo.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



A continuación se ilustra la tabla de construcción de la curva circular simple calculada anteriormente

	ESTACION	Lc	DEFLEXION PARCIAL	DEFLEXIÓN TOTAL
PC	187+601.479	0.000	00° 00' 00"	00° 00' 00"
	620.00	18.521	00° 09' 15"63	00° 09' 15"63
	640.00	20.000	00° 10' 00"	00° 19' 15"63
	660.00	20.000	00° 10' 00"	00° 29' 15"63
	680.00	20.000	00° 10' 00"	00° 39' 15"63
	700.00	20.000	00° 10' 00"	00° 49' 15"63
	720.00	20.000	00° 10' 00"	00° 59' 15"63
	740.00	20.000	00° 10' 00"	01° 09' 15"63
	760.00	20.000	00° 10' 00"	01° 19' 15"63
	780.00	20.000	00° 10' 00"	01° 29' 15"63
	800.00	20.000	00° 10' 00"	01° 39' 15"63
	820.00	20.000	00° 10' 00"	01° 49' 15"63
	840.00	20.000	00° 10' 00"	01° 59' 15"63
	860.00	20.000	00° 10' 00"	02° 09' 15"63
	880.00	20.000	00° 10' 00"	02° 19' 15"63
	900.00	20.000	00° 10' 00"	02° 29' 15"63
	920.00	20.000	00° 10' 00"	02° 39' 15"63
	940.00	20.000	00° 10' 00"	02° 49' 15"63
	960.00	20.000	00° 10' 00"	02° 59' 15"63
	980.00	20.000	00° 10' 00"	03° 09' 15"63
	188+000.00	20.000	00° 10' 00"	03° 19' 15"63
	20.00	20.000	00° 10' 00"	03° 29' 15"63
	40.00	20.000	00° 10' 00"	03° 39' 15"63
	60.00	20.000	00° 10' 00"	03° 49' 15"63
	80.00	20.000	00° 10' 00"	03° 59' 15"63
	100.00	20.000	00° 10' 00"	04° 09' 15"63
	120.00	20.000	00° 10' 00"	04° 19' 15"63
	140.00	20.000	00° 10' 00"	04° 29' 15"63
PT	188+148.000	8.000	00° 04' 00"	04° 33' 15"63
		546.519		04° 33' 15"63



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Donde Deflexión por metro: $D'm = 1.5Gc$ y Gc se expresa en minutos, por lo tanto tenemos que:

$$D'm = 1.5 \left(\frac{00^{\circ}20'00''}{60} \right) \quad D'm = 00^{\circ}00'30''$$

Una vez obtenida la Deflexión por metro se procede a calcular la Deflexión Parcial, la cual resulta de multiplicar la deflexión por metro ($D'm$) por la longitud de la cuerda o distancia entre estaciones (Lc) en cada cadenamiento.

$$\text{Deflexión Parcial} = D'm * Lc \quad \text{Deflexión Parcial} = 00^{\circ}00'30'' * 18.521m$$

$$\text{Deflexión Parcial} = 00^{\circ}09'15''63$$

A su vez, para obtener la Deflexión Total basta con realizar la suma progresiva de cada una de las deflexiones parciales dando por resultado la mitad del valor de la deflexión entre las tangentes que componen la curva.

$$\text{Suma Deflexiones Totales} = 04^{\circ}33'15''63$$

$$04^{\circ}33'15''63 * 2 = \Delta$$

$$04^{\circ}33'15''63 * 2 = 09^{\circ}06'31''26$$

$$09^{\circ}06'31''26 \cong 09^{\circ}06'31''139$$

- B) Curvas circulares compuestas: Están formadas por dos o más curvas circulares simples, ya sea en el mismo sentido y de diferente radio, o de diferente sentido y cualquier radio. En el caso de que sean del mismo sentido, se llaman curvas compuestas directas y cuando son de sentido contrario se les llama curvas compuestas inversas.

Como recomendación deben evitarse este tipo de curvas, ya que involucran cambios de curvatura que resultan peligrosos; sin embargo pueden ser utilizadas en intersecciones con la condición de que la relación entre los radios de las curvas no sobrepase de 2.00 y resuelva adecuadamente la transición y la sobreelevación de las curvas.

3.2.2 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 necesarias. Para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición.

Se define como curva de transición a la liga entre una tangente y una curva circular, teniendo como principal característica que en su longitud se realiza de manera gradual y continua un cambio en el valor del radio de curvatura.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Curva circular simple con espirales de transición: Esta compuesta 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 se denomina simétrica, de no ser así se dice que es asimétrica." (2)

A continuación se muestran las partes que componen una curva circular simple con espirales de transición:

1. Grado de curvatura de la curva circular: Es el ángulo comprendido en un arco en la curva circular y se denomina con la letra G_c .

$$G_c = \frac{1145.92}{R_c}$$

Donde R_c es el radio de la curva circular.

Cabe mencionar que para que una curva sea segura se recomienda calcular el grado máximo de curvatura ($G_{c_{\max}}$), el cual se deriva de la velocidad de proyecto para el camino en estudio.

$$G_{c_{\max}} = \frac{1145.92}{R_{c_{\min}}} \quad R_{c_{\min}} = 0.0282V_p^2$$

El G_c a emplear será determinado por un porcentaje del 40% del $G_{c_{\max}}$ sin embargo, el G_c definitivo de la curva será el seleccionado por el proyectista teniendo como directriz de selección su criterio y experiencia.

$$G_c = 0.40G_{c_{\max}}$$

2. Longitud de la espiral: Es la distancia medida sobre la curva comprendida entre el TE y el EC o entre el CE y el ET; y se representa por la letra L_e . Este valor puede ser obtenido de las tablas de Ampliaciones, Sobreelevaciones y Transiciones de las Normas de Servicios Técnicos de la SCT.
3. Deflexión de la curva: Angulo comprendido entre las tangentes que forman la curva. Se representa con la letra ΔT .
4. Deflexión de la espiral: Angulo comprendido entre las tangentes a la espiral y las tangentes del camino. Se representa como θ_e .

$$\theta_e = \left(\frac{L_e}{40} \right) G_c$$

5. Coordenadas del EC de la curva:

$$X_c = \frac{L_e}{100} \left[100 - 0.003046(\theta_e)^2 \right]$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



$$Y_c = \frac{Le}{100} \left[0.5817\theta_e - 0.00001266(\theta_e)^3 \right]$$

6. Coordenadas del PC de la curva circular:

$$p = Y_c - Rc(1 - \cos \theta_e)$$

$$k = X_c - Rc(\sin \theta_e)$$

7. Subtangente: Es la longitud comprendida entre el TE y el PI y se representa con la letra ST_e .

$$ST_e = \left[(Rc + p) \tan \left(\frac{\Delta T}{2} \right) + k \right]$$

8. Angulo de la curva circular: Angulo comprendido entre el EC y el CE; se representa como Δ_c .

$$\Delta_c = \Delta T - 2\theta_e$$

9. Longitud de la curva circular: Es la distancia medida sobre el arco de curva circular simple comprendida entre el EC y el CE; se representa como L_c .

$$L_c = \frac{20\Delta_c}{G_c}$$

10. Kilometraje del punto tangente-espiral (Km TE): $PI - ST_e$

11. Kilometraje del punto espiral-curva (Km EC): $TE + Le$

12. Kilometraje del punto curva-espiral (Km CE): $EC + L_c$

13. Kilometraje del punto espiral-tangente (Km ET): $CE + Le$

También para este tipo de curvas existen tablas de construcción, las cuales mostraremos a continuación:

ESTACION	CUERDA	L	L ²	Θ	Θ _c

Donde:



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



$$\theta = \left(\frac{\theta_e}{Le^2} \right) L^2$$

$$\theta_c = \frac{\theta}{3}$$

ESTACION	CUERDA	DEFLEXION PARCIAL	DEFLEXION TOTAL

Donde Deflexión por metro = $D'm = 1.5Gc$.

Deflexión Parcial = Resulta de multiplicar la deflexión por metro ($D'm$) por la longitud de la cuerda o distancia entre estaciones (L_c) en cada cadenamiento.

Deflexión Total = Es la suma progresiva de cada una de las deflexiones parciales dando por resultado la mitad del valor del ángulo de la curva circular.

El método de trazo para este tipo de curvas es igual al mencionado en los trazos preliminares para curvas circulares simples.

En nuestro caso, el tramo en estudio no tiene curvas horizontales circulares con espirares de transición; pero a continuación realizaremos un ejemplo del calculo de este tipo de curvas.

DATOS:

PI = 5+365.40

Vp = 80 km/h

Tipo de camino = B

$\Delta = 35^\circ 00$

3.2.3 EJEMPLO DE CÁLCULO DE UNA CURVA DE TRANSICIÓN.

1. Grado de curvatura de la curva circular

$$Rc_{\min} = 0.0282Vp^2$$

$$Rc_{\min} = 0.0285(80)^2 = 180.478m$$

$$Gc_{\max} = \frac{1145.92}{Rc_{\min}}$$

$$Gc = \frac{1145.92}{180.48} = 6^\circ 20' 57.45''$$

$$Gc_{\max} = 6^\circ 20' 57.45''$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



$$40\% G_c = 0.40 G_{c_{\max}}$$

$$40\% G_c = 0.40(6^\circ 20' 57.45'') = 2^\circ 32' 22.98''$$

$$40\% G_c = 2^\circ 32' 22.98''$$

En este caso nosotros utilizaremos un G_c de $04^\circ 30'$, recordando que el proyectista es el que decide y determina que grado de curva se utilizará para el cálculo de las curvas circulares simples.

2. Radio de la curva

$$R_c = \frac{1145.92}{G_c}$$

$$R_c = \frac{1145.92}{4^\circ 30'}$$

$$R_c = 254.65m$$

3. Con los datos de Grado de curvatura (G_c) y la Velocidad de proyecto (V_p) podemos ingresar a las tablas de Ampliaciones, Sobreelevaciones y Transiciones para Carreteras de las Normas de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para obtener los valores de la Longitud de la Espiral (L_e), Sobreelevación (Sc) y Ampliación de la Curva (AC); teniendo así los siguientes valores:

$$L_e = 61$$

$$Sc = 9.6\%$$

$$AC = 70$$

A continuación mostraremos la tabla de las Normas de servicios Técnicos que utilizamos para la elaboración de este ejemplo: (3)

(3) Normas de Servicios Técnicos, S.C.T., (1984)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



AMPLIACIONES, SOBREELEVACIONES Y TRANSICIONES PARA CARRETERAS TIPO B Y A (A2)

Velocidad			50			60			70			80			90			100			110		
Gc	Rc		AC	Sc	Le	AC	Sc	Le	AC	Sc	Le	AC	Sc	Le	AC	Sc	Le	AC	Sc	Le	AC	Sc	Le
0	15	4583.68	0	2.0	28	0	2.0	34	0	2.0	39	0	2.0	45	0	2.0	50	0	2.0	56	0	2.0	62
0	30	2291.84	0	2.0	28	0	2.0	34	20	2.0	39	20	2.0	45	20	2.0	50	20	2.3	56	20	2.7	62
0	45	1527.89	20	2.0	28	20	2.0	34	20	2.0	39	20	2.3	45	30	2.8	50	30	3.4	56	30	4.0	62
1	0	1145.92	20	2.0	28	20	2.0	34	20	2.5	39	30	3.0	45	30	3.6	50	30	4.5	56	30	5.2	62
1	15	916.74	20	2.0	28	20	2.3	34	30	3.0	39	30	3.7	45	40	4.5	50	40	5.5	56	40	6.3	62
1	30	763.95	20	2.0	28	30	2.8	34	30	3.5	39	30	4.4	45	40	5.3	50	40	6.4	56	40	7.3	64
1	45	654.81	30	2.2	28	30	3.2	34	30	4.1	39	40	5.0	45	40	6.1	50	40	7.3	58	50	8.1	71
2	0	572.96	30	2.5	28	30	3.6	34	30	4.6	39	40	5.7	45	40	6.7	50	50	8.1	65	50	8.9	78
2	15	509.30	30	2.8	28	40	4.0	34	40	5.1	39	40	6.2	45	50	7.3	53	50	8.7	70	60	9.4	83
2	30	458.37	30	3.1	28	40	4.4	34	40	5.5	39	50	6.8	45	50	7.9	57	60	9.2	74	60	9.8	86
2	45	416.70	30	3.4	28	40	4.7	34	40	6.0	39	50	7.3	47	50	8.4	60	60	9.6	77	60	10	88
3	0	381.97	40	3.7	28	40	5.1	34	50	6.4	39	50	7.7	49	60	8.8	63	60	9.9	79			
3	15	352.59	40	3.9	28	40	5.4	34	50	6.7	39	50	8.1	52	60	9.2	66	60	10	80			
3	30	327.41	40	4.2	28	50	5.7	34	50	7.1	40	60	8.5	54	60	9.6	69						
3	45	305.58	40	4.4	28	50	6.0	34	50	7.5	42	60	8.8	56	60	9.8	71						
4	0	286.48	40	4.7	28	50	6.3	34	50	7.8	44	60	9.1	58	70	9.9	71						
4	15	269.63	50	4.9	28	50	6.6	34	60	8.1	45	60	9.4	60	70	10	72						
4	30	254.65	50	5.1	28	50	6.9	34	60	8.4	47	70	9.6	61									
4	45	241.25	50	5.4	28	60	7.1	34	60	8.7	49	70	9.7	62									
5	0	229.18	50	5.6	28	60	7.4	36	60	8.9	50	70	9.9	63									
5	30	208.35	60	6.0	28	60	7.8	37	70	9.3	52	80	10	64									
6	0	190.99	60	6.3	28	70	8.2	39	70	9.6	54												
6	30	176.30	60	6.7	28	70	8.6	41	80	9.8	55												
7	0	163.70	60	7.0	28	70	8.9	43	80	9.9	55												
7	30	152.79	70	7.3	29	80	9.1	44	80	10	56												
8	0	143.24	70	7.6	30	80	9.4	45															
8	30	134.81	70	7.9	32	80	9.6	46															
9	0	127.32	80	8.2	33	90	9.7	47															
9	30	120.62	80	8.4	34	90	9.8	47															
10	0	114.59	80	8.6	34	90	9.9	48															
10	30	109.14	90	8.8	35	100	10	48															
11	0	104.17	90	9.0	36	110	10	48															
11	30	99.65	90	9.2	37																		
12	0	95.49	100	9.3	37																		
12	30	91.67	100	9.5	38																		
13	0	88.15	100	9.6	38																		
13	30	84.88	110	9.7	39																		
14	0	81.85	110	9.8	39																		
14	30	79.03	110	9.8	39																		
15	0	76.39	110	9.9	40																		
15	30	73.93	120	9.9	40																		
16	0	71.62	120	10	40																		
16	30	69.45	120	10	40																		
17	0	67.41	130	10	40																		

Ac Ampliación de la calzada y la corona en centímetros

Sc Sobreelevación en porcentaje

Le Longitud de la transición en metros

Para grados intermedios no previstos en la tabla Ac, Sc y Le se obtienen por interpolación lineal

Una vez obtenidos los valores mencionados se procede a calcular



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4. Deflexión de la espiral

$$\theta_e = \left(\frac{Le}{40} \right) Gc \quad \Theta_e = \frac{61.00}{40} 4^{\circ}30'00'' \quad \Theta_e = 6^{\circ}51'45''$$

5. Coordenadas del EC de la curva

$$X_c = \frac{Le}{100} \left[100 - 0.003046(\theta_e)^2 \right] \quad X_c = \frac{61.00}{100} 100 - 0.003046(6^{\circ}51'45'')^2$$

$$X_c = 60.91m$$

$$Y_c = \frac{Le}{100} \left[0.5817\theta_e - 0.00001266(\theta_e)^2 \right] \quad Y_c = \frac{61.00}{100} \left[0.5817(6^{\circ}51'45'') - 0.00001266(6^{\circ}51'45'')^2 \right]$$

$$Y_c = 2.099m$$

6. Coordenadas del PC de la curva circular

$$p = Y_c - Rc(1 - \cos \theta_e) \quad p = 2.099 \left[(254.63(1 - \cos 6^{\circ}51'45'')) \right]$$

$$p = 0.27m$$

$$k = X_c - Rc(\sin \theta_e) \quad k = 60.91 - (254.65(\sin 6^{\circ}51'45''))$$

$$k = 30.49m$$

7. Subtangente

$$STe = \left[(Rc + p) \tan \left(\frac{\Delta T}{2} \right) + k \right] \quad STe = \left[(254.65 + 0.27) \tan \left(\frac{35^{\circ}00'00''}{2} \right) + 30.49 \right]$$

$$STe = 110.86m$$

8. Angulo de la curva circular

$$\Delta_c = \Delta T - 2\theta_e \quad \Delta_e = 35^{\circ}00' - 2(6^{\circ}51'45'') \quad \Delta_e = 21^{\circ}16'30''$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



9. Longitud de la curva circular

$$L_c = \frac{20\Delta c}{Gc} \qquad L_c = \frac{20(21^\circ 16' 30'')}{04^\circ 30' 00''} \qquad L_c = 94.55m$$

10. Kilometraje del punto tangente-espiral (Km TE)

$$Km.TE = PI - STe \qquad Km.TE = 5 + 365.40 - 110.86 \qquad Km.TE = 5 + 254.54$$

11. Kilometraje del punto espiral-curva (Km EC)

$$Km.EC = TE + Le \qquad Km.EC = 5 + 254.54 + 61 \qquad Km.EC = 5 + 315.54$$

12. Kilometraje del punto curva-espiral (Km CE)

$$Km.CE = EC + Lc \qquad Km.CE = 5 + 315.54 + 94.55 \qquad Km.CE = 5 + 410.09$$

13. Kilometraje del punto espiral-tangente (Km ET)

$$Km.ET = CE + Le \qquad Km.ET = 5 + 410.09 + 61.00 \qquad Km.ET = 5 + 471.09$$

14. Tablas de construcción

ESTACION	CUERDA	L	L2	Θ	Θ_c
TE 5+254.54	0.00	0.00	0.00	00° 00' 00"	00° 00' 00"
5+260.00	5.46	5.46	29.81	00° 03' 17"	00° 01' 06"
5+280.00	20.00	25.46	648.21	01° 11' 34"	00° 23' 51"
5+300.00	20.00	45.46	2066.61	03° 48' 09"	01° 16' 03"
EC 5+315.54	15.54	61.00	3721	06° 54' 45"	02° 18' 15"
CE 5+410.09	0.00	0.00	0.00	00° 00' 00"	00° 00' 00"
5+420.00	9.91	9.91	98.21	00° 10' 57"	00° 03' 39"
5+440.00	20.00	29.91	894.61	01° 39' 45"	00° 33' 15"
5+460.00	20.00	49.91	2491.00	04° 37' 45"	01° 32' 35"
5+471.09	11.09	61.00	3721.00	06° 54' 45"	02° 18' 15"



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Donde: $\theta = \left(\frac{\theta_e}{Le^2} \right) L^2$ $\theta = \left(\frac{6^\circ 54' 45''}{61.00^2} \right) L^2$ $\theta = (0.00184) L^2$

$$\theta_c = \frac{\theta}{3}$$

ESTACION	CUERDA	DEFLEXION PARCIAL	DEFLEXION TOTAL
EC 5+315.254	0.00	00° 00' 00"	00° 00' 00"
5+320.00	4.46	00° 30' 6.30"	00° 30' 6.3"
5+340.00	20.00	02° 15' 00"	02° 45' 6.3"
5+360.00	20.00	02° 15' 00"	05° 00' 6.3"
5+380.00	20.00	02° 15' 00"	07° 15' 6.3"
5+400.00	20.00	02° 15' 00"	09° 30' 6.3"
CE 5+410.09	10.09	01° 08' 6.45"	10° 38' 12.75"

Donde Deflexión por metro: $D'm = 1.5Gc$ y Gc se expresa en minutos, por lo tanto tenemos que:

$$D'm = 1.5 \left(\frac{04^\circ 30' 00''}{60} \right) \quad D'm = 00^\circ 06' 45''$$

Una vez obtenida la Deflexión por metro se procede a calcular la Deflexión Parcial, la cual resulta de multiplicar la deflexión por metro ($D'm$) por la longitud de la cuerda o distancia entre estaciones (Lc) en cada cadenamiento.

$$\text{Deflexión Parcial} = D'm * Lc \quad \text{Deflexión Parcial} = 00^\circ 06' 45'' * 4.46m$$

$$\text{Deflexión Parcial} = 00^\circ 30' 6.3''$$

A su vez, para obtener la Deflexión Total basta con realizar la suma progresiva de cada una de las deflexiones parciales dando por resultado la mitad del valor del grado de la curva circular.

$$\text{Suma Deflexiones Totales} = 10^\circ 38' 12.75''$$

$$10^\circ 38' 12.75'' * 2 = \Delta$$

$$10^\circ 32' 12.75'' * 2 = 21^\circ 16' 25.5''$$

$$21^\circ 16' 25.5'' \cong 21^\circ 16' 30''$$



3.3 REFERENCIAS DEL TRAZO

Las referencias de trazo, son puntos fijos, que nos permitirán reconstruir o reubicar en cualquier momento nuestro trazo, ya que muchas veces los puntos de este desaparecen generalmente al realizar el desmonte.

Como referencias podemos mencionar:

- Árboles corpulentos
- Bases de los troncos de árboles
- Torres de iglesias
- Rocas
- Monumentos de concreto
- Caminos o estructuras existentes

Los puntos que se deben referenciar son aquellos que definen el trazo del camino tales como: PI, PC, PT, y algunos PST. Para referenciar dichos puntos se hace uso de ángulos y distancias; los ángulos se medirán en sentido de las manecillas del reloj tomando como origen el eje del camino y en los PI's, el origen será la proyección de la tangente anterior. Las distancias serán medidas a partir del punto del cadenamamiento hacia el objeto que tomaremos como referencia.

Cada punto tendrá por lo menos tres ángulos para referenciarlo y sobre cada ángulo habrá dos distancias en las cuales se ubicará el objeto usado como referencia; estos ángulos serán medidos siempre en dirección de las manecillas o hacia la derecha; y no será necesario medir los tras ángulos que se especifica en el formatos de Referencias de trazo. Cabe mencionar que este trabajo se realiza cuando se tiene ya elegido el trazo definitivo.

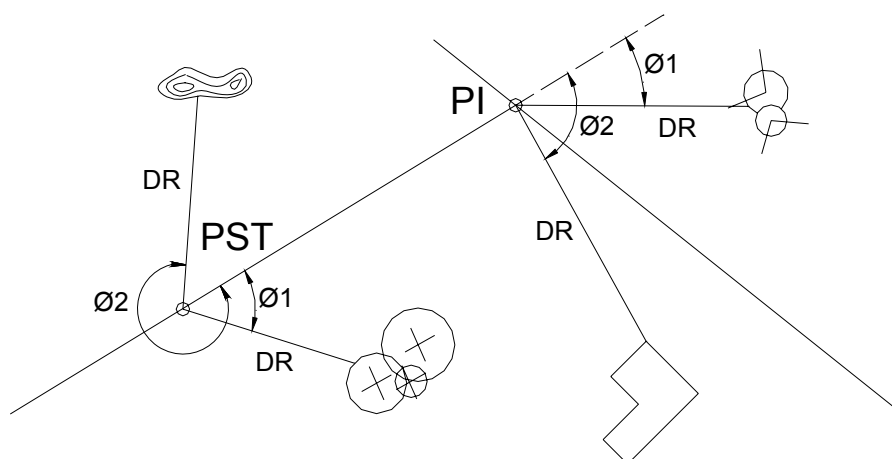
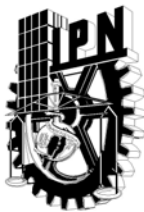


Fig. 3.3



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



A continuación explicaremos y mostraremos el formato utilizado en campo para referenciar el trazo.

Columna 1 – SIGLAS: Indica el punto que estamos referenciando el cual puede ser un PI, PC, PT o PST.

Columna 2 – ESTACION: Nos indica el cadenamiento o kilometraje del punto a referenciar.

Columna 3 – $\theta 1$: Nos indica el ángulo entre la línea del trazo y la ubicación de la referencia; ángulo que deberá medirse en sentido de las manecillas del reloj.

Columna 4 – DR1: Es un punto ubicado a distancia parcial en dirección del ángulo $\theta 1$ medida desde la estación hacia la referencia.

Columna 5 – DR2: Es una segunda distancia parcial en dirección del ángulo $\theta 1$ medida desde DR1 hasta la ubicación exacta de la referencia.

Las columnas 3,4, y 5 se repiten dos veces más, la diferencia entre estas dos repeticiones es el valor del ángulo el cual tendrá por lógica distancias diferentes.



REFERENCIA DE TRAZO

[illegible]



3.4 NIVELACION DE LAS RAMAS DEFINITIVAS

La nivelación del trazo definitivo nos sirve para determinar las elevaciones de las estaciones del trazo y de los puntos intermedios correspondientes a cambios de pendientes, fondos de arroyos, barrancas o accidentes topográficos notables. La nivelación definitiva se emplea para el estudio y proyecto de la rasante.

Los bancos de nivel de la nivelación se establecen de preferencia fuera del derecho de vía para que se puedan conservar aun después de construido el camino. También se procura dejarlos en lugares cercanos a obras como puentes, pasos a desnivel, caminos existentes, etc. y en puntos de fácil identificación o visibilidad.

A continuación explicaremos y mostraremos el formato utilizado en campo para el Registro de Nivel:

Columna 1 - ESTACION: Se refiere al cadenamiento o kilometraje de una estación en particular.

Columna 2 - LECTURAS POSITIVAS O LECTURAS DE ATRÁS (+): En esta columna se escribirán las lecturas positivas o de atrás que resultan cada vez que se cambia de posición el aparato.

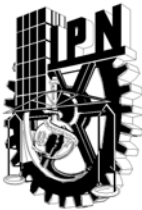
Columna 3 - ALTURA O COTA DE APARATO: Esta columna alojará el resultado de la suma de la lectura positiva o de atrás más la cota de terreno establecida, esto en el caso del BN-1. Para los siguientes BN o PL, este valor resulta de sumar la cota de terreno del BN o PL en cuestión que se tomó desde el BN o PL anterior más la lectura positiva o de atrás del mismo punto, misma que se realiza desde otra posición de aparato.

Columna 4 - LECTURAS NEGATIVAS O LECTURAS DE ADELANTE (-): Esta columna contiene las lecturas de los PL o BN.

Columna 5 – LECTURAS INTERMEDIAS: Esta columna contiene las lecturas de los puntos o estaciones intermedias.

Columna 6 - ELEVACION: Este valor resulta de la resta de la altura o cota de aparato menos la lectura negativa o de delante de los BN o PL o en su defecto de la lectura intermedia de las estaciones del cadenamiento.

Columna 7 – OBSERVACIONES: En este espacio se anotarán los datos que nos ayuden a la identificación y localización de los BN o PL.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
REGISTRO DE NIVEL

OBRA VIAL: AUTOPISTA MEXICO - TUXPAN

TRAMO: SAN PEDRO ENTRONQUE TIHUATLAN

DE KM.

183+000

A KM.

183+160

SUBTRAMO: _____

ORIGEN: ENTRONQUE ECATEPEC

ESTACIÓN	+	ALT. AP.	-	LECTURA INTERMEDIA	ELEVACION
BN(184+1)	0.084	564.926			564.842
R	0.054	561.143	3.837		561.089
R	0.023	557.403	3.763		557.38
R	2.887	556.393	3.697		553.706
183+000.00	PST			3.1	553.28
20				0.32	556.07
R	3.772	560.147	0.018		556.325
40				0.65	559.5
R	3.96	554.074	0.033		560.114
R	1.272	565.138	0.208		563.866
60				1.01	564.13
183+069.5	PST			0.27	564.87
80				0.59	564.55
183+100	PST			3.97	561.17
R	0.129	561.295	3.972		561.166
R	0.109	557.465	3.939		557.356
120				1.2	556.27
R	0.056	553.649	3.872		553.583
140				2.01	551.64
R	0.096	549.877	3.868		549.781
183+160				3.12	546.76
R	0.184	546.234	3.827		546.05

OBSERVACIONES

BN(184+1) SIGRAPAS EN RAIZ DE CUERILLO A 31.00 IZQ. DE
DE EST. 183+010.00 ELEV. PROM. =564.842 m AD NINIVE SA
565.051m AT CETYPSA

TRAZO: _____
FECHA: _____

REVISO: _____
FECHA: _____

APROBO: _____
FECHA: _____



3.5 SECCIONES TRANSVERSALES DEL EJE DE PROYECTO

Una sección transversal es un corte horizontal normal al alineamiento de las tangentes de nuestro camino, que permite definir la disposición o configuración del terreno.

Las secciones se realizan sobre la línea de trazo, comúnmente a cada 20.00 metros, el ancho que se va a levantar depende de las condiciones topográficas del lugar, si contamos con un terreno plano, estamos en un rango de 150.00 a 200.00 metros, por el contrario si el terreno es muy accidentado se levanta hasta tener un desnivel máximo de 20.00 metros. Cabe mencionar que la distancia más usual para las secciones transversales es de 30.00 metros a cada lado del eje de trazo. Este levantamiento comprende todos los accidentes notables del terreno así como ríos, barrancas, construcciones, líneas de conducción, etc., entre mayor sea el acopio de datos, mayor seguridad habrá en el proyecto de la línea definitiva.

Las secciones transversales comúnmente se dibujan en papel milimétrico a escala 1:100 horizontal y vertical, y sirven como base para dibujar la geometría que deberá construirse a lo largo del camino (Fig. 3.4).

3.5.1 DERECHO DE VIA

El derecho de vía de una carretera es la faja que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y en general, para el uso adecuado de esa vía y de sus servicios auxiliares. Su ancho será el requerido para satisfacer esas necesidades.

En general, conviene que el ancho de derecho de vía sea uniforme, pero habrá casos en que para alojar intersecciones, bancos de materiales, taludes de corte o terraplén y servicios auxiliares, se requiera disponer de un mayor ancho.

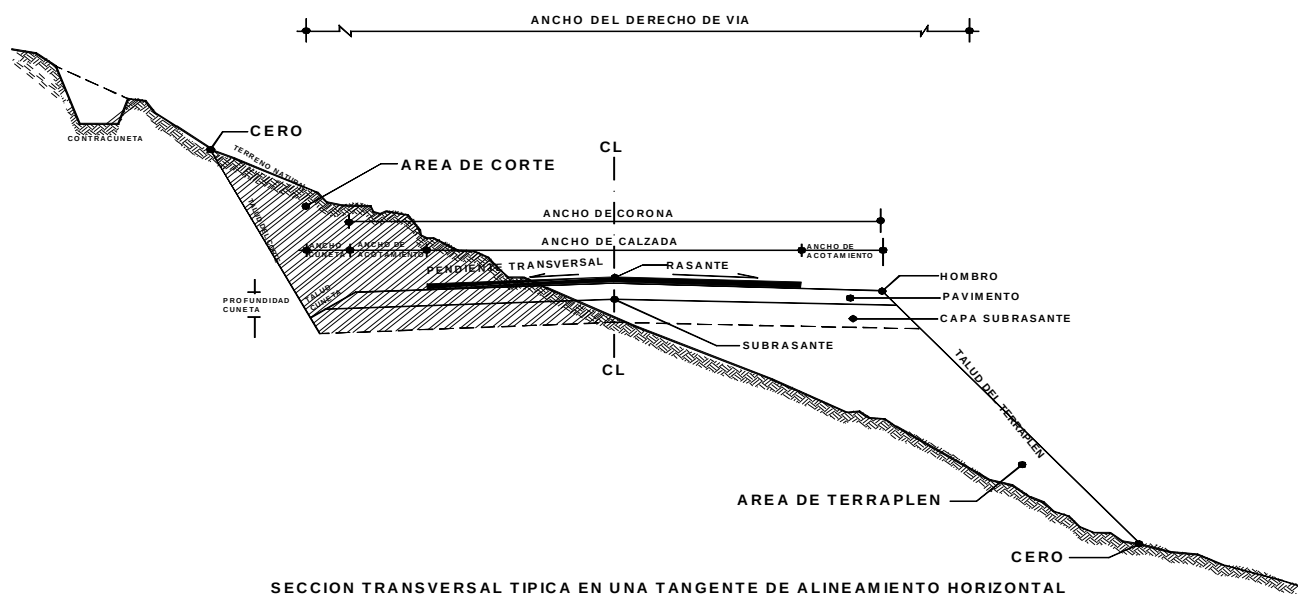


Fig. 3.4



3.6 PLANOS TOPOGRÁFICOS POR COORDENADAS

Una vez que se ha realizado el trazo final de nuestro camino, se precede con los trabajos de oficina correspondientes, que se pueden resumir como el registro de los aspectos dimensionales del camino plasmados en una serie de dibujos denominados planos, que se realizará por medio del método de Cálculo de Coordenadas, el cual explicaremos a continuación:

- a) Una vez trazado el eje del camino por medio del Método de las Deflexiones y calculados los Rumbos Astronómicos de cada una de las líneas se procede a obtener tanto el seno como el coseno de estos RAC.
- b) Ya calculados el seno y coseno de cada uno de los RAC, se multiplicaran por las distancias que existe entre cada estación del cadenamiento.
- c) Dependiendo del RAC el cual puede ser NE, NW, SE o SW, el resultado de la multiplicación antes mencionada se colocará en la columna de E u W para los senos y para cosenos se colocará en la columna de N o S.

Obtenidos los valores de las columnas de N, S, E y W se sumarán o restarán respectivamente a las coordenadas propuestas para iniciar el trazo, estas coordenadas propuestas corresponderán al cadenamiento 0+000 u origen. (4)

(4) "Apuntes de Topografía" Núñez Vazquez Ricardo; ESIA – IPN (1997, 1998)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



El formato de campo utilizado para el Cálculo de Coordenadas del Trazo Definitivo se explica y muestra a continuación:

Columna 1 - ESTACION: Se refiere al cadenamiento o kilometraje de una estación en particular sobre la cual estamos ubicados.

Columna 2 - PUNTO VISADO (PV): Es el cadenamiento o kilometraje de la siguiente estación respecto a la estación donde estamos ubicados.

Columna 3 - SUBTANGENTE ATRAS: Es la distancia que existe de un PC o TE al PI de adelante.

Columna 4 - TANGENTE: Es la distancia comprendida entre dos PST, entre un PST y un PC o la distancia comprendida entre un PT y un TE o un PC.

Columna 5 - SUBTANGENTE ADELANTE: Es la distancia existente entre un PI y un PT o la distancia que existe entre un PI y un ET.

Columna 6 - DISTANCIA: Es la longitud comprendida entre un PST y un PI o entre dos PI's.

Columna 7 - DEFLEXIONES: Indica el valor del ángulo entre dos líneas de trazo consecutivas y puede ser derecha o izquierda.

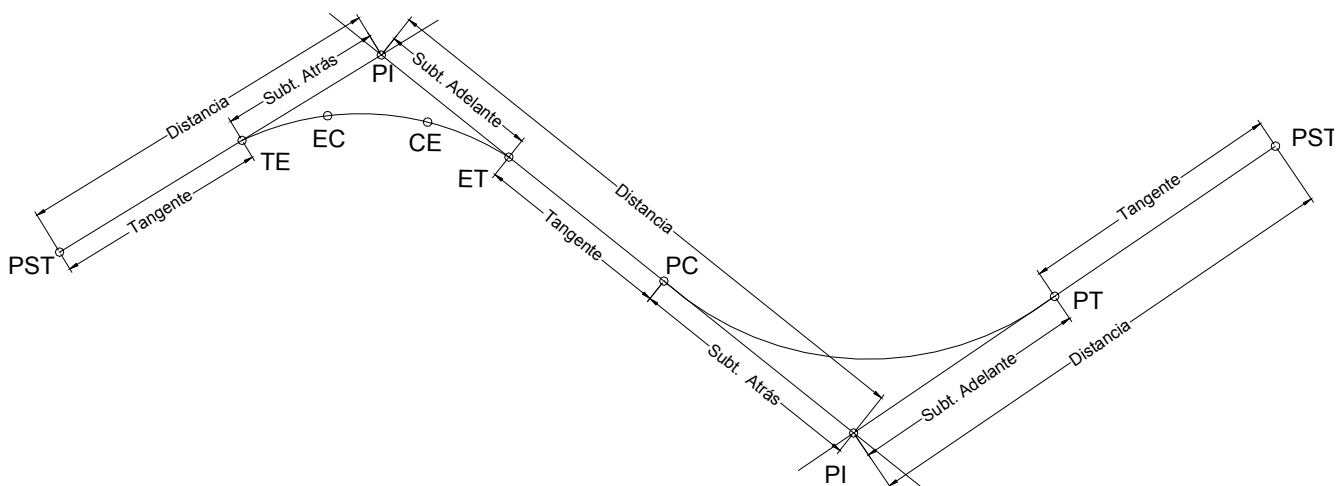


Fig. 3.5

Columna 8 - RUMBO ASTRONÓMICO O AZIMUT: Es como su nombre lo indica, el RAC o Azimut de cada una de las líneas de nuestro trazo.

Columna 9 - SENO: Valor correspondiente al seno del RAC o Azimut de las líneas del trazo.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Columna 10 - (+) E: Valor que resulta de la multiplicación de la distancia correspondiente por el seno del RAC o Azimut.

Columna 11 - (-) W: Valor que resulta de la multiplicación de la distancia correspondiente por el seno del RAC o Azimut.

Columna 12 - COSENO: Valor correspondiente al coseno del RAC o Azimut de las líneas del trazo.

Columna 13 - (+) N: Valor que resulta de la multiplicación de la distancia correspondiente por el coseno del RAC o Azimut.

Columna 14 - (-) S: Valor que resulta de la multiplicación de la distancia correspondiente por el coseno del RAC o Azimut.

Columna 15 – COORDENADA X: Valor correspondiente a la coordenada X de una cierta estación. Este valor resulta de sumar el valor de la columna 13 o de restar el valor de la columna 14 (según en RAC) a las coordenadas propuestas para el cadenamiento 0+000 o en su defecto a las coordenadas de la estación que corresponda.

Columna 16 – COORDENADA Y: Valor correspondiente a la coordenada Y de una cierta estación. Este valor resulta de sumar el valor de la columna 10 o de restar el valor de la columna 11 (según en RAC) a las coordenadas propuestas para el cadenamiento 0+000 o en su defecto a las coordenadas de la estación que corresponda.

Hay que recordar que en los planos topográficos de trazo de carreteras también deben incluirse los siguientes datos:

- 1.- Planta de configuración topográfica del terreno.
- 2.- Datos de las curvas existentes en el trazo.
- 3.- Datos del alineamiento horizontal y vertical.
- 4.- Perfil topográfico de las líneas del camino.



4. GEOTECNIA

4.1 NATURALEZA, CLASIFICACIÓN Y ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL SUELO.

4.1.1 NATURALEZA

Los suelos son conjuntos de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas preexistentes. Los suelos presentan dos propiedades esenciales que son:

- a) El conjunto posee una organización definida y propiedades que varían "vectorialmente". En general, en los valores de las propiedades, verticalmente ocurren cambios mucho más rápidos que horizontalmente.
- b) La organización de las partículas minerales es tal que el agua, que como se sabe está presente en todo suelo en mayor o menor cantidad, puede, si hay la suficiente, tener "continuidad", en el sentido de distribución de presiones. El agua no ocupa huecos aislados, sin intercomunicación; puede llenar los poros que dejan entre sí las partículas minerales y que se intercomunican, de manera que el agua forma una masa continua que contiene al mineral en su seno.

Los suelos pueden ser residuales o transportados, según se les encuentre en el mismo lugar en que se han generado o en lugar diferente.

4.1.2 CLASIFICACIÓN

La granulometría es la forma más fácil de clasificar a un suelo, basta dividirlo en sus fracciones granulométricas para tenerlo "clasificado", si previamente se conviene en dar una denominación particular a las distintas fracciones, según queden comprendidas en una determinada gama de tamaños.

A pesar de su sencillez, los criterios de clasificación puramente granulométricos resultan hoy poco apropiados, porque la correlación de la distribución granulométrica con las propiedades fundamentales (resistencia, compresibilidad, relaciones esfuerzo-deformación, permeabilidad, etc.), resulta demasiado insegura y sujeta a excepciones y casos especiales.

Entre los diversos estudios tendientes a encontrar un sistema de clasificación que satisfaga los distintos campos de aplicación a Mecánica de Suelos, destacan los efectuados por el Doctor A. Casagrande en la Universidad de Harvard, los cuales cristalizaron en el conocido *Sistema de Clasificación de Aeropuertos*, así originalmente llamado, debido a que estaba orientado para uso en aquel tipo de obras.

El sistema clasifica a los suelos finos principalmente con base en sus características de plasticidad, cuya correlación con las propiedades mecánicas básicas es consistente y confiable. Los suelos gruesos, mayores que la malla N° 200 (0.074 mm de abertura), se clasifican sobre todo con criterio granulométrico. No está claramente definido el tamaño máximo de los suelos que quedan comprendidos en el Sistema, pero como han de poder ser cribados, frecuentemente se fija en forma arbitraria en 7.6 cm. (3"). El Sistema Unificado nació como medio para clasificar suelos finos únicamente (menores que la malla 200, con 0.074 mm de abertura), y después fue extendido hasta incluir gravas y arenas.



4.1.2.1 SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS UTILIZADO EN LA S.C.T.

Para fines de clasificación, los materiales que constituyen la corteza terrestre, la S.C.T. los agrupa en 3 divisiones: "suelos", "fragmentos de roca" y "rocas".

El término "suelo" se aplica a todas aquellas partículas de material menores de 7.6 cm. (3"). El término "fragmentos de roca" se aplica a los fragmentos mayores de 7.6 cm. (3") y que no forman parte de una formación rocosa masiva. El término "roca" se usa para formaciones rocosas más o menos continuas o masivas.

El "suelo" se subdivide en suelos de partículas finas o "finos" y suelos de partículas gruesas o "gruesos". Los "finos" son aquellos cuyas partículas son menores que la malla N° 200, y los "gruesos" son los que se retienen en la malla N° 200 y pasan la malla de 7.6 cm. (3"). Los "finos" comprenden los suelos orgánicos, limos y arcillas. Los suelos orgánicos son los que contienen una cantidad apreciable de materia orgánica, y un material fino orgánico es limo o arcilla, según sus características de plasticidad, como se describe más adelante. Los suelos en que predomina mucho la materia orgánica quedan en un grupo denominado "turba".

Los "gruesos" comprenden los grupos denominados arena y grava, siendo la frontera entre ellos la malla N° 4. Los "fragmentos de roca" se subdividen en "chicos", "medianos" y "grandes". Los fragmentos chicos son aquellos que se retienen en la malla de 7.6 cm. (3") y su dimensión máxima es menor de 30 cm. Los fragmentos medianos son aquellos cuya dimensión máxima está comprendida entre 30 cm. y 1 m. Los fragmentos grandes son aquellos cuya dimensión máxima es mayor de 1 m.

Cada uno de estos grandes grupos tiene un símbolo genérico, dado por una o más letras alusivas. En la tabla II-1 Ref. 1 se resumen los grupos que intervienen en el Sistema de Clasificación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (1)

(1) Rico Rodríguez y Hermilo del Castillo. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres tomo I. Editorial Limusa. 1996. Página 94.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



TABLA II.1

Clasificación de materiales pétreos y suelos

DIVISIONES	SUB - DIVISIONES	GRUPO	SÍMBOLO	DIMENSIONES DE LAS PARTICULAS
SUELOS	ALTAMENTE ORG.	TURBA	Pt	-----
	FINOS	ORGANICOS	O	< MALLA # 200
		LIMOS	M	< MALLA # 200
		ARCILLAS	C	< MALLA # 200
	GRUESOS	ARENAS	S	> # 200 Y < # 4
		GRAVAS	G	> # 4 Y < 7.6 cm (3")
FRAGMENTOS DE ROCA		CHICOS	Fc	> 7.6 cm. (3") y < 30 cm.
		MEDIANOS	Fm	> 30 cm. Y < 1.00 m
		GRANDES	Fg	> 1.00 m.
ROCAS	IGNEAS	EXTRUSIVAS	Rie	-----
		INTRUSIVAS	Rii	-----
	SEDIMENTARIAS	CLASTICAS	Rsc	-----
		QUIMICAS	Rsq	-----
		ORGANICAS	Rso	-----
	METAMORFICAS	NO FOLIADAS	Rmn	-----
		FOLIADAS	Rmf	-----

La base del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es la Carta de plasticidad, resultado una investigación realizada por A. Casagrande en el laboratorio. En esta investigación se vio que, si se sitúan los suelos en un sistema coordinado que tenga el Límite Líquido en el eje de las abscisas y al Índice Plástico en el de las ordenadas, su agrupamiento no ocurre al azar sino que se agrupan de manera que en cada zona de la carta se sitúan suelos con características de plasticidad y propiedades mecánicas o e hidráulicas cualitativamente definidas; del mismo modo que los suelos vecinos poseen propiedades similares, los alejados las tienen diferentes.

El Sistema Unificado abarca tanto a los suelos gruesos como a los finos, distinguiéndolos por el cribado a través de la malla 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino, si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas. (2)

(2) Rico Rodríguez y Hermilo del Castillo. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres tomo I. Editorial Limusa. 1996. Página 95.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

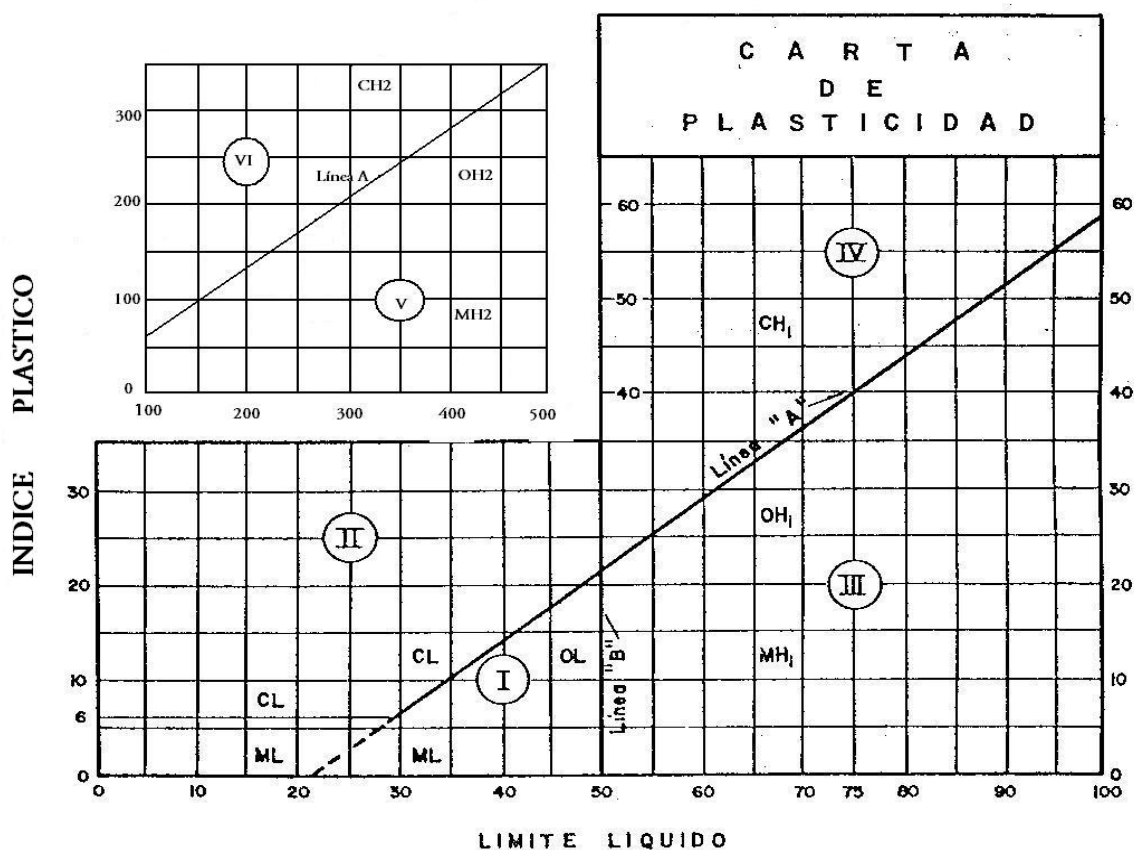


Fig. 4.1, CARTA DE PLASTICIDAD

SUELOS GRUESOS

El símbolo de cada grupo está formado por dos letras mayúsculas, que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más típicos de ese grupo. El significado se especifica a continuación:

Gravas y suelos en que predominan aquéllas. Símbolo genérico G (gravel)

Arenas y suelos arenosos. Símbolo S (sand).

Las gravas y las arenas se separan con la malla N° 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico G si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla 200) no pasa la malla N° 4, y es del grupo genérico S en caso contrario.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Las gravas y las arenas se subdividen en 4 tipos:

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

1) GRUPOS GW Y SW

Estos suelos son bien graduados y con pocos finos, o limpios por completo. En estos grupos el contenido de partículas finas no es mayor al 5% en peso. En el laboratorio la graduación se juzga por medio por medio de los coeficientes de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c). Para considerar una grava bien graduada se exige que su coeficiente de uniformidad sea mayor que 4, mientras el de curvatura debe estar comprendido entre 1 y 3. En el caso de las arenas bien graduadas, el coeficiente de uniformidad será mayor que 6, en tanto que el de curvatura debe estar entre los mismos límites anteriores.

2) GRUPOS GP Y SP

Estos suelos son mal graduados; es decir, son de apariencia uniforme, o presentan predominio de un tamaño o de un rango de tamaños, faltando algunos intermedios; en laboratorio deben satisfacer los requisitos señalados para los dos grupos anteriores, en lo referente a su contenido de partículas finas, no cumplen los requisitos de graduación indicados para ser considerados como bien graduados. Dentro de estos grupos están comprendidas las gravas uniformes, tales como las que se depositan en los lechos de los ríos, las arenas uniformes, de médanos y playas y las mezclas de grava y arenas finas, provenientes de estratos diferentes obtenidas durante un proceso de excavación.

3) GRUPOS GM Y SM

En estos grupos el contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo-deformación y la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa; en la práctica se ha visto que esto ocurre para porcentajes de finos superiores a 12%, en peso; por lo que esa cantidad se toma como frontera inferior de dicho contenido de partículas finas. La plasticidad de los finos en estos grupos varía entre “nula” y “media”; es decir, es requisito que los límites de plasticidad localicen a la fracción que pase la malla N° 40 abajo de la *Línea A* o bien que su índice de plasticidad sea menor que 4.

4) GRUPOS GC Y SC

El contenido de finos de estos grupos de suelos debe ser mayor que 12%, en peso, y por las mismas razones expuestas para los grupos GM y SM. Sin embargo, en estos casos, los finos son de media a alta plasticidad; es ahora requisito que los límites de plasticidad sitúen a la fracción que pase la malla N° 40 sobre la *Línea A*, teniéndose, además, la condición de que el índice plástico sea mayor que 7.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



A los suelos gruesos con contenido de finos comprendido entre 5% y 12%, en peso, el Sistema Unificado los considera casos de frontera adjudicándoles un símbolo doble. Por ejemplo, un símbolo GP - GC indica una grava mal graduada, con un contenido entre 5% y 12% de finos plásticos (arcillosos).

Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a casos de frontera. Por ejemplo, el símbolo GW-SW se usará para un material bien graduado, con menos de 5% de finos y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.

SUELOS FINOS

También en este caso el Sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos, y dando lugar a las siguientes divisiones:

- a) Limos inorgánicos, de símbolo genérico M (del sueco *mo* y *mjala*).
- b) Arcilla inorgánicas, de símbolo genérico C (*clay*).
- c) Limos y arcillas orgánicas, de símbolo genérico O (*organic*).

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdividen, según su límite líquido, en dos grupos. Si éste es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L (*low compressibility*), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL. Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (*high compressibility*), teniéndose así los grupos MH, CH y OH.

Ha de notarse que las letras L y H no se refieren a baja o alta plasticidad, pues esta propiedad del suelo, como se ha dicho, ha de expresarse en función de dos parámetros (LL e Ip), mientras que en el caso actual sólo el valor del límite líquido interviene. Por otra parte, ya se hizo notar que la compresibilidad de un suelo es una función directa del límite líquido, de modo que un suelo es más compresible a mayor límite líquido.

También es preciso tener en cuenta que el término compresibilidad tal como aquí se trata, se refiere a la pendiente del tramo virgen de la curva de compresibilidad y no a la condición actual del suelo inalterado pues éste puede estar seco parcialmente o preconsolidado.

Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt (del inglés *peat*; turba).

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos introdujo una modificación en la Carta de Plasticidad. La modificación se refiere a los suelos arriba de la *Línea A* con índice plástico comprendido entre 4 y 7, y cambia la clasificación de los suelos que caen en la zona punteada de la figura (Referencia 2). Abajo se muestra la modificación en la Fig. 4-2 (3), que es la carta de Plasticidad, tal como hoy suele usarse.

(3) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo I fundamentos de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1998. Página 155.



Además en el estudio que sigue de los grupos de suelos finos se mencionará también la citada modificación.

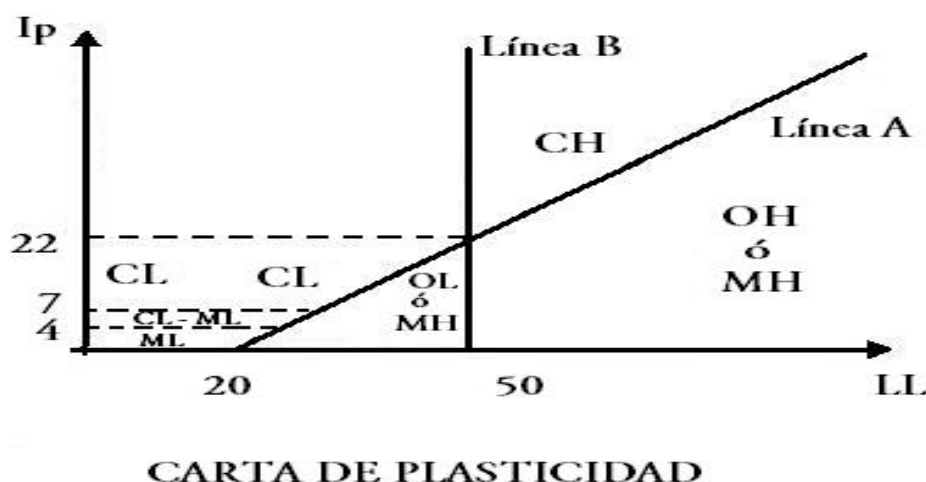


Fig. 4.2

Los distintos grupos de suelos finos ya mencionados se describen a continuación en forma más detallada.

GRUPOS CL Y CH

Según ya se dijo, en estos grupos se encasillan las arcillas inorgánicas. El grupo CL comprende a la zona sobre la *Línea A*, definida por $LL < 50\%$ e $I_p > 7\%$.

El grupo Ch corresponde a la zona arriba de la *Línea A*, definida por $LL > 50\%$. Las arcillas formadas por descomposición química de cenizas volcánicas, tales como la bentonita o la arcilla del Valle de México, con límites líquidos de hasta 500%, se encasillan en el grupo CH.

GRUPOS ML Y MH

El grupo ML comprende la zona bajo la *Línea A*, definida por $LL < 50\%$ y la porción sobre la *Línea A* con $I_p < 4$. El grupo MH corresponde a la zona debajo de la *Línea A*, definida por $LL > 50\%$.

En estos grupos quedan comprendidos los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos. Los tipos comunes de limos inorgánicos y polvo de roca, con $LL < 30\%$, se localizan en el grupo ML. Los depósitos eólicos, del tipo Loess, con $25\% < LL < 35\%$ usualmente, caen también en este grupo.

Un tipo interesante de suelos finos que caen en esta zona son las arcillas del tipo caolín, derivados de los feldspatos de rocas graníticas, (estas arcillas son bastante estables en presencia del agua); a pesar de que el nombre de arcillas está muy difundido para estos suelos, algunas de sus características corresponden a limos inorgánicos; por ejemplo, su resistencia en estado seco es relativamente baja y en



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



estado húmedo muestran cierta reacción a la prueba de dilatancia; sin embargo son suelos finos y suaves con un alto porcentaje de partículas *tamaño de arcilla*, comparable con el de otras arcillas típicas, localizadas arriba de la *Línea A*. En algunas ocasiones estas arcillas caen en casos de frontera ML-CL y MH-CH, dada su proximidad con dicha línea.

Las tierras diatomáceas (depósitos de polvo silícico, generalmente de color blanco) prácticamente puras suelen no ser plásticas, por más que su límite líquido pueda ser mayor que 100% (MH). Sus mezclas con otros suelos de partículas finas son también de los grupos ML o MH.

Los suelos finos que caen sobre la *Línea A* y con $4\% < I_p < 7\%$ se consideran como casos de frontera, asignándoles el símbolo doble CL-ML.

GRUPOS OL Y OH

Las Zonas correspondientes a estos dos grupos son las mismas que las de los grupos ML y MH, respectivamente, si bien los orgánicos están siempre en lugares próximos a la *Línea A*.

Una pequeña adición de materia orgánica coloidal hace que el límite líquido de una arcilla inorgánica crezca, sin apreciable cambio de su índice plástico; esto hace que el suelo se desplace hacia la derecha en la Carta de Plasticidad, pasando a ocupar una posición más alejada de la *Línea A*.

GRUPOS PT.

Las pruebas de límites pueden ejecutarse en la mayoría de los suelos turbosos, después de un completo remoldeo. El límite líquido de estos suelos suele estar entre 300% y 500%, quedando su posición en la Carta de Plasticidad netamente debajo de la *Línea A*; el índice plástico normalmente varía entre 100% y 200%.

Similarmente al caso de los suelos gruesos, cuando un material fino no cae claramente en uno de los grupos, se usarán para él símbolos dobles de frontera. Por ejemplo, MH-CH representará un suelo fino con $LL > 50\%$ e índice plástico tal que el material quede situado prácticamente sobre la *Línea A*.

El sistema Unificado de Clasificación de Suelos no se concreta ubicar al material dentro de uno de los grupos enumerados, sino que abarca, además, una descripción del mismo, tanto alterado como inalterado.

En los suelos gruesos, en general, deben proporcionarse los siguientes datos: nombre típico, porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo de las partículas, angulosidad y dureza de las mismas, características de su superficie, nombre local y geológico y cualquier otra información pertinente, de acuerdo con la aplicación ingenieril que se va a hacer del material.

En suelos gruesos en estado inalterado, se añadirán datos sobre estratificación, compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje.

En los suelos finos, se proporcionarán, en general, los siguientes datos: nombre típico, grado y carácter de su plasticidad, cantidad y tamaño máximo de las partículas gruesas, color del suelo húmedo, olor,



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



nombre local y geológico y cualquier otra información descriptiva pertinente, de acuerdo con la aplicación que se vaya a hacer del material.

Respecto del suelo en estado inalterado, deberá agregarse información relativa a su estructura, estratificación, consistencia en los estados inalterados y remoldeado, condiciones de humedad y características de drenaje.

SUELOS COHESIVOS: Los suelos cohesivos son los que poseen cohesión, es decir, la propiedad de atracción intermolecular, como las arcillas.

SUELOS NO COHESIVOS: Son los formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava.

4.1.3 ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL SUELO

IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE SUELOS GRUESOS:

Extendiendo una muestra seca de suelo sobre una superficie plana puede juzgarse, en forma aproximada, de su graduación, tamaño de partículas, forma y composición mineralógica. Para distinguir las gravas de las arenas puede usarse el tamaño $\frac{1}{2}$ cm. como equivalente a la malla N° 4, y para la estimación del contenido de finos basta considerar que las partículas de tamaño correspondiente a la malla N° 200 son aproximadamente las más pequeñas que pueden distinguirse a simple vista.

IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE SUELOS FINOS:

Las principales bases de criterio para identificar suelos finos en el campo son la investigación de las características de dilatancia, de tenacidad y de resistencia en estado seco. El color y el olor del suelo pueden ayudar, especialmente en suelos orgánicos.

El conjunto de pruebas citadas se efectúa en una muestra de suelo previamente cribado por la malla N° 40 o, en ausencia de ella, previamente sometido a un proceso manual equivalente.

DILATANCIA:

En esta prueba, una pastilla con el contenido de agua necesario para que el suelo adquiera una consistencia suave, pero no pegajosa, se agita alternativamente en la palma de la mano, golpeándola secamente contra la otra mano, manteniéndola apretada entre los dedos. Un suelo fino, no plástico, adquiere con el anterior tratamiento, una apariencia de hígado, mostrando agua libre en su superficie, mientras se le agita, en tanto que al ser apretado entre los dedos, el agua, superficial desaparece y la muestra se endurece, hasta que, finalmente, empieza a desmoronarse como un material frágil, al aumentar la presión. Si el contenido de agua de la pastilla es el adecuado, un nuevo agitado hará que los fragmentos producto del desmoronamiento vuelvan a constituirse.

La velocidad con la que la pastilla cambia su consistencia y con la que el agua aparece y desaparece define la intensidad de la reacción e indica el carácter de los finos del suelo. Una reacción rápida es típica en arenas finas uniformes, no plásticas (SP y SM) y en algunos limos inorgánicos (ML), particularmente del tipo *polvo de roca*; también en tierras diatomáceas (MH). Al disminuir la uniformidad del suelo, la reacción se hace menos rápida. Contenidos ligeros de arcilla coloidal imparten algo de



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



plasticidad al suelo, por lo que la reacción en estos materiales se vuelve más lenta; esto sucede en los limos inorgánicos y orgánicos ligeramente plásticos (ML, OL), en arcillas muy limosas (CL-ML) y en muchas arcillas del tipo caolín (ML, ML-CL, MH y MH-CH). Una reacción extremadamente lenta o nula es típica de arcillas situadas sobre la Línea A (CL, CH) y de arcillas orgánicas de alta plasticidad (OH).

TENACIDAD:

La prueba se realiza sobre un espécimen de consistencia suave similar a la masilla. Este espécimen se rola hasta formar un rollito de unos 3 mm de diámetro aproximado, que se amasa y vuelve a rolar varias veces. Se observa cómo aumenta la rigidez del rollito a medida que el suelo se acerca al límite plástico. Sobrepasado el límite plástico, los fragmentos en que se parta el rollito se juntan de nuevo y amasan ligeramente entre los dedos, hasta el desmoronamiento final.

Cuanto más alta sea la posición del suelo respecto a la *Línea A* (CL, CH), es más rígido y tenaz el rollito cerca del límite plástico y más rígida también se nota la muestra al romperse entre los dedos, abajo del límite plástico. En suelos ligeramente sobre la *Línea A*, tales como arcillas glaciales (CL, CH) los rollitos son de media tenacidad cerca de su límite plástico y la muestra comienza pronto a desmoronarse en el amasado, al bajar su contenido de agua. Lo suelos que caen bajo la *Línea A* (ML, MH, OL y OH) producen rollitos poco tenaces cerca del límite plástico, casi sin excepción; en el caso de suelos orgánicos y micáceos, que caigan muy debajo de la *Línea A*, los rollitos se muestran muy débiles y esponjosos. También en todos los suelos bajo la *Línea A*, excepto los OH próximos a ella, la masa producto de la manipulación entre los dedos posterior al rolado, se muestra suelta y se desmorona fácilmente, cuando el contenido de agua es menor que el correspondiente al límite plástico.

RESISTENCIA EN ESTADO SECO:

La resistencia de una muestra de suelo, previamente secado, al romper bajo presiones ejercidas por los dedos, es un índice del carácter de su fracción coloidal.

Los limos ML o MH exentos de plasticidad no presentan prácticamente ninguna resistencia en estado seco y sus muestras se desmoronan con muy poca presión digital; el polvo de roca y la tierra diatomácea son ejemplos típicos. Una resistencia en estado seco baja es representativa de todos los suelos de baja plasticidad, localizados bajo la *Línea A* y aun de algunas arcillas inorgánicas muy limosas, ligeramente sobre la *Línea A* (CL). Resistencias medias definen generalmente arcillas del grupo CL o, en ocasiones, otras de los grupos CH, MH (arcillas tipo caolín) u OH, que se localicen muy cerca de la *Línea A*. La mayoría de las arcillas CH tienen resistencias altas, así como las CL localizadas muy arriba de la *Línea A*. Materiales OH con altos límites líquidos y próximos a la *Línea A* también exhiben grandes resistencias. Por último, resistencias muy altas son típicas de arcillas inorgánicas del grupo CH, localizadas en posiciones muy elevadas respecto a la *Línea A*.

COLOR:

En exploraciones de campo el color del suelo suele ser un dato útil para diferenciar los diferentes estratos y para identificar tipos de suelo, cuando se posea experiencia local. En general, existen también algunos criterios relativos al color; por ejemplo, el color negro y otros de tonos oscuros suelen ser indicativos de la presencia de materia orgánica coloidal. Los colores claros y brillantes son propios, más bien, de suelos inorgánicos.



OLOR:

Los suelos orgánicos (OH y OL) tienen por lo general un olor distintivo, que puede usarse para identificación; el olor es particularmente intenso si el suelo está húmedo, y disminuye con la exposición al aire, aumentando, por lo contrario, con el calentamiento de la muestra húmeda.

ESTADOS DE CONSISTENCIA. LÍMITES DE PLASTICIDAD

Según Atterberg la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua.

La plasticidad puede definirse como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg.

1. Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
2. Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
3. Estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
4. Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
5. Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

La frontera convencional entre los estados plástico y semisólido fue llamada por Atterberg límite plástico. Atterberg consideraba que la plasticidad del suelo quedaba determinada por el límite líquido y por la cantidad máxima de una cierta arena, que podía ser agregada al suelo, estando éste con el contenido de agua correspondiente al límite líquido, sin que perdiera por completo su plasticidad. Además encontró que la diferencia entre los valores de los límites de plasticidad, llamada *índice plástico*, se relacionaba fácilmente con la cantidad de arena añadida, siendo de más fácil determinación, por lo que sugirió su uso, en lugar de la arena, como segundo parámetro para definir la plasticidad.

$$I_p = LL - LP$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



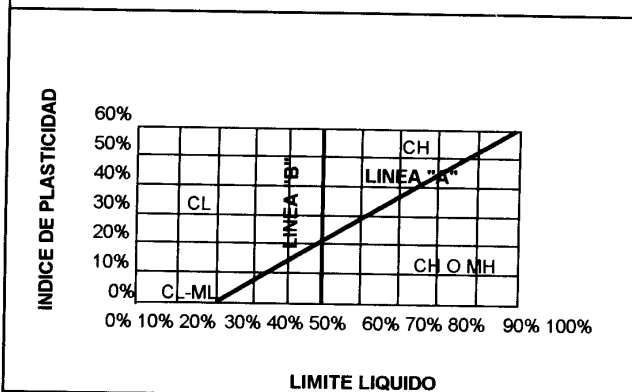
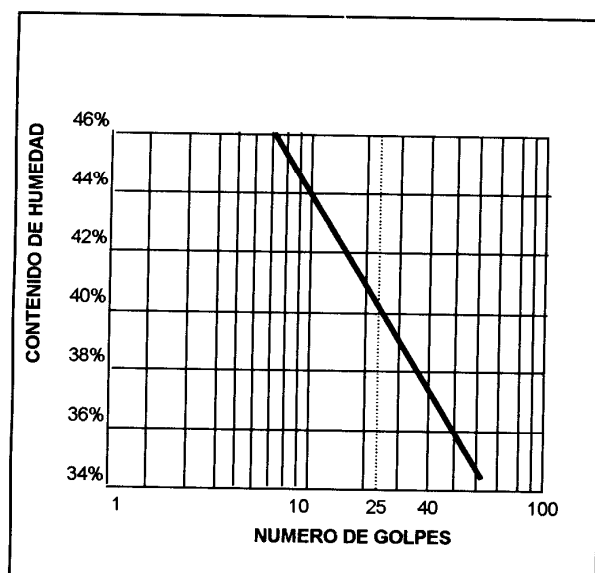
LIMITES DE CONSISTENCIA			
Proyecto: AUTOPISTA MEXICO - TUXPAN KM 183+000 AL KM 190+000			
Sondeo: SM - 1	Muestra: 2	Profundidad: 19.70-19.85	
Fecha:		Revisó:	
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			

LIMITE LIQUIDO LL

CAPSULA No.	1	2	3	4	5
No. DE GOLPES	47	35	25	19	8
PESO MUESTRA HUMADA + CAP. (gr)	29.5	30.4	35	29.94	33.9
PESO MUESTRA SECA + CAP. (gr)	25.6	26.1	29.4	24.4	27.9
PESO DE LA CAPSULA (gr)	14.8	14.7	14.7	10.8	14.7
PESO DEL AGUA (gr)	3.9	4.3	5.6	5.54	6
PESO DEL SUELO SECO (gr)	10.8	11.4	14.7	13.6	13.2
PESO MUESTRA HUMADA + CAP. (gr)	36.11%	37.72%	38.10%	40.74%	45.45%

LIMITE PLASTICO LP

CAPSULA No.	6	7			
PESO MUESTRA HUMADA + CAP. (gr)	26.8	20			
PESO MUESTRA SECA + CAP. (gr)	24.9	18.5			
PESO DE LA CAPSULA (gr)	18.1	11.9			
PESO DEL AGUA (gr)	1.9	1.5			
PESO DEL SUELO SECO (gr)	6.8	6.6			
PESO MUESTRA HUMADA + CAP. (gr)	27.94%	28.73%			



W= 37.42% CONTENIDO DE AGUA
 LL= 39.70% LIMITE LIQUIDO
 LP= 25.33% LIMITE PLASTICO
 IP= 14.37% INDICE DE PLASTICIDAD



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



SISTEMA CLASIFICACION SUCS

FINOS (≥ 50 % pasa 0.08 mm)

Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq. wl	Indice de Plasticidad * IP
Limas Inorgánicas	ML	< 50	< 0.73 (wl – 20) ó < 4
	MH	> 50	< 0.73 (wl – 20)
Arcillas Inorgánicas	CL	< 50	> 0.73 (wl – 20) y > 7
	CH	> 50	> 0.73 (wl – 20)
Limos o Arcillas Orgánicas	OL	< 50	** wl seco al horno ≤ 75 % del wl seco al aire
	OH	> 50	
Alimentos Orgánicos	P _T	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	

Si $IP \cong 0.73 (wl - 20)$ ó si IP entre 4 y 7
 E $IP > 0.73 (wl - 20)$, usar símbolo doble:
 CL-ML, CH-OH

** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente wl seco al horno

En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML.

Si wl = 50; CL-CH ó ML-MH



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



SISTEMA CLASIFICACIÓN SUCS						
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)						
Tipo de Suelo	Símbolo	% RET 5 mm.	% Pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP
Gravas	GW	< 50% de lo Ret. En 0.08mm	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≤ 6	<1ó>3	
	GM		> 12			< 0.73 (wl-20) ó <4
	GC					> 0.73 (wl-20) ó >7
Arenas	SW	< 50% de lo Ret. En 0.08 mm	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			≤ 6	<1ó>3	
	SM		> 12			< 0.73 (wl-20) ó <4
	SC					> 0.73 (wl-20) y >7
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM,SW-SM, SP-SC.						
** Si IP≅ 0.73 (wl-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (wl-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.						
CU = $\frac{\varnothing 60}{\varnothing 10}$				CC = $\frac{\varnothing 30^2}{\varnothing 60 * \varnothing 10}$		

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS



4.1.4 REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA

La gráfica granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren a porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semilogarítmica (eje de abscisas en escala logarítmica) resulta preferible a la simple representación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos, usando un módulo práctico de escala.

La forma de la curva da inmediata idea de la distribución granulométrica del suelo; un suelo constituido por partículas de un solo tamaño, estará representado por una línea vertical (pues el 100% de sus partículas, en peso, es de menor tamaño que cualquiera mayor que el que el suelo posea una curva muy tendida indica gran variedad en tamaños (suelo bien graduado).

Como una medida simple de la uniformidad de un suelo, Allen Hazen propuso el coeficiente de uniformidad.

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

En donde:

D_{60} : Tamaño tal, que el 60%, en peso, del suelo, sea igual o menor.

D_{10} : Llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10% , en peso, del suelo.

En realidad, la relación C_u es un coeficiente de *no uniformidad*, pues su valor numérico decrece cuando la uniformidad aumenta. Los suelos con $C_u < 3$ se consideran muy uniformes; aun las arenas naturales muy uniformes rara vez presentan $C_u < 2$.

Como dato complementario, necesario para definir la graduación, se define el coeficiente de curvatura del suelo con la expresión:

$$C_c = (D_{30})^2 / D_{60} \times D_{10}$$

D_{30} se define análogamente que los D_{10} y D_{60} anteriores. Esta relación tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien graduados, con amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio.



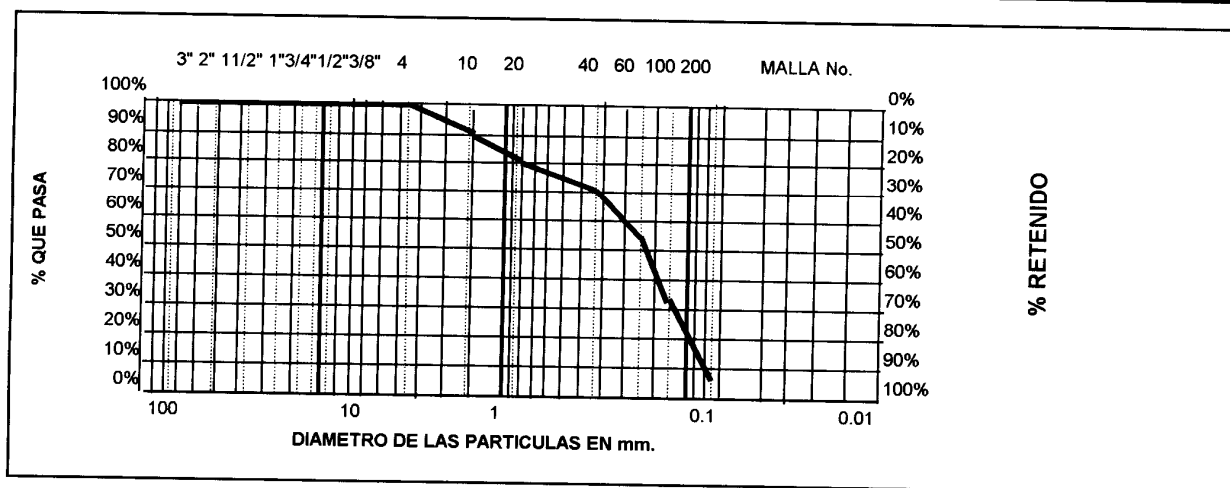
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



DETERMINACION DEL ANALISIS GRANULOMETRICO

Proyecto: AUTOPISTA MEXICO - TUXPAN KM 183+000 AL KM 190+000			
Localización:	Sondeo: SM-1	Muestra: 12-2	Prof: 1.35 - 1.95 m
Operador :	Reviso:	Fecha:	

V I A S E C A	Malla	Abertura	Peso Retenido gr	%Parcial retenido	%Acumulativo que pasa	OBSERVACIONES
	3"	76.2	0.00	0%	100%	Analisis efectuado con la muestra total de 21.50 gr Humedad testigo Grava w = _____ % Arena w = _____ % % material menor que la malla No. 4 % de grava
	2"	50.8	0.00	0%	100%	
	1 1/2"	38.1	0.00	0%	100%	
	1"	25.4	0.00	0%	100%	
	3/4"	19.1	0.00	0%	100%	
	1/2"	12.7	0.00	0%	100%	
	3/8"	9.5	0.00	0%	100%	
	No. 4	4.69	0.00	0%	100%	
	Sumas =					
% ACUM. QUE PASA 100.00 % DESPUES DE LA MALLA DE MUESTRA.						
		gramos		100.00%	100.00%	OBSERVACIONES ANALISIS EFECTUADO CON MUESTRA DE 19.4 gr DEL MATERIAL MENOR QUE LA MALLA No. 4 % Material fino menor a la malla 200 Charola No. _____
10	2	2.1	10.82%	89.18%	89.15%	
20	0.841	1.5	7.73%	81.44%	81.44%	
40	0.42	2.2	11.34%	70.10%	70.10%	
60	0.25	2.5	12.89%	57.22%	57.22%	
100	0.149	4.6	23.71%	33.51%	33.51%	
200	0.074	4.8	24.74%	8.76%	8.76%	
sumas		17.7	91.24%			
charola		1.7	8.76%			
Sumas =		19.40	100.00%	chequeo con muestra seca		



D10	D30	D60	Cu	Cc	GRAVA	ARENA	FINOS	SUCS
mm.	mm.	mm.			%	%	%	
0.08	0.136	0.28	3.5	0.81	0.00%	91.24%	8.76%	SP-SM

OBSERVACIONES: _____



4.2 BANCOS DE PRÉSTAMOS DE MATERIALES

BANCOS DE MATERIAL.

Es un lugar donde se localiza material como son suelos y rocas los cuales podemos explotar en la construcción de una vía terrestre.

4.3 LOCALIZACION, EXPLORACION Y MUESTREO

4.3.1 LOCALIZACIÓN

La localización de un banco es más que descubrir un lugar en donde exista un volumen alcanzable y explotable de suelos o rocas que se puedan emplear en la construcción de una determinada parte de una vía terrestre. Se tiene que tener la seguridad de que los bancos elegidos sean los de mejor calidad entre todos los disponibles. Primero se tomara en cuenta la calidad de los materiales extraíbles; En segundo lugar se ha de tomar en cuenta la accesibilidad; En tercer lugar, estos bancos tendrán que ser los que produzcan las mínimas distancias de acarreo de los materiales a la obra. En cuarto lugar los materiales encontrados en los bancos tienen que ser los que se presten a los procedimientos constructivos más sencillos y económicos durante su tendido y colocación final en la obra. Y por último, los bancos deben estar localizados de tal manera que no conduzcan a problemas de tipo legal y sin perjudicar a los habitantes de la región.

Los bancos para terracerías en general abundan y son fáciles de localizar, pues para ese fin sirven casi todos los materiales que sean económicamente explotables. Los bancos de terracerías conviene fijarlos no demasiado alejados uno de otro, para no dar lugar a distancias de acarreo demasiado grandes; la distancia de separación óptima se encuentra cuando se alcanza el equilibrio de costos entre el acarreo, por un lado y el costo del despalle y preparación del banco por el otro. Las distancias que resultan no suelen exceder los 5 Km. entre banco y banco.

En el caso de la capa subrasante se busca que los bancos de materiales elegidos tengan homogeneidad en longitudes significativas, para evitar que las estructuras y espesores de las capas suprayacentes varíen con demasiada frecuencia. Las distancias comunes entre bancos pueden extenderse en este caso hasta 10 km.

Los materiales para sub-base y base de pavimento, además del requisito anterior, suelen estar condicionados en forma importante por los tratamientos mecánicos que llegan a requerir para satisfacer las normas de calidad, debido a esto se requiere de la instalación de equipos especiales y plantas complejas. Por todo ello, suelen estar mucho más espaciados, al grado que distancias del orden de los 50 km no son difíciles de ver.

Los bancos para subrasante suelen encontrarse en los otros bajos y extendidos, en formaciones de roca muy alterada, en las zonas limoarenosas de los depósitos de ríos, en zonas de depósito volcánico de naturaleza piroclástica, como conos cineríticos o tobacéos, en horizontes arenosos de formaciones estratificadas extensas, etcétera.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Los materiales para sub-base y base suelen encontrarse en playones y márgenes de ríos, en frentes y cantiles rocosos, cerros relativamente elevados y de pendiente abrupta, etcétera.

Los materiales para concretos asfálticos o hidráulicos se obtienen casi siempre por trituración, a partir de formaciones rocosas sanas. Las mamposterías se obtienen de formaciones rocosas fracturadas o de recolección superficial.

4.3.2 EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE BANCOS

La exploración de una zona en la que se pretenda establecer un banco de materiales debe tener las siguientes metas:

- 1.- Determinación de la naturaleza del depósito, incluyendo toda la información que sea dable obtener sobre la geología, historia de explotaciones previas, relaciones con escurrimientos de agua superficial, etcétera.
- 2.- Profundidad, espesor, extensión y composición de los estratos de suelo o roca que se pretendan explotar.
- 3.- Situación del agua subterránea, incluyendo posición y variaciones del nivel freático.
- 4.- Obtención de toda la información posible sobre las propiedades de los suelos y las rocas, los usos que de ellos se hayan hecho, etc.

La investigación completa se compone de tres etapas:

- 1.- Reconocimiento preliminar, que debe incluir la opinión de un geólogo. En esta etapa debe considerarse esencial el contar con el estudio geológico de la zona, por sencillo que sea.
- 2.- La exploración preliminar, en la que por medio de procedimientos simples y expeditos, pueda obtenerse información sobre el espesor y composición del subsuelo, la profundidad del agua freática y demás datos que permitan, en principio, definir si la zona es prometedora para la implantación de un banco de las características del que se busca y si, por consiguiente, conviene continuar la investigación sobre ella.
- 3.- La exploración definitiva, en la que por medio de sondeos y pruebas de laboratorio han de definirse detalladamente las características ingenieriles de los suelos y las rocas encontradas.

En la exploración se puede utilizar la fotointerpretación, los sondeos y la prospección geofísica. El pozo a cielo abierto, la porteadora y los barrenos helicoidales son los métodos más empleados en suelos. La diferencia entre el estudio preliminar y el definitivo suele radicar más bien en el número de sondeos, que en la investigación definitiva deben corroborar la información preliminar, definiendo claramente las distintas formaciones existentes y ubicar con la aproximación requerida el volumen de material que vaya a ser necesario. En bancos de roca, lo normal es atenerse en mucho a los resultados del reconocimiento preliminar, extrayendo de él normas de juicio en cuanto a la extensión del banco y al volumen de material disponible; la razón es que la exploración en roca requiere del uso de métodos rotatorios, con máquinas de perforación, todo lo cual resulta costoso y no suele considerarse necesario más que en casos importantes en que existan incertidumbres en consideración. Los métodos geofísicos son económicos y rápidos para ubicar los bancos en estudio y para distinguir las diferentes formaciones que es común encontrar en ellos.

Los bancos de suelo han de muestrearse para conocer en el laboratorio las características que interesen para definir o autorizar su uso.



TIPOS DE SONDEO

Los tipos principales de sondeos que se usan en Mecánica de Suelos para fines de muestreo y conocimiento del subsuelo, en general, son los siguientes:

Métodos de exploración de carácter preliminar

- a) Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado
- b) Perforaciones con porteadora, barrenos helicoidales o métodos similares.
- c) Métodos de lavado.
- d) Método de penetración estándar.
- e) Método de penetración cónica.
- f) Perforaciones en boleos y gravas (con barretones, etc.)

Métodos de sondeo definitivo

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

Métodos geofísicos

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

A continuación se describirán los tipos de sondeos más usados:

a) POZOS A CIELO ABIERTO

Este método es el más adecuado para conocer las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda bajar y examinar los diferentes estratos del suelo en su estado natural. Por desgracia este tipo de excavación no puede llevarse a grandes profundidades, principalmente por la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático.

Si se requiere ademe en el pozo puede usarse madera o acero; por lo regular, el ademe se hace con tabloncillos horizontales, pero deberán ser verticales y bien hincados si se tuviesen suelos friccionantes situados bajo el nivel freático.

En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas de los diferentes estratos encontrados. Las muestras alteradas son muestras que se protegerán contra pérdidas de humedad introduciéndolas en frascos o bolsas emparafinadas. Las muestras inalteradas deberán tomarse labrando una oquedad en la pared del pozo, protegiéndola con mantas debidamente impermeabilizada con brea y parafina.



b) PERFORACIONES CON PORTEADORA, BARRENOS HELICOIDALES O MÉTODOS SIMILARES.

En estos sondeos la muestra es totalmente alterada, pero suele ser representativa del suelo en lo referente al contenido de agua, por lo menos en suelos muy plásticos.

Los barrenos helicoidales pueden ser de diferentes tipos, dependiendo del suelo que se piense perforar y de la preferencia del perforista. Un factor importante es el paso de la hélice que debe ser muy cerrado para suelos arenosos y mucho más abierto para el muestreo en suelos plásticos Fig. 7.3.2.a. (4)

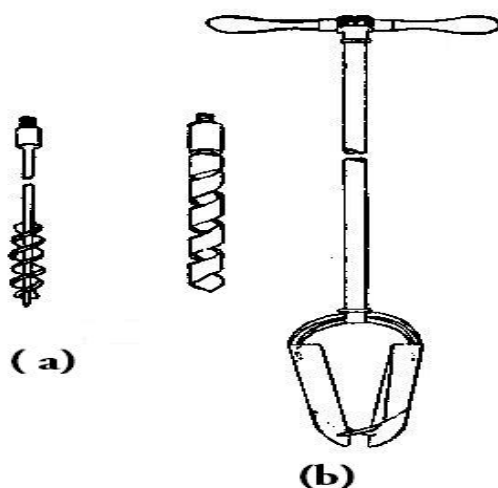


Fig 7.3.2.a

Herramientas para sondeos exploratorios por rotación

a) Barrenos helicoidales

b) Posteadora

Posiblemente las más usadas en México son las posteadoras. Las herramientas se conectan al extremo de una tubería de perforación formada por secciones de igual longitud, que se van añadiendo según aumenta la profundidad del sondeo. En arenas situadas bajo el nivel de aguas freáticas estas herramientas no suelen poder extraer muestras, y en estos casos se recurre al uso de cucharas especiales. Fig 7.3.2.b (5)

(4) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo I fundamentos de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1998. Página 617.

(5) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo I fundamentos de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1998. Página 617.

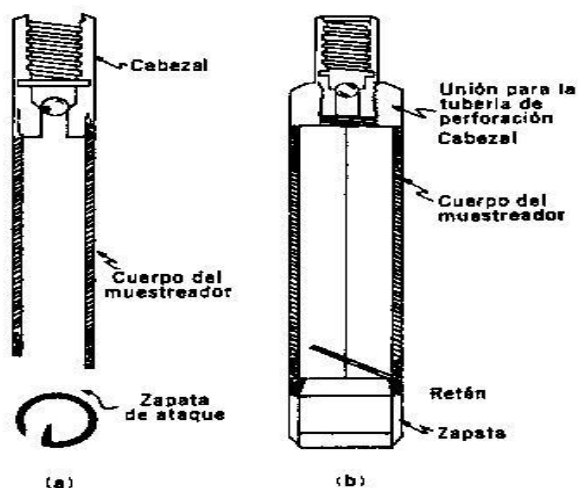


Fig 7.3.2.b Tipos de cucharas muestreadoras

Las muestras de cuchara son generalmente más alteradas todavía que las obtenidas con barrenos helicoidales y porteadoras, principalmente debido a que entra agua en la cuchara junto con el suelo.

Frecuentemente se hace necesario ademar el pozo de sondeo, lo cual se realiza con tubería de hierro, hincada a golpes, de diámetro suficiente para permitir el paso de las herramientas muestreadoras. Para el manejo de la tubería de perforación y de ademe, en su caso, se usa un trípode provisto de una polea, a una altura que permita las manipulaciones necesarias.

c) MÉTODO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

Este procedimiento es, entre todos los exploratorios preliminares, quizá el que rinde mejores resultados en la práctica y posiblemente es también el más empleado en México.

En suelos puramente friccionantes la prueba permite conocer la compacidad de los mantos, y en suelos plásticos la prueba permite darnos una idea de su resistencia a la compresión simple. Además la prueba lleva implícito un muestreo, que proporciona muestras alteradas representativas del suelo en estudio.

El equipo necesario para aplicar el procedimiento consta de un muestreador especial (penetrómetro estándar) de dimensiones establecidas, que aparece en la fig 7.3.2.c (6)

(6) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo I fundamentos de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. 1998. Página 621.

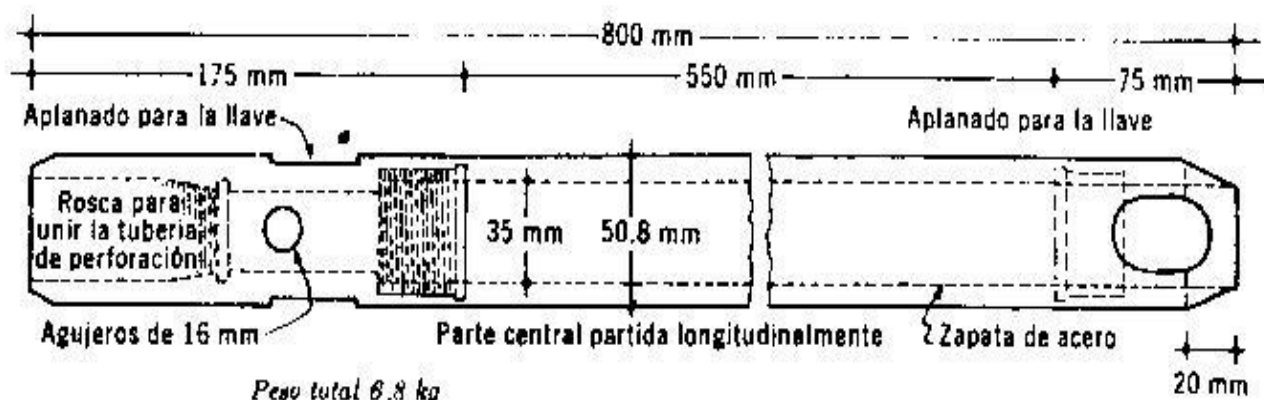


Fig 7.3.2.c Penetrómetro estándar

Es normal que el penetrómetro sea de media caña, para facilitar la extracción de la muestra. El penetrómetro se enrosca al extremo de la tubería de perforación y la prueba consiste en hacerlo penetrar a golpes dados por un martinete de 63.5 kg que cae desde 76 cm, contando el número de golpes necesario para lograr una penetración de 30 cm. En cada avance de 60 cm debe retirarse el penetrómetro, removiendo al suelo de su interior, el cual constituye la muestra.

El fondo del pozo debe ser limpiado cuidadosamente, usando posteadora o cuchara del tipo mostrado anteriormente. Una vez limpio, el muestreador se hace descender hasta tocar el fondo, y a continuación, a golpes, se hace que le penetrómetro descienda 15 cm dentro del suelo. A partir de este momento se empiezan a contar los golpes necesarios para lograr una penetración de 30 cm. Logrado lo anterior se procede a penetrar el muestreador en toda su longitud. Al retirar el penetrómetro, el suelo que haya entrado en su interior constituye la muestra.

d) MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

Este es un método indirecto de exploración de suelos, el cual se basa en el hecho de que los suelos, dependiendo de su naturaleza, presentan una mayor o menor resistividad eléctrica cuando una corriente es inducida a través de él. La resistividad eléctrica de una zona de suelo puede medirse colocando cuatro electrodos igualmente espaciados en la superficie y alineados; los dos exteriores, conectados en serie a una batería son los electrodos de corriente (medida por un miliamperímetro), en tanto que los interiores se denominan de potencial y están conectados a un potenciómetro que mide la diferencia de potencial de la corriente circulante. Fig 7.3.2.d (7)

(7) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo I fundamentos de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1998. Página 634.

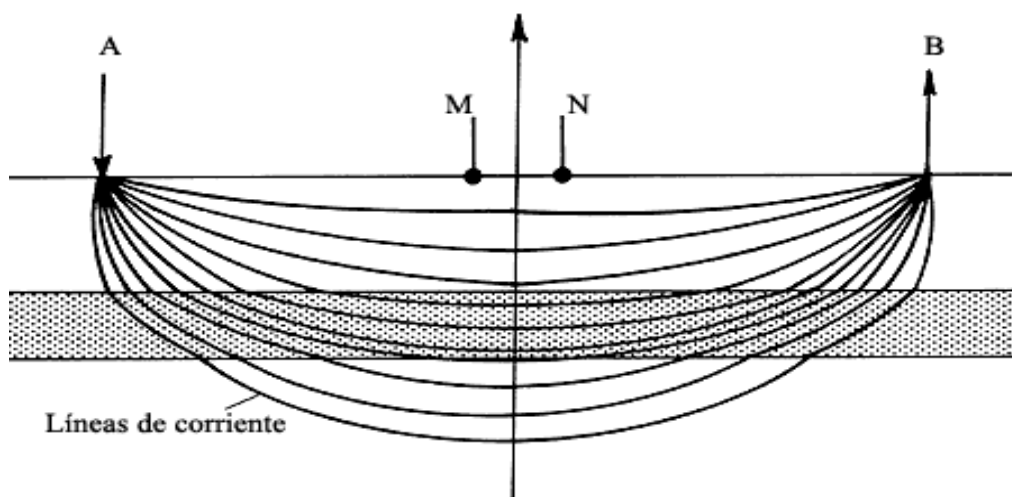


Figura 7.3.2.d. Diagrama del método de resistividad eléctrica para medir resistividad. A y B: electrodos de inyección de corriente. M y N: electrodos de medición de potencial eléctrico producido por la corriente inyectada.

Los electrodos de corriente son simples varillas metálicas, con punta afilada, mientras que los potencial son recipientes porosos llenos de una solución de sulfato de cobre, que al filtrarse al suelo, garantiza un buen contacto eléctrico. La resistividad se puede calcular a partir de las lecturas del miliamperímetro I , del potenciómetro V y de la separación entre los electrodos, d , con la fórmula:

$$\rho = 2\pi d V/I$$

El método, sirve, en primer lugar, para medir las resistividades a diferentes profundidades, en un mismo lugar y, en segundo, para medir la resistividad a una misma profundidad, a lo largo de un perfil. Lo primero se logra aumentando las distancias d , entre electrodos, con lo que se logra que la corriente penetre a mayor profundidad. Lo segundo se logra conservando “ d ” constante y desplazando todo el equipo sobre la línea a explorar.

Las mayores resistividades corresponden a rocas duras, siguiendo rocas suaves, gravas compactas, etc., y teniendo los menores valores los suelos suaves saturados.

PRUEBAS DE LABORATORIO QUE SE EFECTÚAN A LOS SUELOS QUE SE EXTRAEN DE LOS BANCOS SEGÚN SU UTILIZACIÓN

- I. Terracerías
 - a) Clasificación: Límites de plasticidad, Granulometría
 - b) Calidad: Peso volumétrico máximo, Valor Relativo de Soporte
- II. Capa Subrasante.
 - a) Clasificación: Límites de plasticidad, Granulometría
 - b) Calidad: Peso volumétrico máximo, Valor Relativo de Soporte, Expansión, Equivalente de Arena



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- c) Diseño: Determinación de Valor Relativo de Soport (Método del cuerpo de Ingenieros U.S.A.) o bien: Pruebas de Hveem, o bien: Pruebas Triaxiales de Texas.

III. Base y Sub-base

- a) Clasificación: Límites de plasticidad; Granulometría
- b) Calidad: Peso volumétrico máximo, Valor Relativo de Soporte, Equivalente de Arena, Expansión
- c) Diseño: Si se desea hacer un diseño estructural por capas, deberán realizarse las pruebas indicadas para la capa subrasante.

IV. Carpeta Asfáltica.

- a) Clasificación: Límites de plasticidad, Granulometría
- b) Calidad: Pruebas de desgaste y/o alterabilidad, Equivalente de Arena, Expansión, Afinidad con el asfalto, pruebas para definir la forma de los agregados.
- c) Diseño: Prueba de Marshall, Pruebas de Hveem.

En lo que se refiere a las rocas, las principales pruebas que han de hacerse a los materiales producto de banco son las que definan su modo de fragmentación y su susceptibilidad a la meteorización. La siguiente tabla contiene una relación de las pruebas índice que es más común hacer a las rocas, aún cuando en muchos casos de la práctica se omiten algunas de ellas o aun todas, utilizando el material simplemente con base en la observación del banco y en la experiencia precedente.

PRUEBAS ÍNDICES MÁS COMUNES PARA MATERIALES ROCOSOS, CON VISTAS A DEFINIR SU COMPORTAMIENTO INGENIERIL

- 1) Densidad de sólidos
- 2) Peso volumétrico seco
- 3) Contenido de Agua
- 4) Porosidad
- 5) Índice de Alteración
- 6) Permeabilidad al agua
- 7) Permeabilidad al aire
- 8) Alterabilidad
- 9) Resistencia
- 10) Deformabilidad

4.4 EMPUJES Y TEORIAS CLÁSICAS DE CÁLCULO

4.4.1 CRITERIO DE FALLA MOHR – COULOMB

A partir de una serie de pruebas de compresión, llevadas a cabo sobre muestras idénticas de suelo, con presiones de confinamiento diferentes (según figura 4.3), representadas por un conjunto de círculos de Mohr que representan la falla. Se ha definido en la práctica que una envolvente de falla es tangente a estos círculos, la que es representada aproximadamente como una línea recta sobre un amplio rango de tensiones. La ecuación de la envolvente se puede expresar de la misma forma como la ley de Coulomb.

$$\tau = c + (\sigma * \text{Tg}\Phi)$$

Donde:

σ y τ son tensiones totales.

La forma de la envolvente es conocida como el diagrama de Mohr.

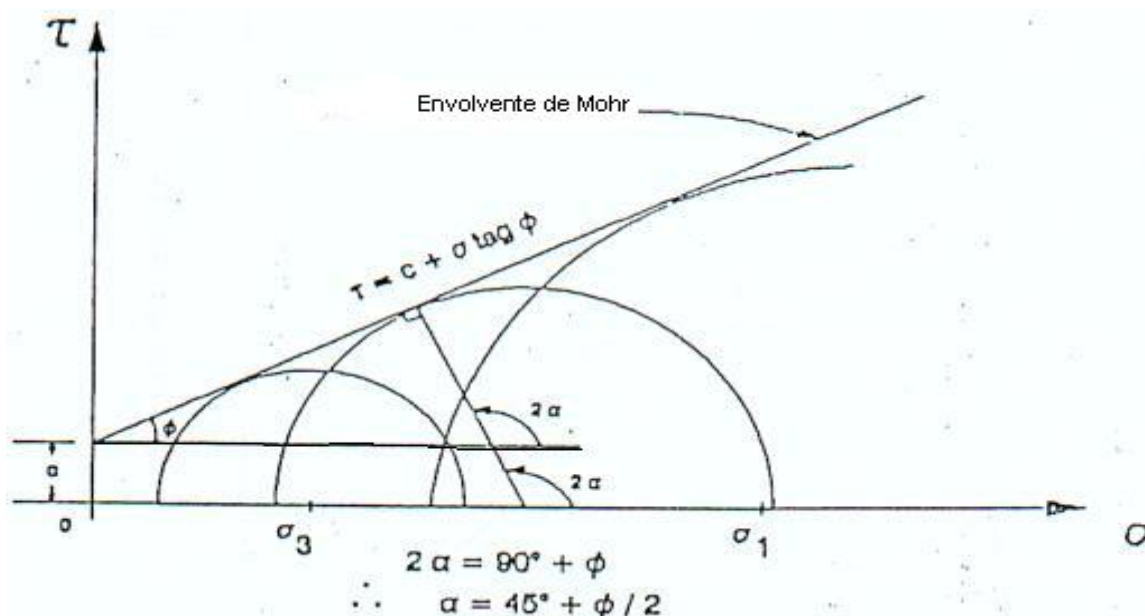


FIG. 4.3 (RICO Y DEL CASTILLO TOMO I 1998) CÍRCULO DE MOHR PARA ESFUERZOS TOTALES. DIÁMETRO 70 MM.

En términos físicos, si un círculo de Mohr para estados particulares de esfuerzo, yace enteramente por debajo de la envolvente, el suelo está en condiciones estables. Si el círculo de Mohr toca la envolvente, la resistencia máxima del suelo ha sido alcanzada, es decir, la falla ha ocurrido en un plano determinado.

Si el ángulo de este plano con respecto a la horizontal es α , esta línea que se junta con el centro del círculo al punto tangente, está inclinada en un ángulo 2α con relación al eje, de la geometría del triángulo rectángulo, se tiene:



$$2 * \alpha = 90^\circ + \phi$$

por lo tanto:

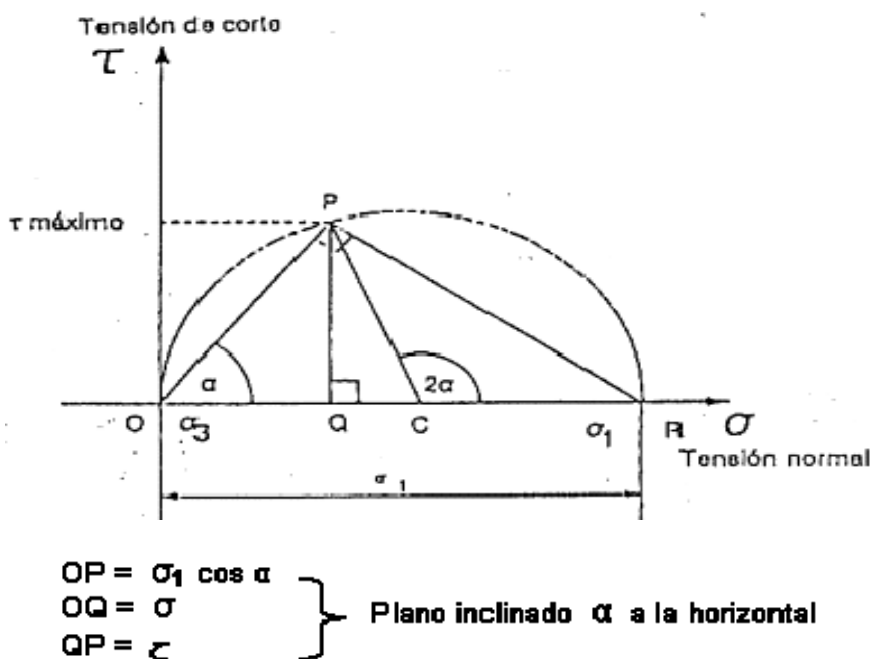
$\alpha = 45^\circ + \phi / 2$, a este plano se le denomina Plano de Falla Teórico.

Un círculo de Mohr que intercepta a la envolvente y sobrepasa a esta, no tiene significado físico, porque una vez que la envolvente es alcanzada, la falla ocurre y el suelo no puede ofrecer más resistencia al corte.

CIRCULO DE MOHR

Representación gráfica de los estados de esfuerzo de una muestra de suelo, sometida a una prueba de compresión Triaxial.

La construcción gráfica, para definir el lugar geométrico de un punto **P**, por medio de círculos, es de gran importancia en la mecánica de suelos. Estas resultantes son conocidas como tensiones de círculo de Mohr, cuya ilustración es la figura 4.4 a y b. (Rico Rdz. Y Hermilo del Castillo Tomo I 1998)



(a)



FIG. 4.4 a y b (RICO RDZ. Y HERMILO DEL CASTILLO TOMO I 1998). DIAGRAMA DE MOHR PARA COMPRESIÓN TRIAXIAL

En el círculo de Mohr se deben notar los siguientes puntos:

- El eje horizontal representa las tensiones normales, y el eje vertical representa las tensiones de corte, todas dibujadas en la misma escala.
- Los extremos del diámetro del círculo, están definidos por los valores de σ_3 y σ_1 , medidos desde el origen.
- El punto **P**, tiene por coordenadas las tensiones normales y de corte sobre un plano inclinado en un ángulo con respecto a la horizontal. Alternativamente **P** puede ser encontrado trazando un radio desde el centro **C** a un ángulo 2α con respecto a la horizontal. En un plano inclinado de α , la tensión normal es igual a **OQ** y la tensión de corte es igual a **PQ**.
- El diámetro del círculo es igual a $(\sigma_1 - \sigma_3)$, la diferencia de tensiones principales es conocida como “esfuerzo desviador”, y esta dada por la formula:
- $\sigma_d = (\sigma_1 - \sigma_3)$



4.4.2 TEORÍA DE RANKINE EN SUELOS FRICCIONANTES.

De acuerdo con Rankine se dirá que un suelo está en estado plástico cuando se encuentra en estado de falla incipiente generalizado. El que se tiene cuando el esfuerzo horizontal alcanza el valor mínimo K_{Agz} y el que ocurre cuando dicha presión llega al valor máximo K_{pgz} . Estos estados se denominan respectivamente activo y pasivo.

En el estado plástico activo, evidentemente se tiene:

$$\frac{p_h}{p_v} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{1}{N\phi}$$

Se ve entonces que

$$K_A = \frac{1}{N\phi} = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

Análogamente, en el estado plástico pasivo se tendrá:

$$\frac{p_h}{\sigma_3} = \frac{\sigma_1}{1} = N\phi$$

Y resulta:

$$K_p = N\phi = \tan^2 (45^\circ + \phi/2)$$

Considérese un muro cuyo relleno se supone originalmente en "reposo". Dicho muro podrá físicamente ser llevado a la falla de dos maneras. Una por empuje del relleno, cediendo la estructura hacia su frente; otra, por acción de algún empuje exterior, incrustándose el muro en el relleno y deformándose hacia su espalda.

Si las expresiones para las presiones activa y pasiva, dentro de la Teoría de Rankine, obtenidas para una profundidad z , se integran a lo largo de la altura H de un muro de retención, los empujes totales correspondientes. Totalmente en toda la masa del relleno, es decir, que el muro se ha deformado lo necesario.

Para el estado plástico activo podrá escribirse, con base en:

$$p_h = p_v = \gamma z$$

$$N\phi \quad N\phi$$

En un elemento dz del respaldo del muro, a la profundidad z , obra el empuje.

$$dE_A = \frac{1}{N\phi} \gamma z dz$$

$$N\phi$$

Supuesta una dimensión unitaria normal al papel; por lo tanto en la altura H el empuje total será:

$$E_A = \frac{\gamma}{N\phi} \int_0^H z dz = \frac{1}{2N\phi} \gamma H^2 = \frac{1}{2} K_A \gamma H^2$$



En forma análoga, para el estado plástico a partir de la del estado plástico pasivo se llega al valor del empuje pasivo total:

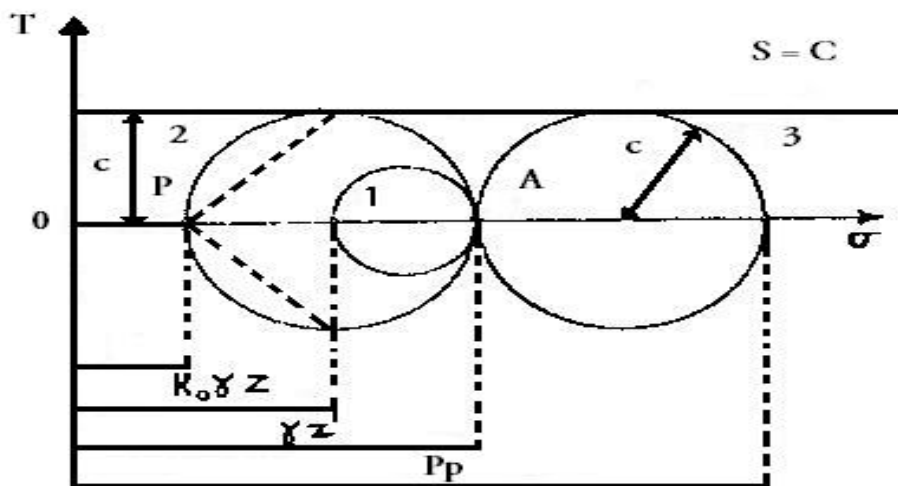
$$E_A = \frac{1}{2} N \phi \gamma H^2 = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$$

Para efectos de cálculo de la estabilidad del muro, considerado como un elemento rígido, el volumen de presiones puede considerarse substituido por sendas fuerzas concentradas, cuya magnitud queda dada por E_A y E_p ; dada la distribución lineal que para ambas presiones se tiene en la Teoría de Rankine, se sigue que el punto de aplicación de tales fuerzas está a un tercio de la altura del muro contado a partir de la base.

4.4.3 TEORÍA DE RANKINE EN SUELOS COHESIVOS.

En suelos puramente "cohesivos", para la aplicación práctica, es necesario tener muy presente que la "cohesión" de las racillas no existe como propiedad intrínseca, según ha quedado establecido, si no que es propiedad circunstancial, expuesta a cambiar con el tiempo, sea por que la arcilla se consolide o sea que se expanda con absorción de agua. Por ello, es necesario tener la seguridad, en cada caso, de que la "cohesión" de que se haya hecho uso en las fórmulas de proyecto, no cambie con el tiempo.

Considérese un elemento de suelo puramente "cohesivo" a la profundidad z . La masa de superficie horizontal de suelo está en "reposo", la γz , será $K_0 \gamma z$. En este caso el valor de K_0 depende del material y de su historia previa de esfuerzos. (8).



Estados plásticos en los suelos de Mohr (suelos cohesivos)

Fig. 4.5

La horizontal: $p_A = \gamma z - 2c$

La vertical: $p_v = \gamma z$

(8) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo II Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1999. Página 131.



p_v es el esfuerzo principal mayor y p_A el menor, en el círculo de falla 2 tangente a la envolvente $s = c$. El otro modo de alcanzar la falla en el elemento situado a la profundidad z , sería aumentar la presión horizontal hasta que, después de sobrepasar el valor γz , alcanza uno tal que hace que el nuevo círculo de esfuerzos resulte también tangente a la envolvente horizontal de falla. En este momento se tiene el estado "plástico" pasivo y las presiones alcanzan los valores.

La horizontal: $p_P = \gamma z + 2c$

La vertical: $p_v = \gamma z$

$E_A = \frac{1}{2}\gamma H^2 - 2cH$

$E_P = \frac{1}{2}\gamma H^2 + 2cH$

La fórmula de E_A proporciona un procedimiento sencillo para calcular la máxima altura a que puede llegarse en un corte vertical de material "cohesivo" sin soporte y sin derrumbe. En efecto, para que un corte vertical sin soporte se sostenga sin fallar, la condición será $E_A = 0$, lo que, según la expresión E_A conduce a:

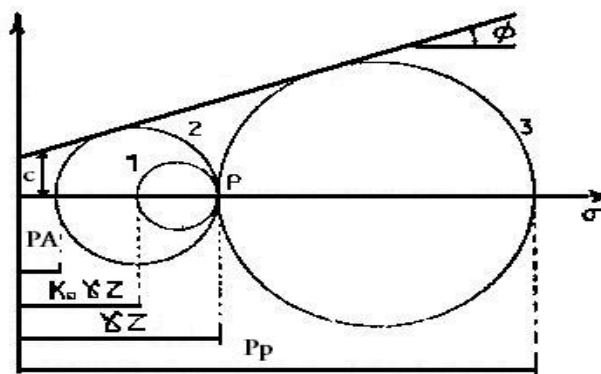
$$H_c = \frac{4c}{\gamma}$$

El valor H_c suele denominarse altura crítica del material "cohesivo". La fórmula H_c da valores un poco altos de la altura estable real y en caso de ser usada en la práctica deberá ser afectada por un factor de seguridad de 2, como mínimo.

4.4.4 TEORÍA DE RANKINE EN SUELOS CON "COHESIÓN Y FRICCIÓN".

En la presente sección se tratará precisamente la aplicación de la Teoría de ranking a aquellos suelos en los que la envolvente de falla, con base en esfuerzos totales, obtenida del tipo de prueba triaxial adecuado al caso, presenta "cohesión" y "fricción", es decir, es del tipo tantas veces repetido.

$$S = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$



Estados plásticos en el diagrama de Mohr (Suelos con "cohesión" y "fricción").

Fig. 4.6



Si el relleno es horizontal, puede razonarse de manera análoga a como se hizo en la sección IV-4 para el material puramente friccionante. Con referencia a la fig. 4.6 (9), puede verse que un elemento de suelo a la profundidad z , considerado en “reposo”, está sujeto a un estado de esfuerzos representado por el círculo 1. De nuevo puede llegarse a la falla por disminución de la presión lateral o por aumento de la misma a partir del valor $K_0\gamma z$. Se llega así a dos círculos representativos de los estados “plásticos” activo y pasivo.

$$\sigma_1 = \sigma_3 N_\phi + 2 c \sqrt{N_\phi}$$

En el caso del estado activo, $p_A = \sigma_3$ y $\sigma_1 = \gamma z$, por ello:

$$p_A = \frac{\gamma z}{N_\phi} - \frac{2c}{\sqrt{N_\phi}}$$

En tanto que en el pasivo $\sigma_1 = p_P$ y $\sigma_3 = \gamma z$; por ello:

$$p_P = \gamma z N_\phi + 2 c \sqrt{N_\phi}$$

$$E_A = \frac{1}{2} \gamma \frac{H^2}{N_\phi} - \frac{2c}{\sqrt{N_\phi}} H$$

$$E_P = \frac{1}{2} N_\phi \gamma H^2 + 2 c \sqrt{N_\phi} H$$

4.4.5 TEORIA DE COULOMB PARA SUELOS FRICCIONANTES

Salvo la extensión ya mencionada de la teoría de Rankine al caso de relleno limitado por un plano inclinado, ésta considera básicamente el caso en que no se ejercen esfuerzos de fricción entre el respaldo del muro que se supone vertical y el relleno. Sin embargo en general entre el respaldo de un muro de retención y el suelo se desarrollan fuerzas tangenciales debidas a los movimientos entre ambos.

En el caso activo el desplazamiento hacia el exterior del muro da lugar a un movimiento relativo del suelo hacia abajo respecto a aquel, este movimiento produce una fuerza de fricción tangencial que actúa sobre el muro hacia abajo. En el caso pasivo, la compresión horizontal del muro sobre el suelo suele ir asociada a un desplazamiento relativo de este hacia arriba respecto al muro, lo que produce una fuerza tangencial ascendente que actúa sobre el respaldo; sin embargo en el caso pasivo el sentido de esta fuerza podría invertirse en algunos casos, que se deberán determinarse por medio de un análisis específico.

Para analizar estos casos con fricción entre el respaldo del muro y el suelo, se puede utilizar el método de la cuña propuesto por Coulomb en 1766. En este método se considera que el empuje sobre un muro se debe a una cuña de suelo limitada por el parámetro del muro, la superficie del terreno y una superficie de falla desarrollada dentro del relleno. (10)

(9) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo II Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1999. Página 135.

(10) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo II Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1999. Página 137.

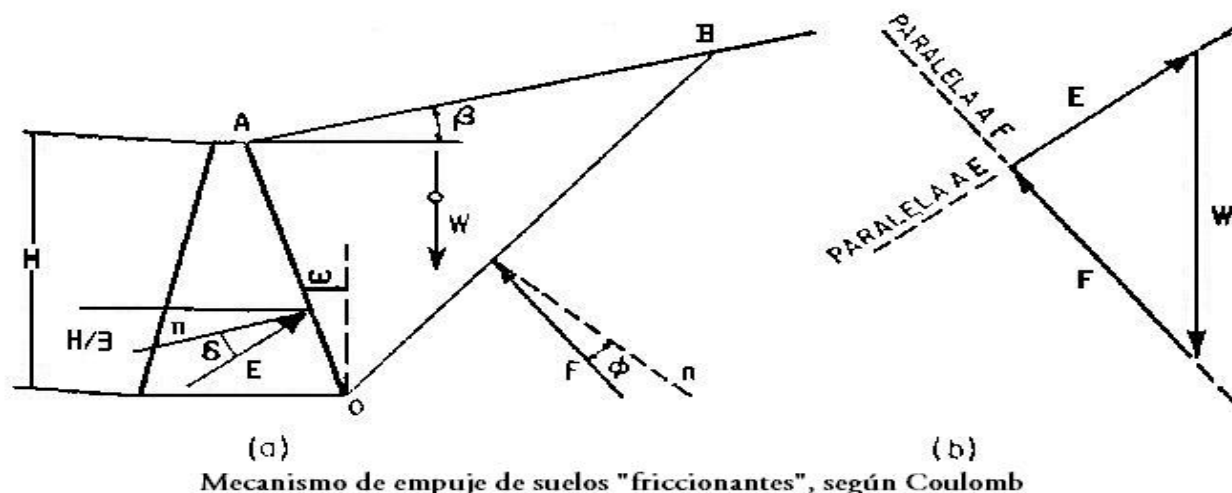


Fig. 4.7

La cuña OAB tiende a deslizar bajo el efecto de su peso y por esa tendencia se producen esfuerzos de fricción tanto en el respaldo del muro como a lo largo del plano OB, puesto que las fuerzas friccionante se desarrollan por completo las fuerzas E_a y E resultan inclinadas respecto a las normales correspondientes a los ángulos de fricción entre muro y relleno y entresuelo y suelo respectivamente el valor numérico del Angulo esta acotado de modo que

$$0 \leq \delta \leq \phi$$

En efecto $S=0$ corresponde a un muro liso y es inconcebible un valor menor para un Angulo de fricción por otra parte si $S > \phi$ lo cual en principio es posible la falla se presentaría en la inmediata vecindad del respaldo del muro, por lo que el máximo valor practico que se puede tomar en cuenta para S es precisamente ϕ , siguiendo indicaciones de Terzaghi, el valor de S puede tomarse en la practica como:

$$\phi/2 \leq \delta \leq 2/3 \phi$$

Considerando el equilibrio de la cuña que se ve en el polígono dinámico constituido por W , F y E , como W es conocida en dirección y magnitud y se conocen previamente las direcciones F y E , dicho dinámico puede constituirse para cada cuña dada, así mismo puede conocerse la magnitud sobre el muro.

Para el caso de un relleno friccionante limitado por un plano, aunque sea inclinado y de un respaldo plano puede darse un tratamiento matemático a las hipótesis de Coulomb y llegar a las hipótesis siguientes:

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{\cos^2(\phi - w)}{\cos^2 w \cos(\delta + w) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + w) \cos(w - \beta)}} \right]^2}$$



$$Ea = \frac{1}{2}(\gamma)(H^2)K$$

Donde:

EA= empuje activo máximo según teoría de Coulomb

O= ángulo de fricción interna de la arena

W= ángulo formado por el respaldo del muro

B= ángulo formado entre la superficie del relleno y la horizontal

S= fricción entre el muro y el relleno

Si el muro es de respaldo vertical la formula se reduce a:

$$Ea = \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \beta)}{\cos \delta \cos \beta}} \right]^2}$$

Y si además el relleno es horizontal $\beta = 0$ y de la expresión anterior se obtiene:

$$Ea = \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin \phi}{\cos \delta}} \right]^2}$$

Debe notarse que si $\delta = 0$ o sea que no hay fricción entre muro y el relleno la ecuación queda así.(11)

$$Ea = \frac{1}{2}(\gamma)(H^2) \frac{\cos^2}{\cos \delta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin \phi}{\cos \delta}} \right]^2}$$

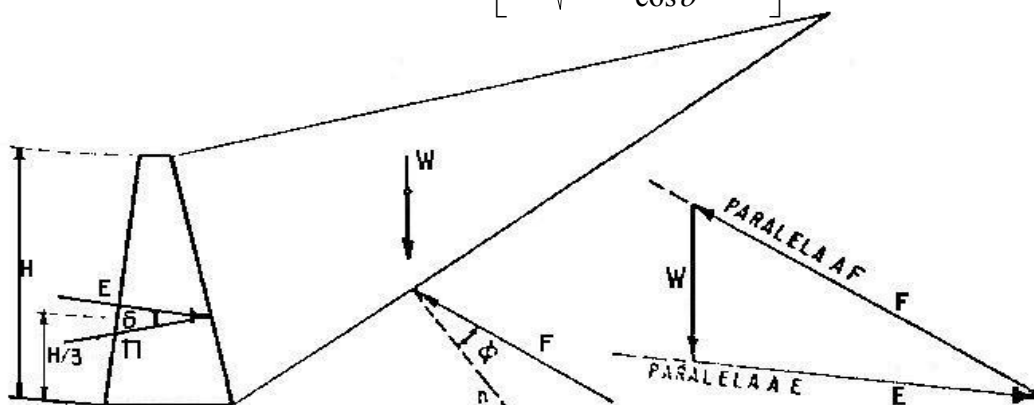


Fig. 4.8

(11) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo II Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1999. Página 140.



De manera que para este caso las teorías de Rankine y Coulomb coinciden la teoría de Coulomb no permiten conocer la distribución de presiones sobre el muro pues la cuña de tierra que empuja se considera un cuerpo rígido sujeto a fuerzas concentradas resultante de esfuerzos actuantes en áreas de cuya distribución no se especifica nada. Coulomb supuso que todo punto de respaldo del muro representa el pie de una superficie potencial de deslizamiento.

El punto de aplicación del empuje activo en la práctica es:

En muros con respaldo plano y con relleno limitado por la superficie plana es $H/3$

Si no se cumplen las anteriores Terzaghi propuso trazar por el centro de gravedad de la cuña crítica una paralela a la superficie de falla cuya intersección con el respaldo del muro del punto de aplicación deseado.

4.4.6 TEORIA DE COULOMB PARA SUELOS CON COHESIÓN Y FRICCIÓN

Cuando un muro con relleno cohesivo y friccionante esta en las condiciones mostradas en la fig. 4.9 (12) la superficie de falla es una curva como la indicada y bajo la zona de agrietamiento las líneas de influencia son curvas:

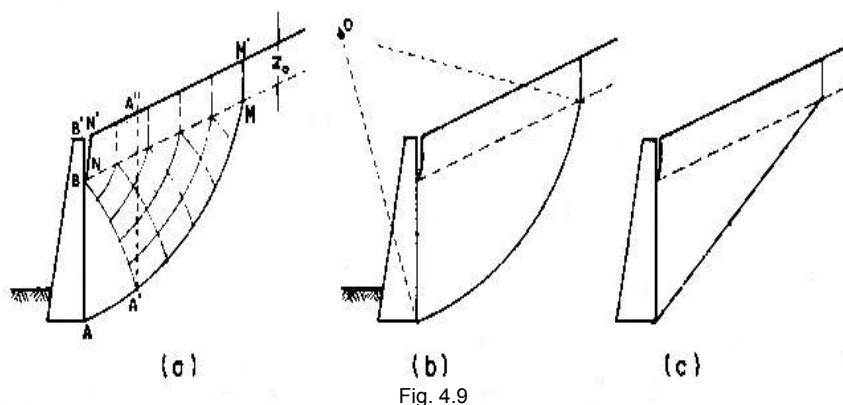


Fig. 4.9

Para el caso A es muy laborioso y se recurre a simplificaciones como en el caso B en donde la superficie hipotética de falla supuesta es un círculo y en tal caso puede calcularse el empuje aplicando el método de círculo de fricción. También puede suponerse que esa superficie tiene como traza con el papel un arco de espiral logarítmica la cual permite desarrollar un método de cálculo conveniente llamado método de la espiral logarítmica.

Supuesta una cuña de deslizamiento su equilibrio quedara garantizado por el peso propio total w [área de la cuña por el peso específico γ] la relación entre la cuña y el suelo con dos componentes F debida a la reacción normal y a la fricción y C , debida a la cohesión; la adherencia C' , entre el suelo y el muro y finalmente el empuje activo E .

$C = c$ [cohesión del suelo] por AG [longitud AG]

$C' = c$ [cohesión del suelo] por AB [longitud AB]

(12) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo II Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1999. Página 145.



Resulta entonces un procedimiento de tanteos para determinar el máximo E posible. El muro deberá calcularse por supuesto para soportar la combinación de fuerzas C' y E máxima. (13)

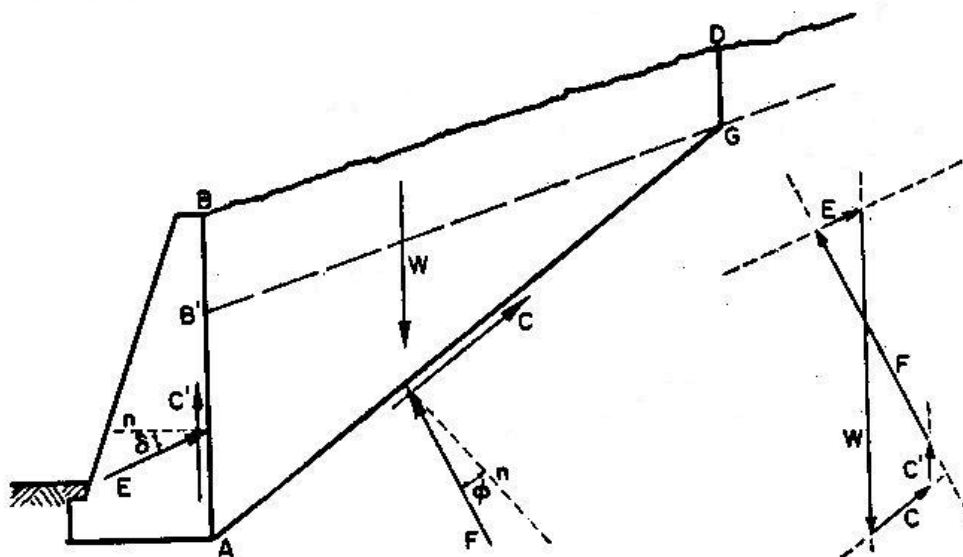


Fig 4.10

Para los empujes pasivos la teoría de Coulomb resulta muy poco aproximada y del lado de la inseguridad por lo que su uso no es recomendable.

4.4.7 METODO SEMI - EMPIRICO DE TERZAGHI

Terzaghi ha propuesto un método que reúne buena parte de la experiencia anterior con la suya propia y que constituye quizá el método mas seguro para empujes desgraciadamente restringido a muros de escasa altura 7 mts como máximo.

El primer paso para la aplicación del método estriba en encasillar el material del relleno en uno de los siguientes 5 tipos: (14)

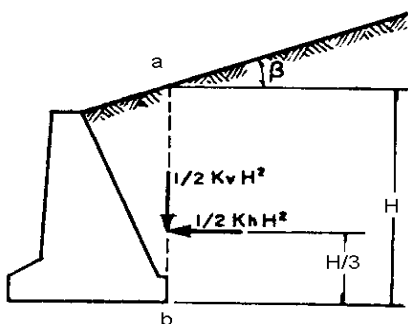
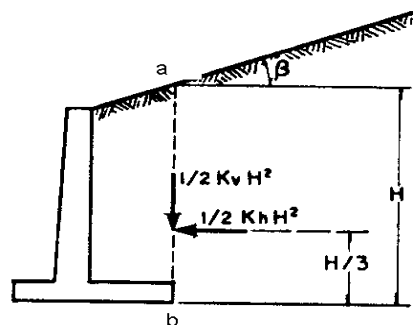
1. Suelo granular grueso sin finos
2. Suelo granular grueso con finos limosos
3. Suelo residual con cantos, bloques de piedra, gravas, arenas finas y limos arcillosos en cantidad apreciable.
4. Arcillas plásticas blandas limos orgánicos o arcillas limosas
5. Fragmentos de arcilla dura o medianamente dura, protegidos de modo que el agua proveniente de cualquier fuente no penetre entre los fragmentos.

(13) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo II. Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1999. Página 146.

(14) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo II Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1999. Página 154.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Los números en las curvas indican el tipo de material.

Para los materiales del tipo 5 los cálculos se realizan con una altura H_1 menor que la real en 1.20m.

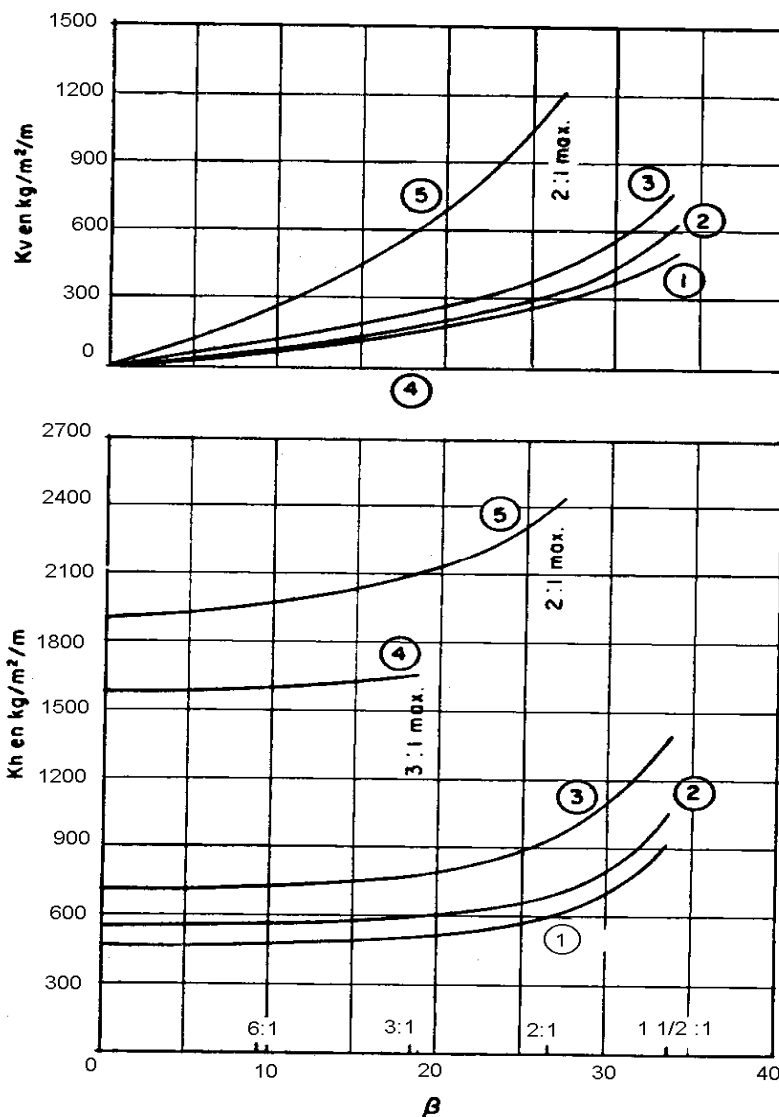


Fig. 4.11

El método propuesto se aplica en cuatro casos muy frecuentes en la práctica, en lo que se refiere a la geometría del relleno y la condición de cargas.

- La superficie del relleno es plana, inclinada o no y sin sobrecarga alguna.
- La superficie del relleno es inclinada, a partir de la corona del muro, hasta un cierto nivel en que se torna horizontal
- La superficie del relleno es horizontal y sobre ella actúa una sobre carga uniformemente repartida.
- La superficie del relleno es horizontal y sobre ella actúa una sobrecarga lineal, paralela a la corona del muro y uniformemente distribuida.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Para el primer caso de los de arriba mencionados el problema se puede resolver aplicando las formulas

$$E_H = \frac{1}{2} K_H H^2$$

$$E_V = \frac{1}{2} K_V H^2$$

Que proporcionan las componentes horizontal y vertical del empuje actuante en el plano vertical que pasa por el punto extremo inferior del muro, en el lado del relleno

Las expresiones y graficas anteriores proporcionan el valor de empuje por metro lineal del muro. El empuje deberá aplicarse a la altura $h/3$, medida del paño inferior del muro.

En el caso de que se trabaje con relleno del tipo V, el valor de H considerado en los cálculos se debe reducir en 1.20 m respecto al usual y el empuje que se obtenga debe considerarse aplicado a la altura.

$$d' = 1/3 [H - 1.20]$$

Cuando el relleno tenga superficie inclinada hasta una cierta altura y después se haga horizontal [caso 2], los valores de K_H y K_V se deberán obtener de las graficas anteriores. Cuando el relleno sea tipo 5 la altura del punto de aplicación también será la dada por la expresión anterior.

Para el caso 3 la presión horizontal sobre el plano vertical en que se supone actúe el empuje deberá incrementarse uniformemente en:

$$P = C q$$

Donde q es el valor de la sobre carga uniformemente repartida el valor de C de la formula anterior se escogerá de la tabla de la fig. 4.11.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

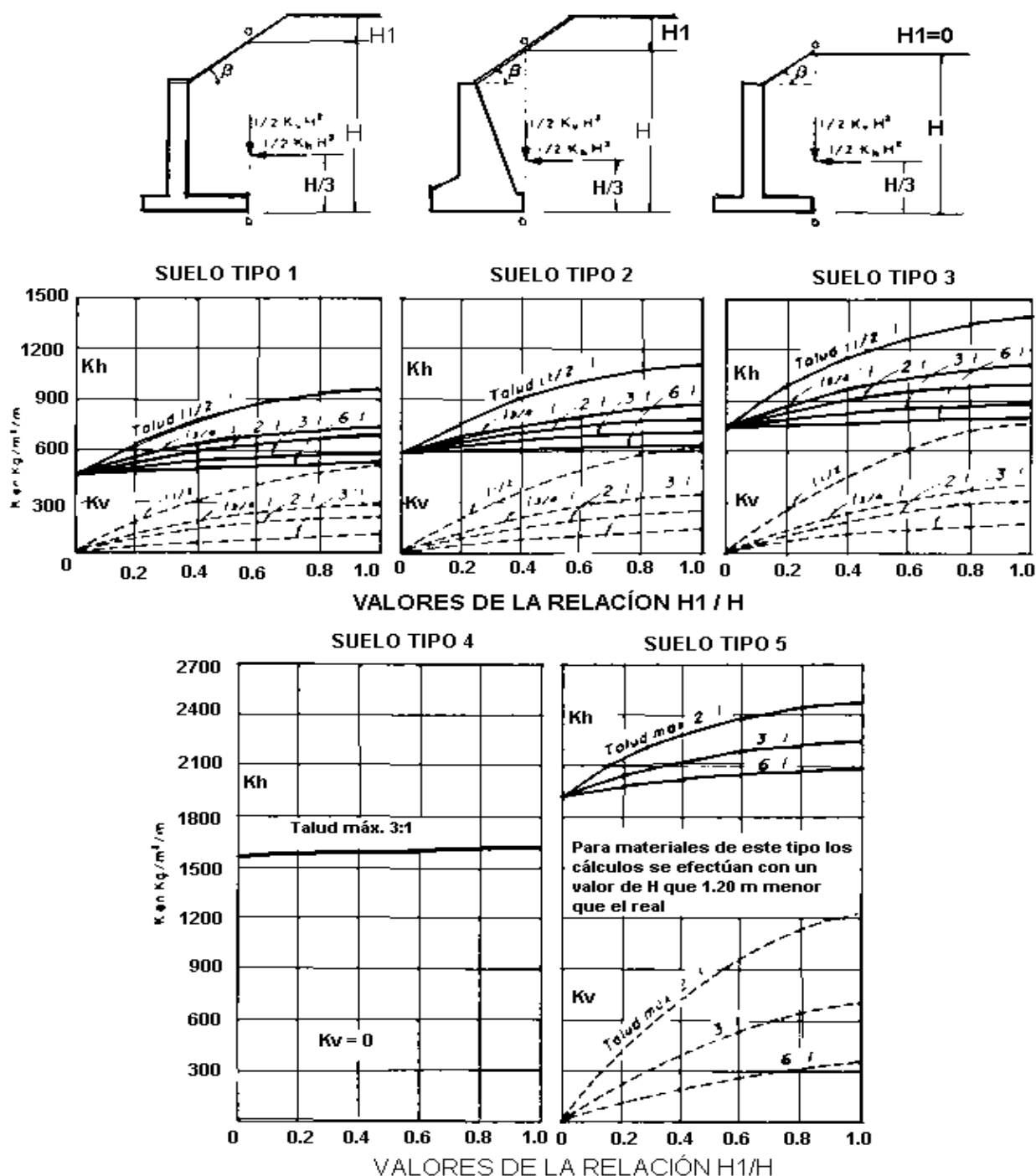


Fig. 4.12 (15)

(15) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo II Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1999. Página 155.



Para el caso 4 se considera que la carga ejerce sobre el plano vertical en el que se aceptan aplicados los empujes una carga concentrada que vale: (16)

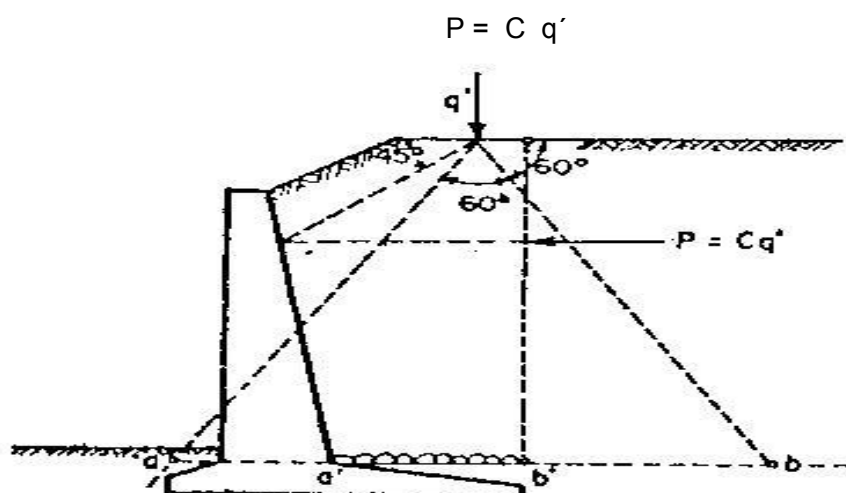


Fig. 4.13

Donde q' es el valor de la carga lineal uniforme y C se obtiene como antes con la tabla, el punto de aplicación de P se obtiene con la figura mostrada.

4.4.8 METODO GRAFICO DE CULMANN

Este método permite obtener el valor máximo de empuje ejercido contra un muro por un relleno arenoso. El método es general y se aplica a rellenos de cualquier forma.

El método consiste en lo siguiente:

1. Por el punto A de la base del muro trácense las líneas ϕ a un Angulo ϕ con la horizontal y la segunda a un ángulo θ con la anterior el ángulo θ se obtiene como se muestra en las figuras de abajo.
2. A continuación se escogen diferentes planos hipotéticos de deslizamiento $ab_1, ab_2, \dots$ etc. el peso de estas cuñas se obtiene multiplicando su área por el peso específico de la arena.
3. A una escala de fuerzas conveniente estos pesos se llevan a partir de A sobre la línea ϕ obteniéndose los puntos $a_1, a_2, \dots$ etc.
4. Por estos puntos trácense ahora paralelas a la línea θ hasta cortar con los puntos $c_1, c_2, \dots$ etc. a los respectivos planos de fallas de las cuñas, los segmentos a_1c_1, a_2c_2 representan a la escala de fuerza antes usada. Los empujes que produce cada una de las cuñas antes usada.

(16) Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de suelos tomo II Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Editorial Limusa.1999. Página 156.

-

92



CALCULO DE EMPUJE EN MURO DE RETENCIÓN

Se pretende construir un muro de concreto de 10 mts. de altura para soportar un terraplén de 12 mts. de altura desplantado sobre terreno resistente y plano, el terraplén se construirá con una arena limosa compactada, cuyas características son $c = 1.00 \text{ ton} / \text{m}^2$, $\phi = 30^\circ$, $\gamma_d = 1800 \text{ kg} / \text{m}^3$, $\gamma_m = 2000 \text{ kg} / \text{m}^3$ y $\delta_s = 2.40$

Calcular el empuje del relleno sobre el muro por el método de Terzaghi considerando el suelo seco.

Método semi-empírico de Terzaghi

De los 5 tipos de suelos se elige el que corresponde al suelo con el que se construirá el relleno que, tratándose en este caso de una arena limosa es el tipo II.

Por lo tanto el empuje valdrá:

$$E_H = \frac{1}{2} K_H (H + H_1)^2$$

Para poder entrar a las graficas se tendrá que calcular la relación H_1 / H que en este caso es igual a cero debido a que $H_1 = 0$.

Se trabaja en la grafica correspondiente con este valor:

Obtenemos; $K_H = 600 \text{ kg} / \text{m}^3$

Por lo que:

$$E_H = \frac{1}{2} 600 (10 + 2)^2 = 43,200 \text{ kg} / \text{m}$$

$$E_H = 43.20 \text{ ton} / \text{m}$$

Para el cálculo del empuje vertical $E_V = 0$ debido a la relación $\frac{H_1}{H} = 0$



4.5 PRUEBAS DE LABORATORIO

Las pruebas de laboratorio que se efectúan a los materiales dependiendo del uso al que se destinen (terracerías, capa subrasante, base, sub-base, capa subrasante y carpeta asfáltica) son los siguientes:

PRUEBAS DE LABORATORIO QUE SE EFECTÚAN A LOS SUELOS QUE SE EXTRAEN DE LOS BANCOS SEGÚN SU UTILIZACIÓN

- V. Terracerías
 - c) Clasificación: Límites de plasticidad, Granulometría
 - d) Calidad: Peso volumétrico máximo, Valor Relativo de Soporte
- VI. Capa Subrasante.
 - d) Clasificación: Límites de plasticidad, Granulometría
 - e) Calidad: Peso volumétrico máximo, Valor Relativo de Soporte, Expansión, Equivalente de Arena
 - f) Diseño: Determinación de Valor Relativo de Soport (Método del cuerpo de Ingenieros U.S.A.) o bien: Pruebas de Hveem, o bien: Pruebas Triaxiales de Texas.
- VII. Base y Sub-base
 - d) Clasificación: Límites de plasticidad; Granulometría
 - e) Calidad: Peso volumétrico máximo, Valor Relativo de Soporte, Equivalente de Arena, Expansión
 - f) Diseño: Si se desea hacer un diseño estructural por capas, deberán realizarse las pruebas indicadas para la capa subrasante.
- VIII. Carpeta Asfáltica.
 - d) Clasificación: Límites de plasticidad, Granulometría
 - e) Calidad: Pruebas de desgaste y/o alterabilidad, Equivalente de Arena, Expansión, Afinidad con el asfalto, pruebas para definir la forma de los agregados.
 - f) Diseño: Prueba de Marshall, Pruebas de Hveem.

4.5.1 MÉTODO DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE PLASTICIDAD

Generalidades:

Los límites de plasticidad deben determinarse en la fracción del suelo menor que la malla N° 40. Si el espécimen es arcilloso, es preciso que nunca haya sido secado a humedades menores que su límite plástico aproximadamente.

Equipo necesario:

Una copa de Casagrande con ranurador laminar
Una balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
Un horno de temperatura constante, comprendida entre 105 y 110 °C
Vidrios de reloj
Cápsulas de porcelana
Espátulas y demás equipo obligado



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Procedimiento de prueba:

1. Tómense unos 100 gr de suelo húmedo y mézclense con una espátula, añadiendo agua destilada si es preciso, hasta que adopten una consistencia suave y uniforme.
2. Colóquese una porción de esa pasta en la copa de Casagrande con un espesor máximo de 1 cm y hágase con el ranurador apropiado la ranura correspondiente; el ranurador deberá mantenerse en todo el recorrido normal a la superficie interior de la copa.
3. Acciónese la copa a razón de dos golpes por segundo, contado el número de golpes necesario para que la parte inferior del talud de la ranura se cierre 1.27 cm (0.5"). La ranura deberá cerrarse por flujo del suelo y no por deslizamiento del mismo respecto a la copa.
4. Remézclese el suelo en la copa, con la espátula, repitiendo las etapas (2) y (3) dos veces más, si el número de golpes necesario para el cierre de la ranura es consistentemente el mismo en las tres ocasiones. Si algunos de esos números resulta muy diferente de los otros, repítanse una cuarta vez las etapas (2) y (3). Así se tiene un número de golpes correspondiente a un cierto contenido de agua del suelo. Entre dos determinaciones, el número de golpes no debe diferir en más de un golpe.
5. Cuando se ha obtenido un valor consistente del número de golpes, comprendido entre 6 y 35 golpes, tómese 10 gr de suelo, aproximadamente, de la zona próxima a la ranura cerrada y determínese su contenido de agua de inmediato.
6. Repítanse las etapas (2) a (5) teniendo el suelo otros contenidos de agua. Para humedecer el suelo, úsese un gotero, remoldeando la pasta hasta que el agua añadida quede uniformemente incorporada. Para secar el suelo úsese la espátula, remezclándolo de modo que se produzca evaporación; en ningún caso se secará la muestra en un horno o sometiéndola a ningún proceso de evaporación violenta. De esta manera deberán tenerse, como mínimo, cuatro valores del número de golpes correspondientes a cuatro diferentes contenidos de agua, comprendidos entre los 6 y 35 golpes. Cada valor estará obtenido, como se dijo en (4) de, por lo menos, tres determinaciones sucesivas.
7. Dibújese un gráfica (curva de fluidez) con los contenidos de agua y los números de golpes correspondientes, los primeros como ordenadas en escala natural y los segundos como abscisas, en escala logarítmica. Esta curva debe considerarse como una recta entre los 6 y los 35 golpes. La ordenada correspondiente a los 25 golpes será el límite líquido del suelo.

4.5.2 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL LÍMITE LÍQUIDO:

Equipo necesario:

1 copa de Casagrande con ranurador laminar.
1 balanza con sensibilidad de 0.01 gramos.
1 horno de temperatura constante (110 oC)
Vidrios de reloj
Cápsulas de porcelana
1 espátula.

Procedimiento de prueba:

1.- Se toma una muestra de suelo húmedo y se le agrega agua destilada hasta llegar a una consistencia suave y uniforme.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- 2.- Con la espátula se unta la pasta en la copa de Casagrande procurando que esta no tenga un espesor mayor a 1cm.
- 3.- Con el ranurador se hace una ranura en la muestra procurando que éste siempre esté en una posición normal a la superficie de la copa.
- 4.- Se acciona la copa de Casagrande a razón de 2 golpes por segundo y se cuentan los números de golpes que se llevan.
- 5.- Una vez que el talud de la ranura se cierra 1.27 cm. se anota el número de golpes acumulados.
- 6.- Se toma un testigo de humedad y se pesa.
- 7.- Se mete al horno y se deja reposar 24 horas.
- 8.- Se anotan los resultados.
- 9.- Se repiten los pasos a partir del 1 para diferentes cantidades de agua.

4.5.3 LÍMITE PLÁSTICO

Procedimiento de prueba:

1. Mézclense perfectamente alrededor de 15 gr de suelo húmedo.
2. Rólese el suelo sobre una placa de vidrio o metal con la mano, hasta alcanzar un diámetro de 3 mm (1/8").
3. Repítase la etapa (2) hasta que el cilindro presente señales de desmoronamiento y agrietamiento al alcanzar el diámetro de 3 mm (1/8").
4. Al llegar al límite señalado (3), determínese el contenido de agua de una parte del cilindro correspondiente.
5. Repítanse las etapas (2) a (4) dos veces más, para obtener tres valores. El límite plástico del suelo será el promedio de las tres dimensiones.

PROCEDIMIENTO PARA LA CONTRACCIÓN LINEAL Y VOLUMÉTRICA:

- 1.- Se toma una muestra de suelo y se coloca en los moldes.
- 2.- Se compacta la muestra.
- 3.- Se mete al horno durante 24 horas.
- 4.- En el caso de la contracción lineal, la muestra se mide con un vernier varias veces y se saca el promedio de alturas.
- 5.- Para la contracción volumétrica la muestra se sumerge en mercurio y se pesa el volumen desplazado.



4.5.4 VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR (V.R.S. std.)

Objetivo es determinar si el suelo en estudio, tiene la calidad para ser empleado en las capas: base, sub-base, y sub-rasante.

Para esta prueba se utiliza un suelo compactado por medio de la prueba Porter.

Equipo y material que se utiliza:

- todo el equipo de la material utilizado en la prueba Porter
- prensa con capacidad de 5,000 kg.
- Deposito de agua para saturar el suelo compactado
- Papel filtro de 15.2 cm de diametro
- Placa circular perforada de 15.2 cm de diametro
- placas circulares de caraga de 15.2 cm de diametro y de 3 kg. De peso cada una
- un tripoide metalico para referencia de mediciones
- pistón de penetración de 4.95 cm. de diámetro
- extensometro con carrera de 2.54 cm. y una aproximación de 0.01 m.
- cronometro o reloj.
- Calibrador con vernier

Procedimiento:

1. Estando el suelo ya compactado, se pone encima un papel filtro, para que no se erosione, al momento de introducirlo a inmersión total de agua.
2. Arriba del papel se coloca una placa circular perforada y encima de esta, las dos placas circulares de carga, sobre la extensión del molde se coloca el trípode, que servirá como referencia de mediciones de altura y conocer si el suelo presenta expansión.
3. se introduce todo el conjunto al depósito al con agua (fig. 4.15), de tal forma que el molde quede sumergido, con un tirante de dos centímetros, arriba del borde superior de la extensión del molde.



Fig. 4.15



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4. Utilizando el vernier, se hace una primera lectura, mediada sobre el trípode hasta que la parte central del vástago de la placa circular perforada; anotando la lectura como (Li) se verifica cada 24 hrs. Y cuando en dos lecturas se observe que no hay diferencia se anota el valor como lectura final (Lf) con aproximación de 0.01mm. el periodo de saturación generalmente varía de 3 a 5 días.
5. todo lo anterior descrito en el paso 4, es con el fin de determinar el porcentaje de expansión que puede tener un suelo y se obtiene con la formula

$$\text{Expansión} = \frac{Li - Lf}{he} * 100 ; \text{donde; } he \text{ altura del espécimen en cm.}$$

6. se retira el molde del agua se retira la extensión, el papel filtro y la placa circular perforada, colocándose en medio de las placas de carga el pistón de penetración, después se coloca el molde en la parte central de la prensa (Fig. .16)



Fig. 4.16

7. se coloca el extensómetro que va indicar las penetraciones estandarizadas para esta prueba; estas son
1.27mm
2.54mm
3.81mm
5.08mm



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



7.62mm
10.16mm
12.70mm

8. se aplica una precarga de 10 Kg. E inmediatamente después, sin retirar la cargase ajusta el extensómetro en cero para indicar la penetración del pistón de penetración.
9. Se aplica precarga que el pistón penetre al espécimen a una velocidad de 1.27 mm/min. anotando las cargas necesarias para obtener cada una de las penetraciones descritas anteriormente.
10. los resultados se llevan ala grafica (penetraciones contra cargas) obteniéndose la curva de valor relativo de soporte estándar y obteniendo finalmente el resultado de este con la sig. Formula:

V.R.S. std = $\frac{C_{2.54} \times 100}{1360}$; donde; $C_{2.54}$ = A la carga correspondiente a la penetración de 2.54 mm en Kg.

1360 = Equivale a la carga que presenta un material de buena calidad
penetración por ejemplo; una caliza triturada

4.5.5 EQUIVALENTE DE ARENA

Objetivo: Obtener el porcentaje de materiales finos indeseables, principalmente las arcillas que son los materiales que en contacto con el agua le provocan daños al pavimento.

Equipo:

- Probetas de acrílico de 38 cm de altura (15") (fig. 4.17)
- Cápsulas de aluminio.
- Malla del # 4
- Pisón el cual tendrá una marca que tiene una longitud desde la punta hasta la marca de 25.4 cm (10) peso de 980 gr
- Embudo.
- Balanza con aproximación de 1gr.
- Solución de trabajo compuesta de cloruro de calcio, glicerina, formaldehído y agua destilada.
- Repisa donde colocar el frasco con la solución del trabajo.
- 90 ml de solución de trabajo y se completara hasta 1 galón agregándole agua.
- 1 Cucharón.
- 1Charolaredonda
- Tapones de corcho.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Fig. 4.17

PROCEDIMIENTO:

Cribar por la malla # 4 unos 500 gr de material, cuartearlo y tomar 2 muestras representativas del material con un peso de 100 gr cada una las cuales pesaremos en las cápsulas. (Fig. 4.18)



Fig. 4.18

Agregar en la probeta solución de trabajo hasta la marca de 10 cm ó 4" colocar dentro de la probeta el contenido en una de las cápsulas procurando que la solución impregne el suelo dándole unos golpes en la parte inferior de la probeta y dejar en reposo durante 10 min. para que se homogenice la muestra, pasando ese tiempo se lleva a el agitador y se coloca en él durante 45 seg. y en caso de que no se cuente con este elemento se ara manualmente agitándola en forma horizontal de tal modo que se cumpla 90 cm.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Se retira del agitador y se coloca debajo del gabinete para agregarle solución de trabajo hasta la marca final (38 cm ó 15"). Este proceso de inicio debe darse un picado con la varilla por la que fluye la solución para que tiendan a subir las partículas finas y no queden atrapadas debajo de la arena, después de esto se va subiendo lentamente el tubo regador y se ira lavando las paredes de la probeta bajándose nuevamente el tubo provocándole a la muestra una turbulencia con el mismo cuando se llega a la marca final se cierra la manguera del irrigador y esta solución se deja en reposo durante 20 min.

Después de este tiempo se lee directamente en la probeta la altura a la que se encuentra los finos a este valor le llamaremos lectura de arcilla.

Después de esto y ayudados con el pisón introducirlo lentamente para evitar turbulencias cuando ya no baje más se le dará un pequeño giro sin aplicar presiones y ayudados con la marca del pisón tomaremos la altura a la que se encuentra la arena a esto le llamaremos lectura aparente de arena y para conocer la lectura real la Restaremos 25.4 cm ó 10".

Lectura aparente de arena = 14.45 " = 36.70 cm

Lectura real de arena = 14.45" – 10"= 4.45"= 11.303 cm

Lectura de arcilla = 9.4" = 23.88 cm

Para obtener el equivalente de arena se aplicara la siguiente expresión:

Lectura de arena / Lectura de arcilla * 100

$E_A = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} * 100 = \frac{11.30}{23.88} * 100 = 47.21 \%$

Lectura de Arcilla 23.88

El ensaye se efectuara por duplicado con el mismo material aceptándose tolerancias de $\pm 5\%$

Lectura real de arena = 12.6" – 10" = 2.6" = 6.60 cm

Lectura de arcilla = 11" = 27.94 cm

$E_A = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} * 100 = \frac{6.60}{27.94} * 100 = 23.62 \%$

4.5.6 PRUEBA TRIAXIAL RAPIDA

Objetivo: determinar la cohesión (C) y el ángulo de fricción interna ($\downarrow$) del suelo en estudio

Equipo y material que se utiliza:

- Prensa triaxial
- Dispositivo para agua con manómetro
- Compresor



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- Calibrador con vernier
- Cronometro
- Balanza con aprox. De 0.1 gr.
- Horno
- Membrana de látex
- Torno para el labrado
- Mangueras de plástico reforzada
- Cuchillo y arco con alambre acerado
- Molde cilíndrico
- Pisón
- Muestra inalterada

Procedimiento:

1. Para esta prueba se requieren probar 3 especímenes a diferentes presiones confinantes, aunque se preparan 4 por si se necesita verificar algún resultado. Los especímenes podrán obtenerse de muestras inalteradas, labrándose en el toro especial o de las muestras inalteradas, que en este caso se remoldean, utilizando el molde y el pisón compactando el suelo y reproduciendo un cierto peso volumétrico.
2. Los especímenes se harán de 3.6 cm. de diámetro y la altura será de 2 a 3 veces el diámetro.
3. Determinése la densidad y la humedad del suelo en estudio.
4. Si las muestras son labradas se medirán los diámetros: superior (Ds), central (Dc) e inferior (Di).
5. Las muestras se introducen a un recipiente para que no pierdan humedad.
6. Se inicia con la muestra N°1 la cual será mitad y pesada, anotándose estos datos en el registro correspondiente.
7. Se coloca en la base de la cámara triaxial, se coloca el cabezal encima, se cubre la muestra con una membrana de látex, ligada perfectamente para evitar que penetre el agua que se utiliza para dar confinamiento al suelo.
8. Se saca el vástago de carga y se coloca la cámara triaxial sobre la muestra, se ajustan los tornillos, se baja el vástago hasta que toque el cabezal.
9. Se coloca en la cámara en la prensa, utilizando la manivela se sube la cámara hasta que el micrómetro que indica la carga se mueva una unidad y enseguida se introduce el agua que dará la compresión confinante, con la cual se va ensayar el primer espécimen. Teniendo cuidado de revisar la válvula que se encuentra en la parte superior de la cámara, la cual debe estar ligeramente abierta y cuando salga poco agua, esto nos indicara que la cámara se lleno completamente de agua, por lo que se cerrara esta válvula.
10. Se coloca la manivela en la tercera muesca; esto es para que la prensa funcione por medio de un motor a una velocidad constante (1.14m por minuto), se ajustan los dos extensómetros (el que registra unidades de carga y el de unidades de deformación) en cero.
11. Se aplica la carga, tomándose lecturas de unidades de carga y unidades de deformación a cada 30 seg. O a cada minuto hasta que se registren dos unidades de carga iguales. También se dejan de tomar lecturas o se suspende el ensaye si la muestra del suelo presenta una deformación del 20% con respecto a la altura inicial.
12. Se elimina la presión del confinamiento y se saca el espécimen fallado, se hace un croquis de este y se somete a un secado en el horno par obtener el contenido de agua.
13. Para los especímenes restantes se utiliza el mismo procedimiento, lo único que se hace el variar las presiones de confinamiento.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



14. Cuando ya se probaron todos los especímenes se calculan los esfuerzos en los diferentes intervalos de tiempo, para cada espécimen y este se grafica, se conoce como esfuerzo desviador (61-62).
15. Para obtener la cohesión (C) y el Angulo de fricción del suelo ($\downarrow$) se usan los círculos de MOHR; donde el diámetro del círculo será el esfuerzo desviador
16. Para el trazo de los círculos se utiliza un eje vertical y otro horizontal, en el vertical van los esfuerzos tangenciales y en el horizontal los esfuerzos normales. Para poder verificar lo anterior se debe fijar una escala de esfuerzos por ejemplo 1:1 (1cm= 1kg/cm², 2:1, etc.
17. Ya que se trazaron los círculos, se traza una tangente a estos hasta cortar el eje vertical; la distancia que existe a partir del origen hasta el corte antes descrito y medida en la escala previamente fijada, se le conoce como Cohesión del suelo
18. Para obtener el ángulo de fricción interna del suelo; se traza una horizontal que corte la tangente antes descrita; el ángulo formado por la horizontal y la tangente será el de fricción del interna del suelo, que puede ser medido con un transportador u obtenido con la función tangente.

4.5.7 RESISTENCIA A LA ABRASION O DESGASTE DE LOS AGREGADOS

Objetivo: Establecer el método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos, mayores de 19 mm, mediante la máquina de los Ángeles.

Objetivos específicos:

- Determinar el porcentaje de desgaste que existe en el agregado grueso.
- Conocer el uso y manejo de la Máquina de los Ángeles.

Material y equipo:

- Balanza. Un aparato sensible, fácil de leer, con precisión del 0.05% de la masa de la muestra en cualquier punto dentro del rango usado para este ensayo.
- Estufa de Secado. Se debe mantener la temperatura uniforme
- Tamices. Serie de tamices que deben cumplir con la Norma de la SCT.
- Se utilizaron los tamices 1 ½", 1", ¾", ½", ", N° 4.
- Máquina de los Ángeles. Aparato especificado por la Norma de la SCT.

Base teorica:

La resistencia a la abrasión, desgaste, o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar duros.

Dicho método más conocido como el de la Máquina de los Ángeles, consiste básicamente en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente. Se añade una carga de bolas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones. El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = [Pa - Pb] / Pa$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Donde:

Pa es la masa de la muestra seca antes del ensayo (grs)

Pb es la masa de la muestra seca después del ensayo, lavada sobre el tamiz 1.68 mm

En el ensayo de resistencia a la abrasión o al desgaste se utiliza la Maquina de los Ángeles.

Esta es un aparato constituido por un tambor cilíndrico hueco de acero de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente, con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que puede transmitirle un movimiento de rotación alrededor del eje. El tambor tiene una abertura para la introducción del material de ensayo y de la carga abrasiva; dicha abertura está provista de una tapa que debe reunir las siguientes condiciones:

- Asegurar un cierre hermético que impida la pérdida del material y del polvo.
- Tener la forma de la pared interna del tambor, excepto en el caso de que por la disposición de la pestaña que se menciona más abajo, se tenga certeza de que el material no puede tener contacto con la tapa durante el ensayo.
- Tener un dispositivo de sujeción que asegure al mismo tiempo la fijación rígida de la tapa al tambor y su remoción fácil.

El tambor tiene fijada interiormente y a lo largo de una generatriz, una pestaña o saliente de acero que se proyecta radialmente, con un largo de 90 mm aproximadamente. Esta pestaña debe estar montada mediante pernos u otros medios que aseguren su firmeza y rigidez. La posición de la pestaña debe ser tal que la distancia de la misma hasta la abertura, medida sobre la pared del cilindro en dirección de la rotación, no sea menor de 1250 mm. La pestaña debe reemplazarse con un perfil de hierro en ángulo fijado interiormente a la tapa de la boca de entrada, en cuyo caso el sentido de la rotación debe ser tal que la carga sea arrastrada por la cara exterior del ángulo.

Una carga abrasiva consiste en esfera de fundición o de acero de unos 48 mm de diámetro y entre 390 y 445 gramos de masa, cuya cantidad depende del material que se ensaya, tal como se indica en la siguiente tabla :

TIPO	NÚMEROS DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (grs)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 15



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4.5.8 VALOR RELATIVO DE SOPORTE ESTÁNDAR (V.R.S. std.)

Objetivo: Determinar si el suelo en estudio, tiene la calidad para ser empleado en las capas: base, sub-base y sub-rasante.

Para ésta prueba se utiliza un suelo compactado por medio de la prueba Porter.

Equipo y material que se utiliza:

- Todo el equipo y materiales utilizados en la prueba Porter
- Prensa con capacidad de 5, 000 Kg..
- Depósito con agua para saturar el suelo compactado
- Papel filtro de 15.2 cm de diámetro
- Placa circular perforada de 15.2 cm de diámetro
- placas circulares de carga de 15.2 cm de diámetro y de 3 Kg.. de peso cada una
- Un trípode metálico para referencia de mediciones
- Pistón de penetración de 4.95 cms. de diámetro
- Extensómetro con carrera de 2.54 cms. y una aproximación de 0.01 mm.
- Cronómetro o reloj
- Calibrador con vernier

Procedimiento:

1.-Estando el suelo ya compactado, se pone encima un papel filtro, para que no se erosione, al momento de introducirlo a inmersión total en agua.

2. Arriba del papel se coloca una placa circular perforada y encima de ésta, las 2 placas circulares de carga, sobre la extensión del molde se coloca el trípode, que servirá como referencia de mediciones de altura y conocer si el suelo presenta expansión.

3. Se introduce todo el conjunto al depósito con agua, de tal forma que el molde quede sumergido, con un tirante de 2 cms. arriba del borde superior de la extensión del molde.

4. Utilizando el vernier, se hace una primera lectura de altura, medida sobre el trípode hasta la parte central de vástago de la placa circular perforada; anotando esta lectura como (Li), se verifica cada 24 hrs. y cuando en dos lecturas sucesivas se observe que no hay diferencia, se anota su valor como lectura final (Lf) con aproximación de 0.01 mm. El período de saturación generalmente varía de 3 a 5 días.

5. Todo lo descrito en paso 4, es con el fin de determinar el porcentaje de expansión que puede tener un suelo y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{Expansión} = \frac{Li - Lf}{he} \times 100; \quad \text{donde: } he = \text{Altura del espécimen, en cms.}$$

6. Se retira el molde del agua, se le retira la extensión, el papel filtro y la placa circular perforada, colocándose en medio de las placas de carga el pistón de penetración, después se coloca el molde en la parte central de la prensa.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



7. Se coloca el extensómetro que va indicar las penetraciones estandarizadas para esta prueba; estas son:

- 1.27 mm.
- 2.54 mm
- 3.81 mm.
- 5.08 mm.
- 7.62 mm.
- 10.16 mm
- 12.70 mm

8. Se aplica una precarga de 10 Kg.. e inmediatamente después, sin retirar la carga, se ajusta el extensómetro en cero, para iniciar la penetración vertical del pistón de penetración.

9. Se aplica carga para que el pistón penetre al espécimen a una velocidad de 1.27 mm./min., anotando las cargas necesarias para obtener cada una de las penetraciones descritas anteriormente. (Fig. 4.19)



Fig. 4.19

10. Los resultados se llevan a la gráfica (penetraciones contra carga), obteniéndose la llamada curva de valor relativo de soporte estándar y se obtiene finalmente el resultado de este con la siguiente fórmula:

$V.R.S. \text{ std.} = C_{2.54} \times 100$; donde; $C_{2.54} = A$ la carga correspondiente a la penetración de 2.54 mm. en Kg.

1360 = Equivale a la carga que presentaría un material de buena calidad, para esa penetración; por ejemplo: una caliza



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4.5.9 COMPACTACIÓN (PROCTOR ESTÁNDAR).

Objetivo General:

El objetivo de la práctica es obtener la compactación óptima de una muestra de suelo.

Introducción:

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en el laboratorio unas condiciones dadas de compactación de campo. Todos ellos pensados para estudiar, además los distintos factores que gobiernan la compactación de los suelos.

Históricamente, el primer método, en el sentido de la técnica actual, es el debido a R.R. Proctor y es conocido hoy en día como Prueba Proctor Estándar o A.A.S.H.O. (American Association of State Highway Officials) Estándar.

La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión en tres capas, dentro de un molde de dimensiones y forma especificadas, por medio de golpes de un pisón, también especificado, que se deja caer libremente desde una altura prefijada.

El molde es un cilindro de 0.94 lts de capacidad aproximada, de 10.2 cm de diámetro y 11.7 cm de altura, provisto de una extensión desmontable de igual diámetro y 5 cm de altura.

El pisón es de 2.5 kg de peso y consta de un vástago en cuyo extremo inferior hay un cilindro metálico de 5 cm de diámetro. Los golpes se aplican dejando caer el pisón desde una altura de 30.5 cm.

Dentro del molde el suelo debe colocarse con tres capas que se compactan dando 25 golpes, repartidos en el área del cilindro, a cada una de ellas.

Con los datos anteriores la energía específica de compactación es de 6kg/cm³, calculado con la fórmula:

$$Ee = NnWh/v$$

En donde:

Ee = Energía específica.

N = número de golpes por capa.

n = Números de capas del suelo.

W = Peso del pisón.

h = Altura de caída libre del pisón.

V = Volumen del suelo compactado.

MATERIAL Y EQUIPO

Molde estándar cilíndrico de compactación. (Fig. 4.20)

Regla recta metálica.

Balanza digital.

Balanza de laboratorio.

Pisón.

Horno.

Guía metálica para el pisón.

Malla # 4.



Fig.4.20

Procedimiento:

1. Calcula el número de golpes necesarios para compactar el material, mediante las indicaciones hechas en la teoría.
2. Se toma una muestra de suelo y se pasa por la malla # 4, hasta tener unos 2kg de material.
3. Después se deposita el material en la charola y se humedece, procurando que el material quede con humedad uniforme. (Fig. 4.21)



Fig. 4.21

4. Se deposita el material en el cilindro (1/3 de la altura) y se le dan los 25 golpes, se hace lo mismo para los 2/3 y la altura total.
5. Quítese la extensión del molde y enrásese la parte superior del cilindro con la regla metálica. (Fig. 4.22)



Fig. 4.22

6. Péssense el cilindro con el material.
7. Se retira el material del molde y se toma un testigo de humedad (de aproximadamente 100gr). (Fig. 4.23)



Fig. 4.23

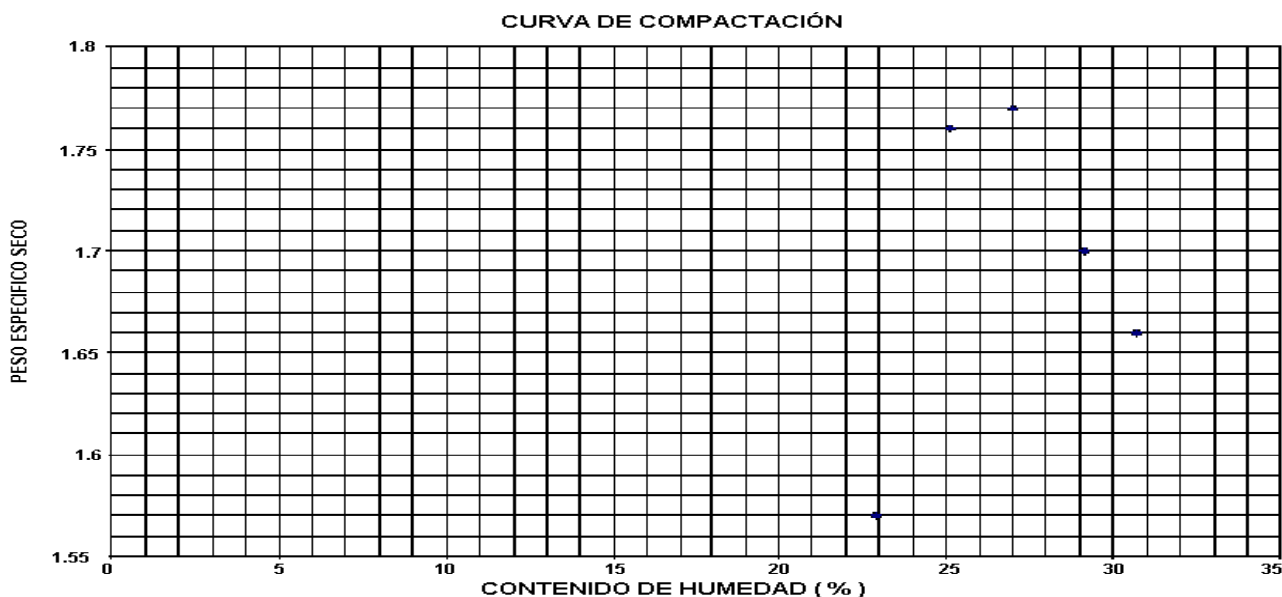
8. Se repiten de nuevo los pasos del 3 al 7 hasta obtener el número de puntos deseados para la gráfica de compactación
9. Se calculan los contenidos de humedad y los pesos específicos secos y de la masa de los testigos de humedad.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



10. Se grafican los resultados obtenidos, tomando como abscisas, los contenidos de agua y como ordenadas los pesos específicos secos y de la masa.



CONCLUSIONES

La prueba de compactación Proctor Estándar es muy sencilla y rápida de realizar, lo único que puede retrasar un poco dicha prueba es la obtención del contenido de humedad. En lo que se refiere al procedimiento no presenta mayor problema debido a que es repetitiva además de que no requiere equipo de gran tamaño o difícil de maniobrar.

Con esta prueba se obtiene la humedad óptima de compactación así como, el peso específico seco máximo, con la finalidad de obtener una muy buena compactación en campo si se reproducen las condiciones en las que se realiza la práctica en el laboratorio; ofrece resultados confiables que si realmente se cumplen en campo se pueden obtener resultados satisfactorios.

4.5.10 PRUEBA PORTER

En suelos friccionantes es muy común que las pruebas dinámicas produzcan una curva de compactación con una forma inadecuada para la determinación del peso volumétrico seco máximo y una humedad óptima. También, para este tipo de suelos existen otras pruebas de compactación en las que usualmente se define una curve de compactación de forma típica, adaptada para los fines que se persiguen.

Una de estas es la prueba de compactación estática, que introdujo O. J. Porter y que alcanzó su forma definitiva alrededor de 1935. En ella se compacta al suelo colocándolo dentro de un molde cilíndrico de unas 6" de diámetro, el suelo se dispone en tres capas y se acomoda con 25 golpes de una varilla con



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



punta de bala, lo que no significa una compactación intensa, pues la varilla es ligera y la altura de caída, que no está especificada es la mínima utilizable por el operador para la manipulación cómoda.

La compactación propiamente dicha se logra al aplicar al conjunto de tres capas una presión de 140.6 Kg/cm², la cual se mantiene durante un minuto.

Este método de prueba sirve para determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima en suelos con partículas gruesas que se emplean en la construcción de terracerías; también se puede emplear en arenas y en materiales finos cuyo índice plástico sea menor que 6. el método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla de una pulgada, a los que se le agregan diferentes cantidades de agua y se compactan con carga estática.

OBJ: En esta práctica se determinará la compactación por carga estática ya que es igual que la prueba Proctor se calculará el peso específico seco máximo y contenido de humedad.

EQUIPO EMPLEADO Y PROCEDIMIENTO

EQUIPO:

- Molde con base y extensión de 6" de diámetro y 5" de altura aproximadamente.
- Varilla con punta de bala.
- Probeta de 500 ml.
- Cápsula de aluminio.
- Charola cuadrada.
- Balanza con capacidad de 20 kg y otros con aproximación de 1gr.
- Horno.
- Máquina para aplicar carga o presión con capacidad de 30 toneladas.

PROCEDIMIENTO:

1. Cribar por la malla # 1 con 16 kg de material (4 kg) finos 2.5 kg y gruesos 1.5kg.
2. Medir el diámetro y altura del molde y pesarlo con la base y extensión.
3. Agregarle agua en forma homogénea la cual deberá medirse cuando estemos en la humedad óptima. Una manera aproximada de conocer esta humedad es apretando el suelo húmedo el cual nos dejará un leve rocío en la palma de la mano, varía entre 450 a 550 ml aproximadamente de agua tomar una muestra representativa para calcular el contenido de humedad en la cápsula de 80 a 100 gr. de la muestra.
4. El material restante se colocará en 3 capas dentro del cilindro y a cada una de ellas se le aplicará 25 golpes con la varilla punta de bala en forma de espiral empezando la orilla y terminando en el centro.
5. Calcular el área del cilindro.
6. Conocido esto calcular la carga total por aplicar sabiendo que esta tiene un valor constante de 1406 kg/cm², la carga por aplicar en la máquina la obtendremos multiplicando el área x carga.
7. El equipo donde se aplicará esta carga está compuesto de un gato hidráulico y un manómetro y este último tiene una constante de carga de 78 kg. Dividiendo la carga total entre la constante para conocer qué lectura tendremos en el manómetro de carga. (Fig. 4.24)



Fig. 4.24

8. Según las especificaciones esta carga deberá aplicarse en un tiempo de 5 minutos para conocer que carga deberá aplicarse/ minuto dividiendo el valor anterior entre 5.
9. Para decir que hemos encontrado la humedad optima en un lapso entre el mínimo de 5 y 6 el espécimen deberá arrojar unas gotas de agua por la parte inferior en caso contrario se repetirá la prueba con otra porción del material y con una cantidad de agua mayor ó menor según se requiera.
10. Retirar el espécimen de la maquina y pesarla con la base y extensión para conocer el peso del suelo húmedo.
11. Se retira la extensión y ayudados con un vernier se mide la altura faltante del material esta se tomara del borde superior del cilindro de cara superior del espécimen en 3 lugares diferentes y
12. de esta sumatoria se saca un promedio para poder conocer la altura de la muestra compactada.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRÁCTICA

Diámetro del molde = 15.8 cm

Altura del molde con extensión = 19.00 cm

Volumen del molde = 0.0039 m³

Área del molde = $0.7854 (15.8^2) = 196.07 \text{ cm}^2$

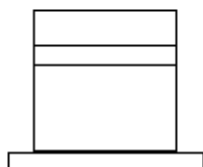
Valor de la carga (es constante) = 140.6 kg/cm²

Carga por aplicar = $196.07 (140.6) = 27567.44 \text{ kg}$

Constante de carga = 78 kg

Unidades del manómetro = $27567.44/78 = 353 \text{ unidades de manómetro}$

$353/5 = 71$



$$ht = (1.3 + 1.3 + 1.4)/3 = 1.33 \text{ cm}$$

$hc = 11.13 - 1.33 = 9.8 \text{ cm}$

Volumen compacto = $V_c = 196.07 \times 9.8 = 1921.49 \text{ cm}^3$

peso específico húmedo = $(11416 - 7020)/1921.49 = 2.29 \text{ gr/cm}^3 = 2290 \text{ kg/m}^3$

contenido de humedad = $118.2 \text{ gr} - 105.80 = 12.4 \text{ gr}$

CONCLUSIONES PERSONALES

En el caso de las pruebas estáticas, éstas solo se pueden utilizar para materiales gruesos debido a que si realizamos una prueba dinámica, los resultados obtenidos en la gráfica no proporcionan la información adecuada para poder obtener el peso volumétrico seco y el contenido de humedad óptima.



4.6 COMPACTACIONES Y REPORTE GEOTÉCNICO

4.6.1 COMPACTACIONES

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos; por lo general el proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, trayendo como consecuencia una variación de volumen, fundamentalmente ligada a la pérdida de volumen de aire, pues por lo general no se expulsa agua de los huecos durante la compactación. No todo el aire sale del suelo, por lo que se considera que un suelo compactado es un suelo saturado.

El objetivo principal de la compactación es lograr que el suelo mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de la vida útil de la obra.

VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

a) LA NATURALEZA DEL SUELO.

La clase de suelo es determinante en el proceso de compactación, prevaleciendo la distinción usual entre suelos finos y gruesos o entre suelos arcillosos y fricciones, pero en el análisis de los procesos de compactación es muy común que tal distinción se detalle mucho más.

b) EL MÉTODO DE COMPACTACIÓN.

En el laboratorio se utilizan tres tipos de compactación: la compactación por impactos, por amasado y por aplicación de carga estática.

c) LA ENERGÍA ESPECÍFICA.

Se entiende por energía específica de compactación la que se entrega al suelo por unidad de volumen, durante el proceso mecánico de que se trate. La energía específica esta dada por la expresión:

$$E_e = N_n W_h / V$$

Donde:

E_e: energía específica

N: número de golpes al pisón compactador

n: número de capas que se disponen hasta apisonar el molde

W: peso del pisón compactador

h: altura de caída del pisón al aplicar los impactos al suelo

V: volumen total del molde de compactación igual al volumen total del suelo compactado

En las pruebas de laboratorio en que se compacta el suelo mediante la aplicación de presión estática, al principio la energía específica se puede evaluar de manera análoga en términos del tamaño del material, el número de capas en que se dispone el suelo, la presión que se aplique a cada capa y el tiempo de aplicación. Sin embargo, en este caso la evaluación no resulta tan sencilla



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



y la energía específica se ve afectada por la deformabilidad del suelo y por el tiempo de aplicación de la presión.

En el caso de las pruebas en que se realiza la compactación por amasado se vuelve más compleja la evaluación de la energía específica, pues cada capa del suelo dentro del molde se compacta mediante cierto número de aplicaciones de carga con un pisón que produce presiones que varían gradualmente de cero hasta un valor máximo, y luego se invierte el proceso en la descarga. La energía de compactación no se puede cuantificar de un modo sencillo, pero puede hacerse variar a voluntad si se introducen cambios en la presión de apisonado, en el número de capas, en el número de aplicaciones del pisón por capa, en el área del pisón o en el tamaño del molde. En el caso de uso de rodillos depende principalmente de la presión y el área de contacto entre rodillo y el suelo, del espesor de la capa que se compacte y del número de pasadas del equipo.

d) EL CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO.

Se sabe que el contenido de agua en el suelo que se compacta es una variable fundamental del proceso. Proctor observó que con contenidos crecientes de agua, a partir de valores bajos, se obtenían más altos pesos específicos secos para el material compactado, si se usa la misma energía de compactación; pero observó también que esta tendencia no se mantiene indefinidamente, ya que cuando la humedad pasa de cierto valor, disminuyen los pesos específicos secos logrados. Es decir, Proctor se dio cuenta de que para un suelo dado, y usando determinado tipo de compactación, existe un contenido de agua de compactación, llamado óptimo, que produce el máximo peso volumétrico seco que es posible obtener usando el método de compactación elegido.

e) EL SENTIDO EN QUE SE RECORRA LA ESCALA DE HUMEDADES AL EFECTUAR LA COMPACTACIÓN.

Este aspecto afecta sobre todo a las pruebas de laboratorio, en las que es común presentar resultados con base en gráficas $\gamma_d - w$ (peso volumétrico seco vs. humedad). Estas curvas son diferentes si las pruebas se efectúan a partir de un suelo relativamente seco al que se va agregando agua o si se parte de un suelo húmedo, que se va secando según avanza la prueba. En el primer caso se obtienen pesos específicos secos mayores que en el segundo, para un mismo suelo y con los mismos contenidos de agua. La explicación del fenómeno podría ser que cuando se le agrega agua a un suelo que está seco, esta tiende a quedar en la periferia de los grumos, con propensión a penetrar en ellos después de algún tiempo; por otra parte, cuando el agua contenida en un suelo húmedo se evapora, la humedad superficial de los grumos se hace menor que la interna.

En los laboratorios es común que se proceda a partir de un suelo relativamente seco; se incorpora según avanza la prueba y se deja pasar el tiempo suficiente tras la incorporación (24 hrs. o algo así), para permitir la distribución uniforme del agua.

f) EL CONTENIDO DE AGUA ORIGINAL DEL SUELO.

Este concepto se refiere al contenido natural de agua que el suelo poseía antes de añadirle o quitarle humedad para compactarlo, en busca del contenido óptimo o cualquier otro con que se hubiere decidido realizar la compactación.



g) LA RECOMPACTACIÓN.

En muchos laboratorios es práctica común usar la misma muestra de suelo para la obtención de puntos sucesivos de la pruebas de compactación; ello implica la continuada recompactación del suelo. Se ha visto que con esta práctica se obtienen pesos volumétricos mayores a los que se logran con muestras vírgenes en igualdad de circunstancias, de modo que con suelos recompactados la prueba puede llegar a dejar de ser representativa.

h) LA TEMPERATURA.

La temperatura ejerce un importante efecto en los procesos de compactación de campo, en primer lugar por efectos de evaporación del agua incorporada al suelo o de condensación de la humedad ambiente en el mismo.

LA CURVA DE COMPACTACION

Proctor visualizó la correlación entre los resultados de un proceso de compactación y el aumento del peso volumétrico seco del material compactado, y estableció la costumbre, que aún hoy se sigue, de juzgar los resultados de un proceso volumétrico seco que se logre; también estudio la importancia que desempeña el contenido de agua del suelo en la compactación de que él se obtiene, con un cierto procedimiento.

Juntando estos dos aspectos, que considero básicos, estableció la costumbre que subsiste hasta la actualidad, de representar la marcha de un proceso de compactación por medio de una gráfica en la que se haga ver el cambio de peso volumétrico seco al compactar al suelo con diversos contenidos de agua, utilizando varias muestras del mismo suelo, cada una de las cuales proporciona un punto de la curva (figura 4.25) (18).

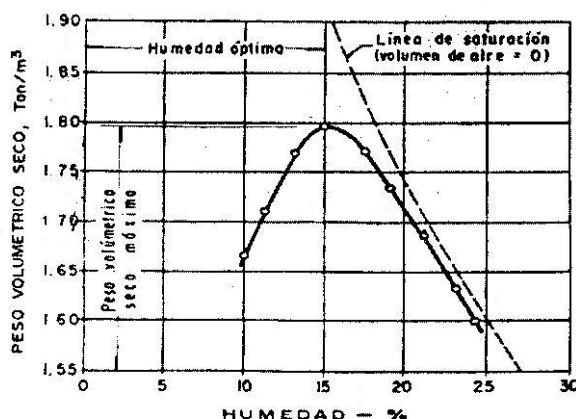


Fig. 4.25

(18) Rico Rodríguez y Hermilo del Castillo. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres tomo I. Editorial Limusa. 1996. Página 158.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

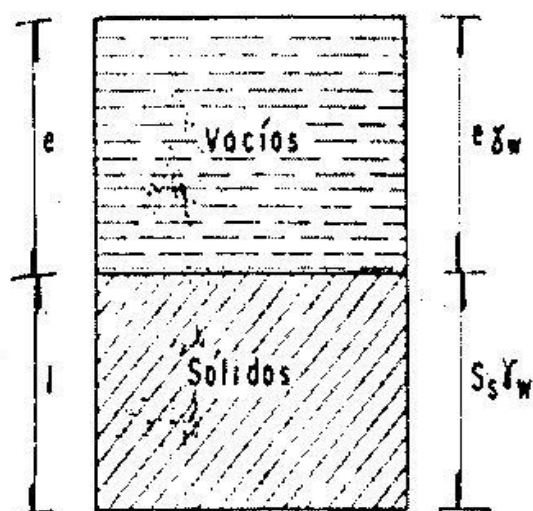


Una representación tal y como la anterior (d-w) recibe el nombre de curva de compactación, pero no constituye el único medio gráfico de representar los resultados de un proceso de compactación; simplemente en el modo más usual de representación de los que hoy se utilizan.

La curva muestra un valor máximo absoluto, alguna vez acompañado de otro secundario de menor valor. El peso volumétrico seco máximo; la humedad con la que tal máximo se consigue se denomina humedad óptima y representa el contenido de agua con la cual el procedimiento de compactación que se este usando produce la máxima eficiencia, por lo menos si está se juzga por el peso volumétrico seco que se logre.

La curva puede construirse, ya sea en el laboratorio ó en el campo, a partir de parejas de valores, los cuales se pueden obtener, como ya se dijo, y se aplica el procedimiento de compactación de que se trate a diversos especímenes del mismo suelo con diferente contenido de agua. La curva puede entonces dibujarse a partir de los valores anteriores.

También aparece en la figura la curva correspondiente al 100% de saturación del suelo en cada caso. La curva de saturación se puede obtener si se calculan los pesos volumétricos secos que correspondieran al mismo suelo supuesto, saturado con el contenido de agua correspondiente a una cierta abscisa de la curva, y cuya obtención es sencilla a partir del esquema de la figura 4.26 (19)



Por definición:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m} = \frac{S_s \gamma_w}{1 + e}$$

Según fórmula (1-9):

$$e = w S_s \quad (\text{Suelo saturado})$$

$$\gamma_d = \frac{S_s}{1 + w S_s} \gamma_w \quad (4-3)$$

Figura 4.26

Muchas de las curvas de compactación que se obtienen en el laboratorio se realizan en pruebas en que el espécimen se compacta por capas dentro del molde y por medio de golpes aplicados con un pisón estándar, con una energía también prefijada. Cuando una prueba de tal naturaleza (prueba dinámica) se realiza en una arena si contenido de partículas de arcillas, la curva de compactación adquiere la siguiente forma (figura 4.27) (20).

(19) Rico Rodríguez y Hermilo del Castillo. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres tomo I. Editorial Limusa. 1998. Página 159.

(20) Rico Rodríguez y Hermilo del Castillo. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres tomo I. Editorial Limusa. 1996. Página 159.

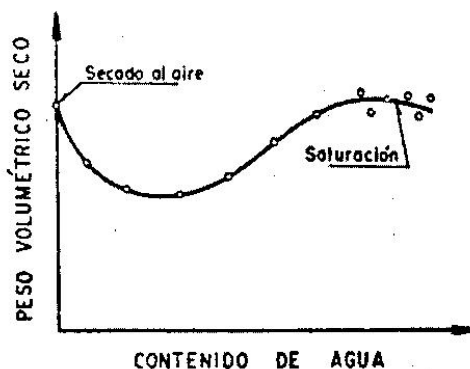


Fig. 4.27

PROCESOS DE COMPACTACIÓN DE CAMPO

La energía que se requiere para compactar los suelos en el campo se puede aplicar mediante cualquiera de las cuatro formas que se enumeran más adelante:

1. Por amasado
2. Por presión
3. Por impacto
4. Por vibración
5. Métodos mixtos

1. COMPACTADORES POR AMASADO. RODILLOS PATA DE CABRA.

Estos compactadores concentran su peso sobre la superficie de todo un conjunto de puntas de forma variada ejerciendo presiones estáticas muy grandes en los puntos en que las puntas penetran en el suelo. Conforme se ven dando pasadas y el material se va compactando, las patas profundizan cada vez menos en el suelo, y llega el momento en que ya no existe ninguna compactación adicional.

La presión que ejerce el rodillo pata de cabra al pasar con sus vástagos sobre el suelo no es uniforme en el tiempo; los vástagos penetran ejerciendo presiones crecientes, las cuales llegan a un máximo en el instante en que el vástago está vertical y en su máxima penetración; a partir de ese momento la presión disminuye hasta que el vástago sale. Además, la acción del rodillo es tal que hace progresar la compactación de la capa de suelo de abajo hacia arriba; en las primeras pasadas las protuberancias y una parte del tambor mismo penetran en el suelo, lo que permite que la mayor presión se ejerza en el lecho inferior de la capa por compactar; para que esto ocurra el espesor de la capa no debe ser mucho mayor que la longitud del vástago. A esta manera de compactar se le denomina "amasado". El proceso puede llegar a un límite en el cual el rodillo "camina" sobre el suelo y transmite todo su peso a través de los vástagos, pero sin que exista contacto entre el tambor y el suelo.



Fig. 4.28 www.caterpillar.com

Por lo general, se considera adecuada la operación cuando el vástago penetra del 20 al 50% de su longitud, lo que depende de la plasticidad del suelo; así, para una arcilla blanda se busca realizar penetraciones menores que para una arcilla arenosa, a fin de evitar que se adhieran al vástago cantidades considerables del suelo y se reduzca el rendimiento del equipo.

El rodillo pata de cabra produce entonces dos resultados muy deseables en los terraplenes de suelos finos compactados, que son una distribución uniforme de la energía de compactación en cada capa y una buena liga entre capas sucesivas.

La figura 4.29 analiza un aspecto importante de la compactación con rodillos pata de cabra. Se trata de presentar ahora el efecto del número de pasadas de un rodillo de tipo medio sobre diferentes tipos de suelos.

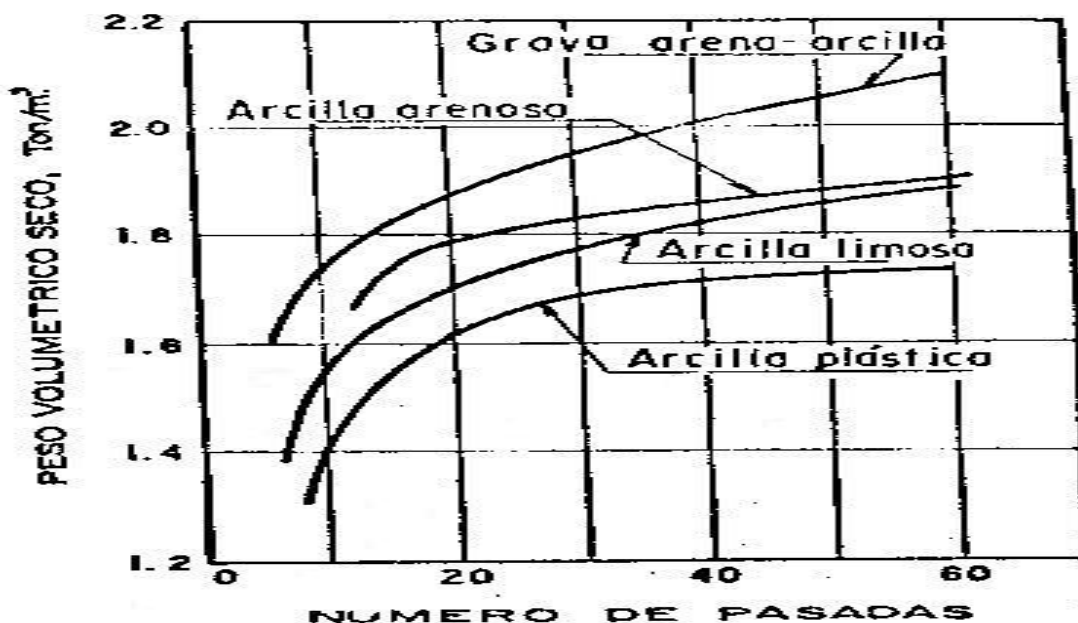


Fig. 4.29



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Puede verse que por lo general, disminuye el incremento de peso volumétrico seco por pasada al aumentar la plasticidad, y que el número adecuado de pasadas depende del tipo de suelo que se tenga en cada caso.

El rendimiento de los rodillos pata de cabra está influido notablemente por la forma en que opera el equipo; por ejemplo, si los vástagos penetran en los mismos agujeros durante varias pasadas sucesivas, el rendimiento del equipo se reduce; para evitar que esto ocurra el operador debe procurar hacer un ligero cambio en el recorrido del rodillo. Para un equipo de características determinadas, el máximo rendimiento posible de operación puede calcularse burdamente aplicando la siguiente expresión:

$$E = a h v / 10 n$$

En la que:

E = rendimiento del compactador, en m³ por hora

a = ancho del rodillo, en cm

h = espesor de la capa compactada, en cm

v = velocidad del compactador, en km/h

n = número de pasadas del equipo por el mismo lugar

Los rodillos pata de cabra rinden sus mejores resultados en suelos finos. La concentración de presión que producen los vástagos se ha revelado como muy útil para la ruptura y disgregación de los grumos que se forman en las arcillas homogéneas por acción de fuerzas de naturaleza capilar entre sus partículas. En suelos finos no homogéneos, con diferentes rangos de tamaños, la acción de las patas de cabra también es muy benéfica para romper y disgregar las diferentes partículas y para unir entre sí las distintas capas de material compactado, pues al quedar distorsionada la superficie de cada capa, se compacta junto con la siguiente, lo que elimina la tendencia a la laminación. En arcillas blandas francas, además de que tiene posibilidad de eliminar grumos, el rodillo pata de cabra resulta muy conveniente por la acción de amasado, ya descrita. En épocas recientes incluso se ha combinado la acción de los rodillos pata de cabra con la vibración, para incrementar la concentración de fuerzas sobre áreas pequeñas y favorecer el poder rompedor y mezclador de estos equipos. Se han desarrollado también dos tipos de compactadores que pueden considerarse como variantes del rodillo pata de cabra tradicional: el rodillo de rejillas y el segmentado.

2. COMPACTACIÓN POR PRESIÓN. RODILLOS LISOS Y NEUMÁTICOS.

Rodillos neumáticos. La acción compactadora del rodillo neumático (con llantas rellenas de aire) tiene lugar fundamentalmente por la presión que transmite a la capa de suelo tendida, pero estos rodillos producen también un cierto efecto de amasado, que causa al suelo grandes deformaciones angulares por las irregularidades de las llantas; este efecto ocurre a escala mucho menor que en los rodillos pata de cabra, pero tiene cierta importancia, sobre todo en la porción más superficial de la capa que se compacta. El rodillo aplica a la superficie de la capa prácticamente la misma presión desde la primera pasada; esta presión es casi igual a la presión de inflado de la llanta, si se descuentan pequeños efectos de rigidez de la llanta misma.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Fig. 4.30 www.caterpillar.com

Podría pensarse que la eficacia compactadora pudiese crecer de manera indiscriminada con la precisión de inflado, pero esto no es el todo cierto, pues si la presión no es demasiado grande, a ambos lados de la huella se producen concentraciones que hacen aparecer presiones horizontales adicionales que ayudan al asentamiento de las partículas y a su mezclado; así, la elección de la presión de inflado se ha de hacer con base en varios factores, a alguno de los cuales se hará referencia más adelante. El acabado superficial de las capas compactadas con rodillos neumáticos suele tener la rugosidad suficiente para garantizar una buena liga con la capa superior. En cualquier tipo de suelo, un incremento en la carga por rueda o en la presión de inflado produce un aumento en el peso volumétrico seco máximo.

Ese incremento va acompañado de una disminución en el contenido de agua óptimo. No obstante, es poco recomendable aumentar la presión de inflado sin incrementar en la misma proporción la carga por rueda, pues ello reduciría el área de contacto, haría que no se presentasen las presiones de confinamiento horizontal de que ya se habló y tendería a producir mayores variaciones del grado de compactación con la profundidad.

A medida que el suelo se compacta, su resistencia a la penetración va aumentando, por lo que a veces resulta conveniente emplear al principio equipos que transmitan presiones de contacto relativamente bajas, y utilizar en las etapas finales de la compactación otros que puedan transmitir presiones mayores.

Los rodillos neumáticos se usan principalmente en los suelos arenosos con finos poco plásticos, en los que no existen grumos cuya disgregación requiera grandes concentraciones de presión, como las que producen los rodillos pata de cabra; en estos suelos resulta eficiente la aplicación de presiones uniformes en áreas mayores, lo que incluso evita que se produzcan zonas sobrefatigadas en el material compactado. En limos poco plásticos también son eficientes los rodillos neumáticos.

A continuación se hace una comparativa entre el rodillo pata de cabra y el rodillo neumático:

- a. En suelos residuales, el rodillo pata de cabra logra mayor uniformidad y es más eficiente que el neumático, debido a que la concentración de presión que producen sus patas permite desintegrar fragmentos de roca intemperizada.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- b. El rodillo pata de cabra produce una mejor unión entre capas sucesivas que los rodillos neumáticos.
- c. Los rodillos neumáticos pueden compactar capas más gruesas y a mayor velocidad que los rodillos pata de cabra. Además de la ventaja económica que esto implica, el mayor espesor de capa permite incluir material grueso de mayor tamaño.
- d. En suelos con grandes guijarros, las llantas neumáticas permiten una distribución de esfuerzos más uniforme, en tanto que el tambor rígido del rodillo pata de cabra suele cuentearse sobre sus vástagos entre tales guijarros, dejando prácticamente sin compactar el suelo intermedio.

3. COMPACTACIÓN POR IMPACTO.

En los procedimientos de compactación por impacto es muy corta la duración de la transmisión del esfuerzo. Los equipos que pueden clasificarse dentro de este grupo son los diferentes tipos de pisonos, cuyo empleo está reservado a áreas pequeñas, y ciertas clases de rodillos apisonadores (tamper) semejantes en muchos aspectos a los rodillos pata de cabra, pero capaces de operar a velocidades mucho mayores que estos últimos, lo que produce un efecto de impacto sobre la capa de suelo que se compacta.



Fig. 4.31 www.caterpillar.com

Los pisonos pueden ir desde los de tipo más elemental, de caída libre y accionados a mano, hasta aparatos bastante más complicados movidos por compresión neumática o por combustión interna. Sobre todo por razones de costo, en todos los casos su empleo está limitado a determinadas partes de la estructura vial, tales como zanjas, desplante de cimentaciones, áreas adyacentes a alcantarillas o estribos de puentes, cobertura de alcantarillas, etc. y en donde no puedan usarse otros equipos de compactación de mayor rendimiento, por razones de espacio o por temor al efecto de un peso excesivo.



4. COMPACTACIÓN POR VIBRACIÓN.

Para la compactación por vibración se emplea un mecanismo, bien sea de tipo de masas desbalanceadas o del tipo hidráulico pulsativo, que proporciona un efecto vibratorio al elemento compactador propiamente dicho. Hay varios factores inherentes a la naturaleza de la vibración que influyen de manera substancial en resultados que rinde el equipo; los principales son:

- a) La frecuencia, esto es, el número de revoluciones por minuto del oscilador.
- b) La amplitud, generalmente medida por una distancia vertical en casi todos los equipos comerciales.
- c) El empuje dinámico que se genera en cada impulso del oscilador.
- d) La carga muerta, es decir, el peso del equipo de compactación, sin considerar el oscilador propiamente dicho.
- e) La forma y el tamaño del área de contacto del vibrador con el suelo.
- f) La estabilidad de la máquina.

En el caso de la vibración, para obtener la máxima eficiencia de compactación, el contenido de agua óptimo del suelo suele ser bastante menor que el que el mismo requería para ser compactado por otro procedimiento.

Quizá la ventaja principal de la aplicación de la vibración a las técnicas de compactación estriba en la posibilidad de trabajar con capas de mayor espesor que las que es común usar con otros compactadores; esto aumenta el rendimiento del proceso y reduce el costo de la operación. Por ejemplo, en suelos del tipo GW o GP, la compactación por vibración puede conseguir con facilidad el mismo resultado en capas de 60 cm que el que se lograría con el uso de rodillos neumáticos muy pesados en capas de 20 ó 30 cm de espesor.

En diversas pruebas se ha llegado a apreciaciones cuantitativas de la reducción de la fricción interna que se consigue por un proceso vibratorio; ésta ha llegado a ser de 15 veces en arenas y de 40 en gravas. A este efecto reductor de la fricción se suma la presión del compactador, con sus cargas de compresión y esfuerzo cortante, las que además de mejorar el acoplamiento entre las partículas y aumentar la posibilidad del relleno de huecos, contrarrestan las fuerzas de tensión capilar que pueden existir entre los granos de arena.

Las fuerzas de cohesión aparente son menor cuanto mayor sea el tamaño de las partículas predominantes en el suelo, de manera que en gravas y fragmentos de roca no son muy relevantes. Puede anticiparse que cuando se compacta un suelo muy grueso con vibración se propicia la salida rápida del agua durante el proceso, si ésta existiera en cantidad importante, lo que conduce a la conclusión práctica de que las gravas y los fragmentos de roca podrán compactarse exitosamente con contenidos de agua muy bajos.

Si el suelo grueso (arena y grava) contiene una cantidad apreciable de finos y su contenido de agua es alto, la compactación por vibración puede dificultarse notablemente. Desde el punto de vista de la compactación por métodos vibratorios convendrá siempre que dicho contenido de finos no exceda el 10%.

Cuanto más uniforme sea la arena o la grava, más difícil será compactar intensamente la parte superficial del suelo. De hecho, un espesor quizá del orden de los 10 cm tendrá menor compacidad que



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



zonas más profundas, pero este hecho carece usualmente de una importancia especial; si sobre la capa compactada vienen otras, al compactar éstas se resolverá la situación. En el caso de las carreteras, la última capa de una base se compactará con la carpeta o con la capa de revestimiento. La compactación de suelos gruesos uniformes con métodos vibratorios pueden mejorarse humedeciéndolos en forma intensa y dando las pasadas finales a alta velocidad; también ayuda el dar las últimas pasadas con vibraciones de pequeña amplitud. No está claro por el momento el papel del agua en estos casos, pero su acción densificante de las aristas de las partículas gruesas, que propicia su aplastamiento bajo las altas presiones que se producen en los contactos entre los granos en los suelos uniformes, en los que cada partícula se apoya en sus vecinas a través de pocos puntos, en los que se producen altas presiones.

El papel del agua es en cambio muy claro cuando se compactan con vibración suelos gruesos en los que existan presiones capilares importantes entre sus granos; el añadir agua disminuye la tensión capilar y propicia el acomodo de los granos.

En lo que se refiere a los suelos finos arcillosos que se compactan por vibración, se ha visto una influencia muy grande del contenido de agua; las arcillas poco húmedas exigen grandes energías de compactación y los equipos que las compacten han de ejercer adicionalmente grandes presiones. El compactador ha de vencer las fuerzas internas que aglutinan los granos de arcilla, lo que exige presiones adicionales a la vibración. Este requerimiento hace que el espesor de las capas que pueden manejarse sea mucho menor que en el caso de arenas y otros suelos friccionantes, así como que la compactación haya de darse con equipos pesados pata de cabra o neumáticos, capaces de dar la presión requerida adicional a la vibración.

No están del todo definidos los mecanismos a través de los que la vibración actúa en las arcillas húmedas, en condición más o menos plástica, pero parece ejercer un efecto favorable al hacer variar la viscosidad de las sustancias coloidales, fenómeno que se ha detectado en masas de arcilla en vibración.

Los limos y los suelos limosos pueden compactarse adecuadamente por métodos vibratorios cuando su contenido de agua es próximo al óptimo y cuando los espesores de capa no son excesivamente grandes.

Uno de los equipos vibratorios de más extenso uso es el manual de placa, en el que ésta es accionada por un operador que utiliza un mango o maneral; si se opera de modo eficiente, puede avanzar unos 10 m por minuto. Las placas vibratorias también pueden montarse en un bastidor al que remolque un tractor.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



IDEAS ÚTILES EN LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE COMPACTACIÓN EN EL CAMPO

El primer requisito para quien aspira a realizar una buena compactación es conocer razonablemente bien los suelos que se vayan a compactar; esto ha de lograrse por medio de la exploración general que se realice a lo largo de la línea, con objeto de producir el estudio geotécnico del proyecto, y por la exploración particular que se efectúe en los bancos de donde se extraerán los materiales.

La humedad natural del suelo en el campo es un dato importante. También lo será la información que se logre al obtener curvas de compactación, siguiendo el procedimiento de laboratorio que se estime reproduce mejor las condiciones de laboratorio.

También se deben investigar las características de expansión y contracción por secado del suelo, para fijar el porcentaje de cambio de volumen que puede sufrir el suelo en la exploración de la vía terrestre; la expansión deberá estudiarse en especímenes compactados y saturados, y la contracción secando el suelo compactado.

Las consideraciones más importantes que se deben ponderar antes de elegir el equipo apropiado en un caso dado son los siguientes:

- a. Tipo de suelo
- b. Variaciones del suelo dentro de la obra
- c. Tamaño e importancia de la obra que se vaya a ejecutar
- d. Especificaciones de compactación fijadas por el proyecto
- e. Tiempo disponible para ejecutar el trabajo
- f. Equipo que ya se posea antes de comenzar los trabajos

La selección de un equipo de compactación es fundamentalmente un asunto de economía. La tabla (Fig. 4.32) ofrece un resumen de los criterios expuestos. (21)

SÍMBOLO SUCS*	MATERIAL	TAMPER AUTOPULSADO	TAMPER REMOLCADO	PATA DE CABRA AUTO PULSADO	PATA DE CABRA REMOLCADO	LISO VIBRATORIO PEQUEÑO	LISO VIBRATORIO PESADO	PATA DE CABRA VIBRATORIO PEQUEÑO	PATA DE CABRA VIBRATORIO PESADO	NEUMÁTICO LIGERO	NEUMÁTICO PESADO
	GRANULAR LIMPIO					1	1			3	2
	GRANULAR CON POCOS FINOS	1	1			1	1	2	2		2
	ROCA	2	2				1		2		
GW, GP, SW	ARENA, GRAVA	2	2			1	1	2	2		2
SP	ARENAS UNIFORME					1	1	2	2		3
SM, GM	ARENAS O GRAVAS LIMOSAS	1	1	4	4	3	3	2	2		2
ML, MH	LIMOS	1	1	2	2			3	3		2
GC, SC	ARENAS O GRAVAS ARCILLOSAS	1	1	2	2			3	3		2
CH, CL	ARCILLAS	1	1	2	2				3		2

Fig. 4.32

(21) Rico Rodríguez y Hermilo del Castillo. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres tomo I. Editorial Limusa. 1996. Página 182.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



En la tabla IV-11, se refiere a las características de utilización de los suelos, no sólo en lo que respecta al problema de compactación, sino a otros varios; esta tabla puede ser una excelente norma de criterio, pero no exime al ingeniero encargado de la obra de hacer todos los estudios de detalle que se requieran para definir claramente las condiciones concretas a que haya que enfrentarse. (22)

TABLA IV-11										
SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS DE COMPACTABILIDAD	PESO SECO MAX. TÍPICO (PROCTOR TON/M3)	VOLUMETRICO STD	COMPRESIBILIDAD Y EXPANSIÓN	PERMEABILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE DRENAJE	CARACTERÍSTICAS COMO MATERIAL DE TERRAPLEN	CARACTERÍSTICAS COMO SUBRASANTE	CARACTERÍSTICAS COMO BASE	C/REVESTIMIENTO LIGERO	C/TRATAMIENTO ASFALTICO
GW	BUENAS. RODILLOS LISOS VIBRATORIOS, RODILLO NEUMATICO. RESPUESTA PERCEPTIBLE AL BANDEO CON TRACTOR	1.9 A 2.1		PRACTICAMENTE NULA	PERMEABLE, MUY BUENAS	MUY ESTABLE	EXCELENTE	MUY BUENA	REGULAR A MALA	EXCELENTE
GP	BUENAS. RODILLOS LISOS VIBRATORIOS, RODILLO NEUMATICO. RESPUESTA PERCEPTIBLE AL BANDEO CON TRACTOR	1.8 A 2.0		PRACTICAMENTE NULA	PERMEABLE, MUY BUENAS	ESTABLE	BUENA A EXCELENTE	REGULAR	POBRE	REGULAR
GM	BUENAS. RODILLOS NEUMATICOS O PATA DE CABRA LIGEROS	1.9 A 2.2		LIGERA	SEMIPERMEABLE. DRENAJE POBRE	ESTABLE	BUENA A EXCELENTE	REGULAR A MALA	POBRE	REGULAR A POBRE
GC	BUENAS O REGULARES. RODILLOS NEUMATICOS O PATA DE CABRA	1.8 A 2.1		LIGERA	IMPERMEABLE. MAL DRENAJE	ESTABLE	BUENA	REGULAR A BUENA	EXCELENTE	EXCELENTE
SW	BUENAS. RODILLOS NEUMATICOS O VIBRATORIOS.	1.7 A 2.0		PRACTICAMENTE NULA	PERMEABLE. BUEN DRENAJE	MUY ESTABLE	BUENA	REGULAR A MALA	REGULAR A MALA	BUENA
SP	BUENAS. RODILLOS NEUMATICOS VIBRATORIOS	1.6 A 1.9		PRACTICAMENTE NULA	PERMEABLE. BUEN DRENAJE	RAZONABLEMENTE ESTABLE EN ESTADO COMPACTO	REGULAR A BUENA	MALA	MALA	REGULAR A MALA
SM	BUENAS. RODILLOS NEUMATICOS VIBRATORIOS	1.7 A 2.0		LIGERA	IMPERMEABLE. MAL DRENAJE	RAZONABLEMENTE ESTABLE EN ESTADO COMPACTO	REGULAR A BUENA	MALA	MALA	REGULAR A MALA
SC	BUENAS O REGULARES. RODILLOS NEUMATICOS O PATA DE CABRA	1.6 A 2.0		LIGERA A MEDIA	IMPERMEABLE. MAL DRENAJE	RAZONABLEMENTE ESTABLE	REGULAR A BUENA	REGULAR A MALA	EXCELENTE	EXCELENTE
ML	BUENAS A MALAS. RODILLOS NEUMATICOS O PATA DE CABRA	1.5 A 1.9		LIGERA A MEDIA	IMPERMEABLE. MAL DRENAJE	MALA ESTABILIDAD SI NO ESTA MUY COMPACTO	REGULAR A MALA	NO DEBE USARSE	MALA	MALA
CL	REGULARES A BUENAS. RODILLOS PATA DE CABRA O NEUMATICOS	1.5 A 1.9		MEDIA	IMPERMEABLE. NO DRENA	BUENA	REGULAR A MALA	NO DEBE USARSE	NO DEBE USARSE	NO DEBE USARSE
OL	REGULARES A MALAS. RODILLOS PATA DE CABRA O NEUMATICOS	1.3 A 1.6		MEDIA A ALTA	IMPERMEABLE. MAL DRENAJE	INESTABLE. DEBE EVITARSE SU USO	MALA	NO DEBE USARSE	NO DEBE USARSE	NO DEBE USARSE
MH	REGULARES A MALAS. RODILLOS PATA DE CABRA O NEUMATICOS	1.1 A 1.6		ALTA	IMPERMEABLE. MAL DRENAJE	INESTABLE. DEBE EVITARSE SU USO	MALA	NO DEBE USARSE	MUY MALA	MUY MALA
CH	REGULARES A MALAS. RODILLOS PATA DE CABRA	1.3 A 1.7		MUY ALTA	IMPERMEABLE. NO DRENA	REGULAR VIGILESE LA EXPANSION	MALA A MUY MALA	NO DEBE USARSE	MUY MALA	NO DEBE USARSE
OH	REGULARES A MALAS. RODILLOS PATA DE CABRA	1.0 A 1.6		ALTA	IMPERMEABLE. NO DRENA	INESTABLE. DEBE EVITARSE SU USO	MUY MALA	NO DEBE USARSE	NO DEBE USARSE	NO DEBE USARSE
Pt	NO DEBE USARSE	-		MUY ALTA	REGULAR O MAL DRENAJE	NO DEBE USARSE	NO DEBE USARSE	NO DEBE USARSE	NO DEBE USARSE	NO DEBE USARSE

(22) Rico Rodríguez y Hermilo del Castillo. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres tomo I. Editorial Limusa. 1996. Página 183.



4.6.2 INFORME DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Con el fin de determinar la estratigrafía a lo largo del eje del trazo, así como las propiedades de los suelos existentes, se realizó un reconocimiento geotécnico desde el Km. 183+000 hasta el Km. 190+000; con base en las observaciones realizadas en este, se elaboró el programa de exploración, el cual consistió en la excavación de pozos a cielo abierto llevados a una profundidad que varió entre 1.50 y 2.30 m. De estos pozos se recuperaron muestras representativas alteradas de cada estrato, las cuales se protegieron e identificaron adecuadamente y se realizó el levantamiento estratigráfico. Los ensayos de laboratorio se programaron, considerando el tipo de muestras recuperadas y el tipo de problemática a resolver. En este sentido, se efectuaron los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico por mallas o porcentaje de fino
- Límites de consistencia
- Compactación Proctor estándar o Porter
- Contracción lineal
- Valor relativo de soporte estándar

A las muestras obtenidas a partir de las calas volumétricas se les determinó:

- Peso volumétrico seco en estado natural
- Contenido natural de agua

De forma general, la estratigrafía encontrada se puede resumir de la siguiente manera:

Del Km. 183+000 al 190+000 aproximadamente, se tienen fundamentalmente 3 estratos del suelo. La capa vegetal con espesor variable entre 0.20 y 0.50 m. subyacente por un pequeño de arcilla plástica de consistencia blanda a media húmeda color café con residuos de materia orgánica (CH) con espesor variable entre 0.55 y 0.80 m. Debajo de este material aparece, en general, arcillas plásticas de consistencia media a firme, húmeda de color gris con capas intercaladas de limo (CH).

MATERIALES

A.- En todos los casos el cuerpo de terraplén, se compactará al 90% ó se bandeará según sea el caso; las capas de transición y subrasante se compactarán al 95 y 100% respectivamente; los grados de compactación indicados son con respecto a la Prueba Proctor ó Porter dependiendo de la granulometría del material, por lo que quedará a juicio del Laboratorio de Control aplicar las Pruebas que corresponda.

B.- En todos los casos, cuando no se indique otra cosa, el terreno natural, después de haberse efectuado el despalle correspondiente, el piso descubierto deberá compactarse al 90% de PVSM en una profundidad mínima de 0.20 m; ó bandearse según sea el caso.

C.- Material que por sus características, no debe utilizarse ni en construcción de terraplén

D.- Material que por sus características, solo puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén, mismo que deberá compactarse al 90% de PVSM ó bandearse según sea el caso.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



E.- Material que por sus características puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén y capa de transición.

F.- Material que por sus características puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén, capa de transición y capa subrasante

G.- En terraplenes formados con este material, se deberá construir capa de transición de 0.20 m de espesor, cuando la altura de estos sea menor de 0.80 m y cuando sea mayor, la transición será de 0.50 m; y en ambos casos se proyectará capa subrasante de 0.30 m de espesor.

H.- En terraplenes contruidos en este material, se deberá proyectar capa de transición de 0.20 m de espesor como mínimo y capa subrasante de 0.30 m compactadas al 95 y 100% respectivamente, las cuales se construirán con material de préstamo del banco más cercano.

I.- En cortes formados en este material, la cama de corte, se deberá compactar al 95% de su PVSM, en una profundidad mínima de 0.20 m y se deberá proyectar capa subrasante de 0.30 m de espesor, compactándola al 100% con material procedente del banco más cercano.

J.- En este tramo se deberá proyectar en cortes y terraplenes bajos, capa de transición de 0.50 m de espesor como mínimo y capa subrasante de 0.30 m; en caso de ser necesario se deberán abrir cajas de profundidad suficiente para alojar las capas citadas; ambas capas se proyectarán con préstamo del banco más cercano.

K.- En cortes, se deberá escarificar los 0.15 m superiores y acamellonar; la superficie descubierta, se deberá compactar al 100% de PVSM en un espesor mínimo de 0.15 m con lo que quedará formada la 1ra capa subrasante, con el material acamellonado se construirá la 2da capa subrasante, misma que deberá compactarse también al 100% de su PVSM.

L.- En cortes formados en este material, se proyectará únicamente capa subrasante de 0.30 m con espesor mínimo, compactándola al 100% y se construirá con material de préstamo del banco más cercano.

M.- En cortes formados con este material, se escarificarán los primeros 0.30 m, a partir del nivel superior de subrasante, se acamellonará el material producto del escarificado y se compactará la superficie descubierta al 95%, hasta una profundidad de 0.20 m. Posteriormente, con el material acamellonado se formará la capa subrasante de 0.30 m de espesor.

OBSERVACIONES GENERALES PARA TODO EL TRAMO

1. Los trabajos se iniciaran con el desmonte, desenraíce y limpieza general del área en donde quedará alojado el cuerpo del camino, de acuerdo a lo indicado en el proyecto.
2. El despalme se hará hasta la profundidad indicada en las tablas de datos y de la manera conveniente para eliminar el material correspondiente al primer estrato.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



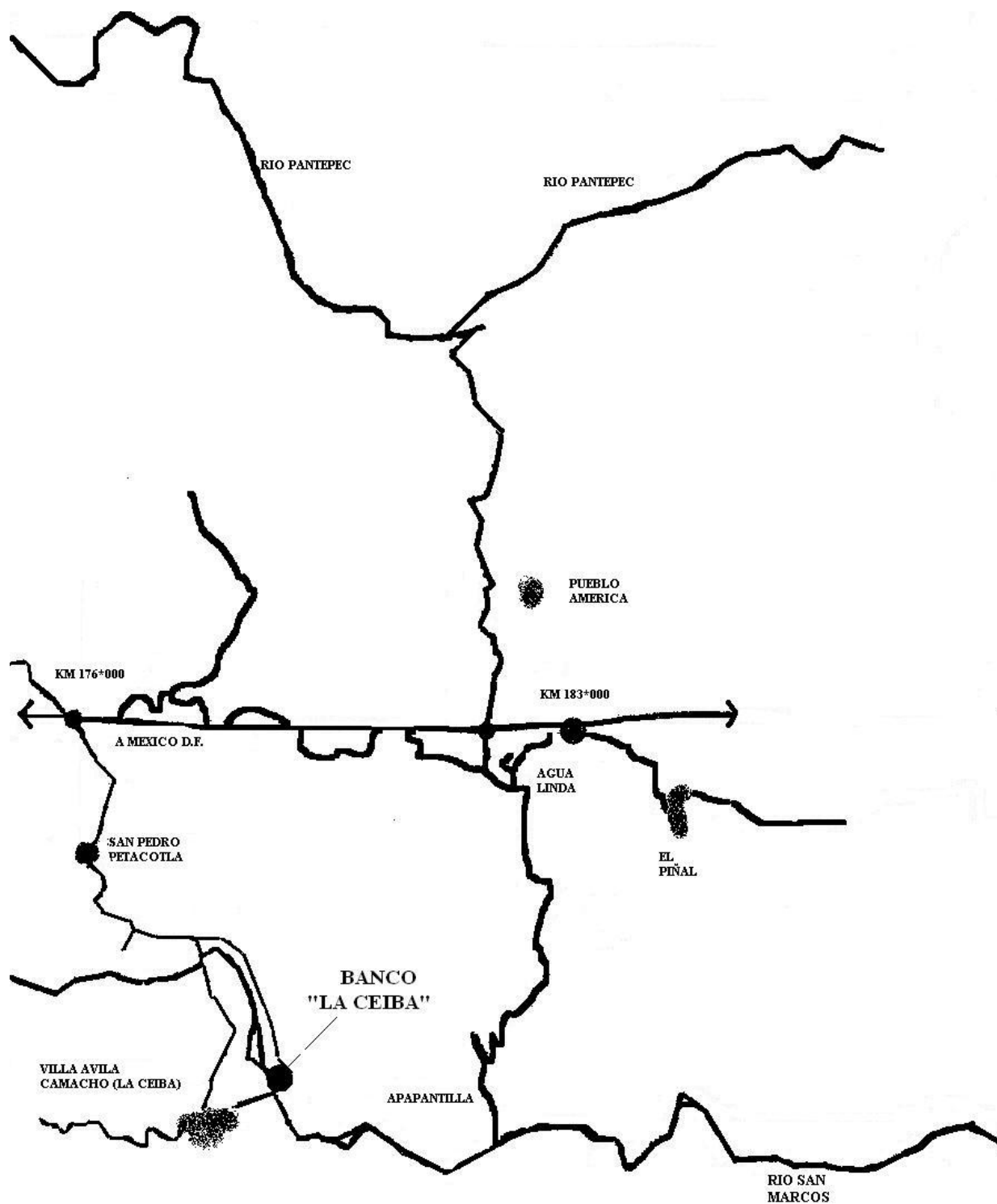
3. Los terraplenes desplantados en un terreno con pendiente natural igual ó mayor al 25 %, se anclarán al terreno natural mediante escalones de liga a partir de los ceros del mismo; cada escalón tendrá un ancho mínimo de huella de 2.50 m, en material tipo "A" ó "B" y en material "C" el escalón tendrá un metro de huella; en ambos casos la separación de dichos escalones será de 2.00 medidos horizontalmente, a partir de los ceros de los mismos.
4. En los taludes de los cortes, no se dejarán fragmentos rocosos ó porciones considerables de material susceptibles de desplazarse hacia el camino.
5. Con el material producto de despalme, se deberán arropar los taludes de los terraplenes.
6. La construcción de obras de drenaje se hará antes de iniciar la construcción de terracerías; concluidas tales obras, deberán arroparse adecuadamente para evitar cualquier daño a la estructura de las mismas durante la construcción.
7. Se debe de propiciar la forestación de los taludes de los cortes y terraplenes, con vegetación para evitar la erosión de los mismos.
8. En todo el tramo las cunetas deberán impermeabilizarse con concreto hidráulico $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$, con un espesor de 8 cm aproximadamente.
9. Debe evitarse que la boquilla de aguas debajo de las alcantarillas, descargue sus aguas sobre el talud del terraplén construido; en estos casos la obra de drenaje se prolongará con lavadero hasta los ceros del terraplén.
10. Cualquier ampliación de corte por requerimiento de material, debe hacerse a partir de talud externo de la cuneta, ó bien formando una banquetta, la cual quedará debidamente drenada y de preferencia aguas abajo.
11. Los taludes de proyecto que deberán considerarse para terraplén son los siguientes:

<u>ALTURAS</u>	<u>INCLINACION</u>
Entre 0.00 y 0.80 m	3:1
Entre 0.81 y 2.00 m	2:1
Mayores de 2.01 m	1.5:1

12. El material que forma la capa subrasante, no deberá contener partículas mayores de 75 mm (3"). Cuando éstas existan deberán eliminarse mediante papeo.
13. Al material grueso no compactable, se le dará un tratamiento de bandeado para aumentar su acomodo; este material solo servirá para formar el cuerpo del terraplén, construyéndose por capas sensiblemente horizontales, con espesor aproximadamente igual a la de los fragmentos, y se dará como mínimo tres pasadas a cada punto de su superficie con tractor D-8 ó similar.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



S.C.T														
DIRECCION GENERAL DE PROYECTOS, SERVICIOS TECNICOS Y CONCECIONES UNIDAD REGIONAL XALAPA														
AUTORISTA : MEXICO - TUXPAN														
TRAMO : XICOTEPEC - ENTRONQUE TIHUATLAN														
SUBTRAMO : KM 183+000 KM 190+000														
ORIGEN : ENTRONQUE ECATEPEC MEX.														
INFORME DE ESTUDIOS GEOTECNICOS														
KM A KM	ESTRATO		CLASIFICACION N	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTE DE VARIACION VOLUMETRICA				PRESUBIESTO N	CORTE		TERRAPLEN		OBSERVACION ES
	NO.	ESPESOR			90%	95%	100%	BANDEADO		ALTURA MAX.	TALUD	ALTURA MAX.	TALUD	
185+880	1	0.5	SUELO VEGETAL	DESPALME					100 - 00 - 00					
	2	INDEF.	ARCILLA, PALSTICA, DE	COMPACTADO	0.91	0.86	0.81		70 - 30 - 00		1.1			A.B.D.J
			CONSISTENCIA BLANDA											
			A MEDIA HUMEDA.											
			CON 40% CAFÉ ROJIZO;											
			APROX. DE FRAGMENT-											
			OS CHICOS (CH)											
186+280	1	0.5	SUELO VEGETAL	DESPALME					100 - 00 - 00					
	2	INDEF.	ARCILLA, PLASTICA DE	COMPACTADO	0.98	0.93	0.88		50 - 50 - 00		1.1			A.B.D.J
			CONSISTENCIA MEDIA											
			A FIRME, HUMEDA.											
			CAFÉ ROJIZO. (CH)											
188+640	1	0.5	SUELO VEGETAL	DESPALME					100 - 00 - 00					
	2	0.8	ARCILLA, PLASTICA DE	COMPACTADO	0.87	0.82	0.78		80 - 20 - 00		1.1			A.B.D.J
			CONSISTENCIA BLANDA											
			HUMEDA, CAFÉ CON											
			UN 40% APROX. DE											
			GRUPOS, COLOR GRIS											
			OSCUROS (CH)											
	3	INDEF.	ARCILLA, PLASTICA DE	COMPACTADO	0.87	0.82	0.78		80 - 20 - 00		1.1			A.B.D.J
			CONSISTENCIA BLANDA											
			HUMEDA, CAFÉ Y GRIS											
			CLARO (CH)											

[illegible]



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



RELACION DE BANCOS DE MATERIALES PARA UTILIZARSE EN LA CONSTRUCCION							
AUTOPISTA	MEXICO-TUXPAN						
TRAMO	XICOTEPEC -ENTRONQUE TIHUATLAN						
SUBTRAMO	KM 176+000 - KM 225+872.50						
ORIGEN	ENTRONQUE ECATEPEC, MEX						
NUM	DENOMINACION	UBICACIÓN	MATERIAL	USO PROPUESTO	TRATAMIENTO	VOLUMEN	DESPALME
1	"La Ceiba"	Km 175+675 D/D 9000 m	Grava-arena de río con boleos chicos	Subrasante SY Subbase Base Hidráulica Concreto asfáltico Concreto hidráulico	Trituración parcial y cribado Compactado 1.03; 0.98; 0.93 40-60-00	100 000 m3	-

SONDEO PCA - KM 176+000

PROF (M)	PERFIL	CONTENIDO DE AGUA (W)					DESCRIPCION	
		☀ LIMITE LIQUIDO (LL)						
		∅ LIMITE PLASTICO (LP)						
		20	40	60	80			
						SUELO VEGETAL		
0.50								
1.00			∅	☀			ARCILLA PLASTICA DE CONSISTENCIA MEDIA, HUMEDA CAFÉ ROJIZO (CH)	
1.50					G = 0 %	S = 29.8 %		F = 70.2 %
						LL = 52%	IP = 32%	LP = 84%
2.00								
2.50								

PROF DEL SONDEO: 2.00 M

SIMBOLOGIA

	SUELO VEGETAL	G = % DE GRAVA
	ARCILLA	S = % DE ARENA
	LIMO	F = % DE FINOS
	ARENA	
	GRAVA	



5.0 DRENAJE

El drenaje tiene por objeto, en primer lugar, reducir lo más que sea posible la cantidad de agua que llega a las diferentes partes de un camino, y en segundo lugar, dar salida al agua cuyo acceso al camino sea inevitable. Por lo tanto se define como drenaje al "conjunto de obras que sirven para captar, conducir y alejar del camino al agua que puede causarle problemas". (1)

Ahora bien, el agua llega a la carretera por: a) precipitación directa, b) escurrimientos del agua del terreno adyacente, c) crecientes de ríos o arroyos, d) infiltración a través del subsuelo del camino.

Para que un camino tenga buen drenaje debe evitarse: A) que el agua circule en cantidades excesivas por el mismo destruyendo el pavimento y originando la formación de charcos o baches; B) que el agua de las cunetas laterales remoje y reblandezca los terraplenes originando asentamientos con el consiguiente perjuicio de revestimientos y pavimentos; C) que los cortes de materiales falsos se saturen de agua con peligro de derrumbes de tierra, deslizamientos de los cortes, y deslizamientos del camino mismo; D) que el agua de arroyos y hondadas sea remansada por los terraplenes con el peligro de deslavarlos; E) que el agua subterránea reblandezca la subrasante, formando también charcos o baches.

Es absolutamente esencial un drenaje conveniente y económico para proteger la inversión hecha en la estructura de las carreteras y la vida de las personas que las usen. Un drenaje adecuado de la caja y del firme de los caminos es factor esencial para la eficaz conservación del sistema moderno de carreteras.

Debido a que son muy diferentes los procedimientos empleados para captar, conducir y eliminar el agua de la superficie y del subsuelo del camino, se dividirá el estudio de drenaje en dos partes: "Drenaje Superficial" y "Drenaje Subterráneo".

5.1 DRENAJE SUPERFICIAL

En el Drenaje superficial se estudiarán: en primer término, la manera de reducir al mínimo el agua que afluye, lo cual se realiza mediante la **captación** de las aguas que pueden llegar al camino ó a sus inmediaciones y la **defensa** de las distintas partes del camino contra la acción de corrientes de agua o almacenadas que puedan llegar a afectarlo. En segundo término, la manera de dar salida al agua que inevitablemente entra, lo cual se realiza mediante el **cruce** con el camino de aquellas porciones del agua superficial que no se pueden alejar en otra forma.

El drenaje superficial se clasifica, según la posición que las obras guardan con respecto al eje del camino, en paralelo (longitudinal) y transversal.

(1) "Manual de drenaje de caminos" 1952
Diseño hidráulico y geotécnico de obras de drenaje menor y complementario, 2002



5.2 DRENAJE LONGITUDINAL

Es aquel que tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar lleguen al camino ó permanezcan en él, de tal manera que no le causen desperfectos, para ello se deberán de construir las obras de captación y defensa.

5.3 OBRAS DE CAPTACIÓN Y DEFENSA.

En estas obras comprenden las que están situadas más o menos en forma paralela al eje del camino, como son: las cunetas, contracunetas, canales auxiliares, cunetas entubadas, vertedores, bordos, lavaderos, etc.

➤ CUNETAS

Las cunetas son zanjas que se hacen a ambos lados del camino en cortes y tienen como función interceptar el agua que escurre de la corona, del talud del corte y del terreno natural adyacente.

(Fig. 5.1)



Fig. 5.1

I. LOCALIZACIÓN.

Deberán colocarse al borde del acotamiento del camino pudiendo recibir 1) El agua que escurre del centro del camino hacia los lados, 2) En los cortes o tajos, el agua se escurre por los taludes, y 3) El agua que escurre en dirección al camino en pequeñas áreas adyacentes al mismo.

II. ÁREA HIDRÁULICA NECESARIA.

El área por drenar de las cunetas, generalmente se proyectan para que den capacidad a fuertes lluvias de 10 a 20 minutos de duración. Se considera proyectar las cunetas para que tomen del 70 al 80% de la precipitación pluvial de la mitad del ancho total del derecho de vía, sin embargo en algunos casos puede llegarse al 100%. Las características de la cuneta como son, la pendiente, las dimensiones, los taludes



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



y otras, dependen del flujo de agua que conduzcan; dicho flujo se puede determinar con la fórmula para canales abiertos, con flujo uniforme (Manning):

$$V = \frac{1}{n} S^{1/2} R^{2/3}$$

Donde:

V = Velocidad promedio m/s
n = coeficiente de rugosidad, adimensional (tabla 1)
R = radio hidráulico, en m
S = Pendiente

Además:

$$Q = VA = \frac{A}{n} S^{1/2} R^{2/3}$$

Donde:

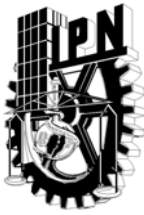
Q = gasto en m³/s
A = Área de la sección transversal del flujo en m²

TABLA 5.1 VALORES REPRESENTATIVOS DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD, n, PARA VARIOS REVESTIMIENTOS DE CANALES

Tipo de revestimiento	Valor de <i>n</i>
Tierra ordinaria, nivelada y alisada	0.02
Roca partida o piedra tosca	0.04
Concreto áspero	0.02
Revestimiento bituminoso, tendiente a ondularse	0.02
Piedra lisa	0.02
Pasto bien mantenido-profundidad de flujo mayor a 15.24 cm	0.04
Pasto bien mantenido-profundidad de flujo menor a 15.24 cm	0.06
Pasto pesado	0.10

III. SECCIÓN, PENDIENTE Y ELEVACIÓN DEL FONDO.

La tendencia es hacer cunetas tan pequeñas y poco profundas como sea posible, tanto para mayor seguridad como para mayor economía en la construcción y conservación. La practica actual en nuestro país es hacer cunetas en forma de V, suponiendo un tirante de agua de 30 cm y teniendo un talud 1:3 por el lado del camino y por el lado de afuera el talud natural. En esa forma el fondo de a cuneta queda a unos 40 ó 45 cm debajo de la subrasante y lleva la misma pendiente del camino.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

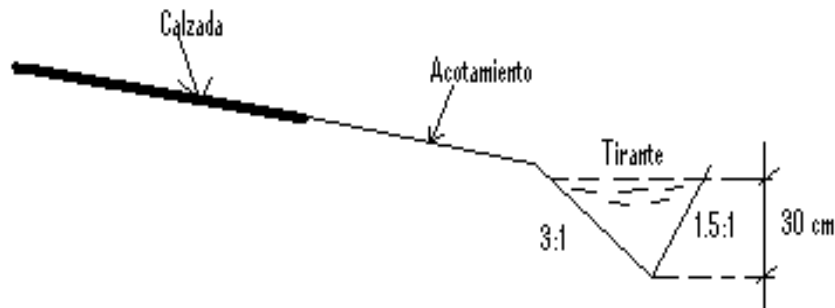


Fig. 5.2 Cuneta tipo.

El desnivel mínimo bajo la corona del camino en cualquier caso será de cerca de 30 cm. y el máximo de no más de 90 cm. a fin de que no quede demasiado profunda y por tanto peligrosa.

IV. LONGITUD DE LA ESTRUCTURA.

Una cuneta de las dimensiones indicadas, pueden servir satisfactoriamente en longitudes hasta de 600 ó 700 m., en terreno plano y de 300 ó 400 m. en terrenos de cierta pendiente. Estas longitudes se contarán desde una cresta hasta un desfogue, o bien desde una alcantarilla de alivio a otra.

V. PROYECTO CONSTRUCTIVO.

Para que se conserven con facilidad las secciones dadas a las cunetas, es necesario que la velocidad no pase de ciertos valores, y para ello se consignan las siguientes tablas:

TABLA 5.2: GASTOS Y VELOCIDADES EN LAS CUNETAS TIPO PARA TIRANTES DE AGUA DE 30 CM CON DIFERENTES PENDIENTES.

Pendiente de la cuneta en %	Velocidad m/seg.	Gasto en m ³ /seg.
1	0.60	0.110
2	0.90	0.117
3	1.10	0.200
4	1.30	0.240
5	1.50	0.270
6	1.60	0.300
7	1.70	0.320
8	1.80	0.340
9	2.00	0.370
10	2.10	0.400



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



TABLA 5.3: VELOCIDADES DEL AGUA CON QUE SE EROSIONAN DIFERENTES MATERIALES.

Material	Velocidad en m/seg.
Arena fina	0.45
Arcilla arenosa	0.50
Arcilla ordinaria	0.85
Arcilla firme	1.25
Grava fina	2.00
Pizarra suave	2.00
Tepetate	2.00
Grava gruesa	3.5
Zampeado	3.4 a 4.5
Concreto	4.5 a 7.5

Con la ayuda de estas tablas se puede saber, para distintas pendientes de las cunetas, cuando es necesario protegerlas contra la erosión. Ordinariamente no se necesita zampear cuando la velocidad no pasa de 1.20 m/seg. Cuando hay peligro de que la velocidad crezca demasiado se pueden poner muros interceptores a intervalos adecuados, pero este procedimiento suele ser más costoso, por eso se recomienda recubrir la cuneta con concreto o zampeados, o bien entubar el agua en los tramos especialmente difíciles.

A continuación se mencionaran algunos valores tomados de la práctica. Cuando el tirante de agua es de 10 15 cm. no es necesario zampear en cunetas de menos de 7% de pendiente. Cuando el tirante de agua es mayor, es necesario zampear para pendientes de más de 3%, si el suelo es arena o arcilla, y para pendientes de más de 5%, si el suelo es grava firme.

➤ **CONTRACUNETAS Y CANALES AUXILIARES**

Son zanjas que se construyen aguas arriba de los cerros de los cortes y tienen como finalidad interceptar el agua que escurre por las laderas y conducirla hacia alguna cañada inmediata o parte baja del terreno (thalweg) , evitando que al escurrir por los taludes las erosione y que se aumente el caudal de las cunetas.

I. LOCALIZACIÓN.

Para su localización y proyecto, se deberán tomar en cuenta; la formación geológica, la topografía y la cobertura vegetal del terreno.

Las contracunetas se usan en terrenos montañosos o de lomerío y se colocan, transversalmente a las crestas, en la parte superior de los taludes de los cortes, debiendo hacerlas mas o menos perpendiculares a la pendiente del terreno para que efectivamente intercepten el agua que escurra, evitando que se erosionen y se aumente el caudal en las cunetas.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



II. ÁREA HIDRÁULICA NECESARIA.

Esta se determina conociendo el área por drenar, la precipitación pluvial, etc.

III. FORMA, PENDIENTE Y ELEVACIÓN DEL FONDO.

La sección de las contracunetas, generalmente es de forma trapezoidal y a fin de asegurar un buen funcionamiento se ha establecido que las dimensiones sean de 0.80 m. en la plantilla y 0.50 m. de profundidad, taludes 1:1 en material suficientemente compacto. Su pendiente debe ser uniforme desde el punto de partida hasta su desfogue, para evitar los trastornos que se producen en los cambios de pendiente, como son excavaciones y azolves.

IV. LONGITUD DE LA ESTRUCTURA.

La distancia de la contracuneta (en toda su longitud) al borde del corte, será como mínimo de 5 m. ó una distancia igual a la altura de corte, si esta es mayor. La longitud deberá ser la necesaria para llevar a la zanja interceptora desde el parte-aguas hasta desembocar en el talweg u hondonada adyacente.

V. DESFOGUE.

En cuanto al desfogue, cuando a pesar de contarse con la pendiente máxima compatible con el tipo de terreno, al llegar a la cañada u hondonada (thalweg), se tenga un desnivel importante, se hará una rápida caída, protegiendo al terreno natural, cuando sea necesario, con zampeado o revistiéndolo con concreto.

➤ CANALES DE ENCAUZAMIENTO

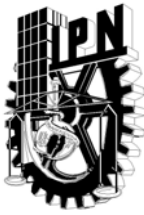
En terrenos sensiblemente planos, en donde el escurrimiento es del tipo torrencial y no existen cauces definidos, tal como sucede en algunas regiones del país, es necesario construir canales que intercepten el agua antes que llegue al camino y la conduzcan a sitios elegidos con anticipación para construir una obra y efectuar el cruzamiento.

➤ BORDILLOS, GUARNICIONES Y DIQUES.

Los bordillos son elementos que se construyen en los acotamientos, junto a los hombros de los terraplenes, para evitar que el agua erosione el talud del terraplén, se construyen a lo largo del camino, en ambos lados, en tramos rectos y se interrumpen en curvas

Las Guarniciones son elementos parcialmente confinados por suelo natural, se emplean principalmente para limitar camellones, isletas y delinear las orillas de la calzada.

Los Diques son terraplenes de tierra empleados para contener o dividir el flujo de las corrientes. Cuando toda la construcción debe estar por encima del nivel de la tierra existente, se utilizan diques solos. Frecuentemente, la combinación de dique y canal representa la solución más económica ya que el dique



puede hacerse del desperdicio del canal. La práctica moderna exige que la construcción se haga en capas apretadas tal como para los terraplenes de los caminos.

5.4 DRENAJE TRANSVERSAL

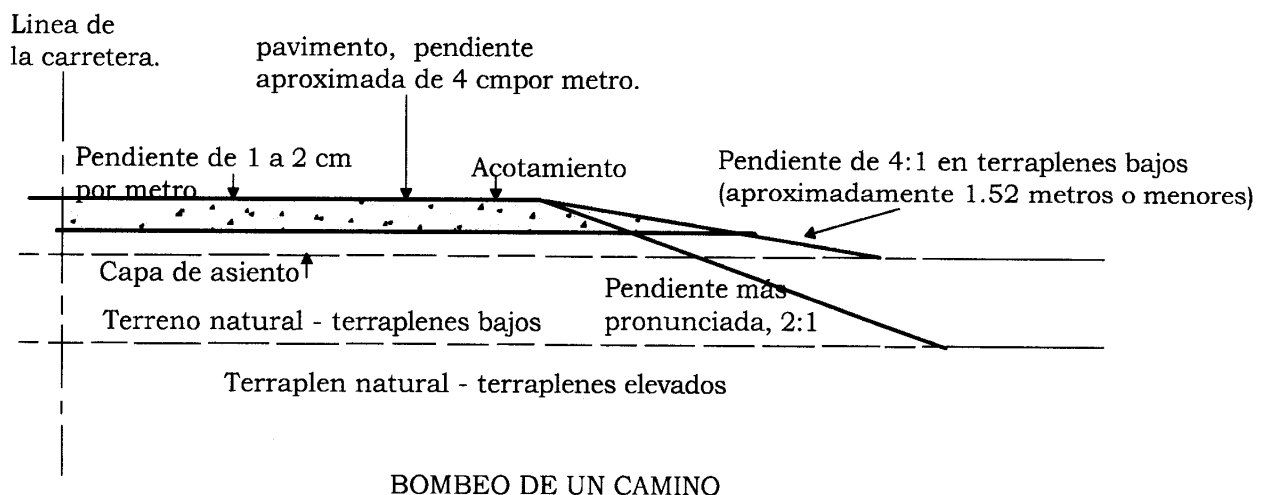
Consiste en obras que permiten el paso de los causes naturales, y/o desalojo del excedente de precipitaciones, cuyo eje de desarrollo es perpendicular al camino.

5.5 OBRAS DE CRUCE

➤ BOMBEO

Es la pendiente que se le da a la corona del camino, en las tangentes del trazo horizontal, una pendiente transversal del centro del camino hacia los hombros y su función es dar salida expedita del agua que cae sobre la corona hacia los lados del mismo y evitar en lo posible que penetre en las terracerías. (Fig. 5.3)

En los caminos rurales, cuya corona está revestida, el bombeo debe ser de 4% como máximo; pero con el fin de evitar erosión en los terraplenes en el balcón y en la superficie de rodamiento, cuando la pendiente longitudinal sea fuerte, se podrá proporcionar a la corona una pendiente transversal continua, hacia el lado de corte, hasta el 5% con objeto de desalojar con rapidez el agua hacia la cuneta; la sobre elevación máxima será del 10%.



BOMBEO DE UN CAMINO

Fig. 5.3



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Tabla 5.4 límites deseables de pendiente transversal para diferentes tipos de rodamiento.

CLASE DE SUPERFICIE	PENDIENTE RECOMENDABLE	TRANSVERSAL	BOMBEO RECOMENDABLE TOTAL
	Mínima	Máxima	Para camino de 6 m. de ancho
Tierra	1:50	1:12	7.5 cm.
Grava o macadán	1:100	3:50	5.0 cm.
Pavimentos bituminosos o concreto	1:200	3:100	2.5 cm.

Para caminos de 6 m. de ancho se puede dar una sección parabólica. Para caminos más anchos, se recomienda dar en los 10 m. centrales una sección parabólica (con los bombeos de la tabla), y en el resto del ancho del camino, tangentes a la parábola central, de pendiente adecuada; por supuesto que si estas secciones laterales no son exactamente tangentes, no importa que haya un ligero quiebre, siempre que ello no eche a perder el aspecto del camino.

➤ LAVADEROS Y VERTEDEROS

Son obras de desfogue que se construyen para desalojar el agua, y así evitar la erosión en terraplenes. En curvas horizontales se localizan en la parte central mientras que en las curvas verticales en las partes bajas. En los cortes se ubican donde se interrumpió el escurrimiento natural, descargándolo a una caja amortiguadora, al pie del lavadero. Generalmente son obras de complemento de: bordillos, guarniciones y cunetas.

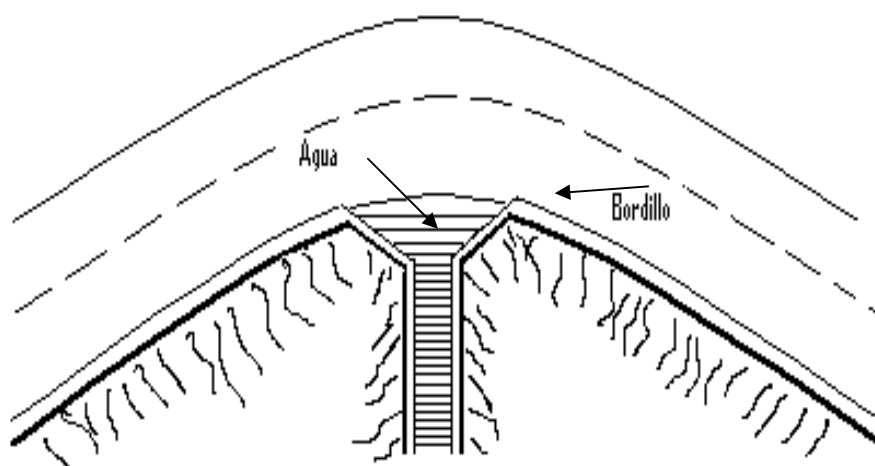
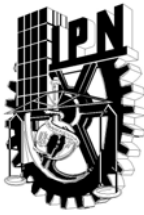


Fig. 5.4: Boca de lavadero en curva horizontal.

Normalmente los lavaderos son de material de mampostería, concreto hidráulico o metálicos. Cuando se construyen en terrenos inclinados es necesario anclarlos con dentellones para evitar que resbalen.



➤ VADOS

Los vados son estructuras superficiales del camino diseñadas para que el agua pueda cruzar sobre la corona de la vía, circulando sobre ella en forma laminar, no dañándola y permitiendo la circulación de los vehículos en todo tiempo. Se construyen en hondadas, de tal manera que el agua llega a escurrir en raras ocasiones por lo que no amerita la construcción de alcantarillas.

El material del que están contruidos los vados puede ser de mampostería, concreto hidráulico o concreto asfáltico.

- La superficie de rodamiento no se debe erosionar al paso del agua.
- Debe evitarse la erosión y socavación de aguas arriba y aguas abajo.
- Facilitar el escurrimiento para evitar regímenes turbulentos.
- Tener señales visibles que indiquen el vado, además del tirante de agua para que los conductores decidan a su juicio si pueden pasar o no

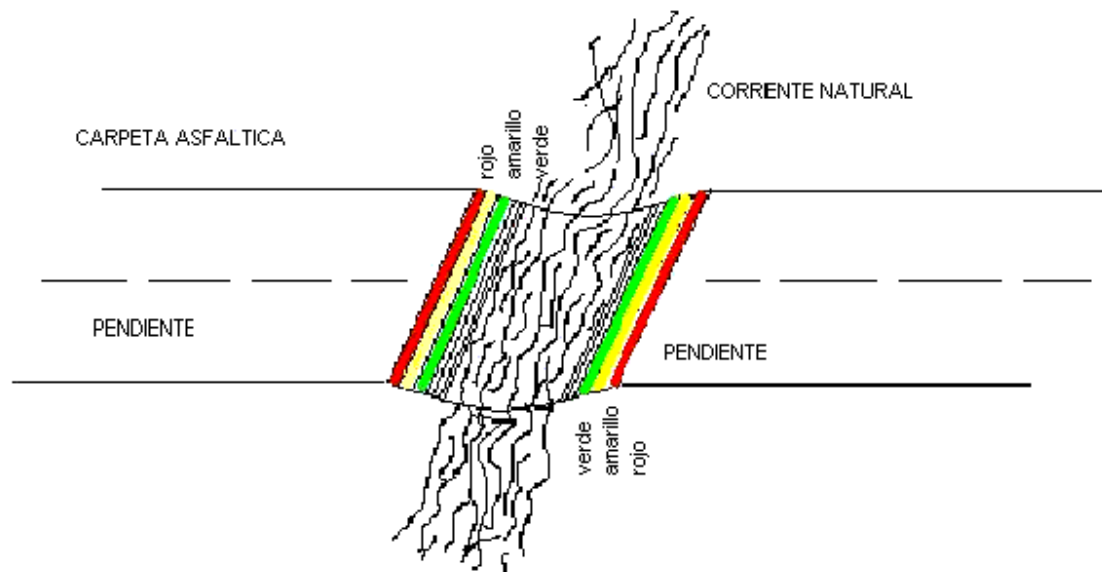


Fig. 5.5 Vado.

1. PROYECTO HIDRÁULICO

Por lo que se refiere al diseño hidráulico, el vado tendrá una longitud limitada por el nivel de aguas máximas excepcionales, ya que no debe haber obstáculos al curso del agua y de sus arrastres, que provoquen aumento en el ancho de la corriente.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



2. PROYECTO ESTRUCTURAL

Se tendrá en cuenta que el vado forma parte de la superficie de rodamiento de la carretera, sujeta a la acción de la carga viva y de la corriente de agua con cuerpos flotantes y en suspensión. Para soportar éstas acciones, es suficiente diseñar el vado con una sección de mampostería de tercera, juntada con mortero de cemento, de espesor mínimo de 0.30 m. También en lugar de mampostería, puede usarse concreto hidráulico sin armar, de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, en placas de 0.15x1.75x2.50 m. en acabado rugoso. Cualquiera que sea el material que forme la superficie de rodamiento, éste descansará en una subase, de suelo natural o de relleno compactado relleno compactado con un espesor mínimo de 30 cm. Se protegerá la capa de superficie de rodamiento contra la socavación, mediante dentellones, aguas arriba y abajo, del mismo material con que se construya la capa de rodamiento. La profundidad de los dentellones será de 0.50 m. de mayor que la profundidad máxima de socavación observada o estimada en el terreno natural.

➤ CAJONES DE ENTRADA, DESARENADORES, ETC.

Las alcantarillas de alivio deben tener algún dispositivo adecuado para dirigir el agua hacia ellas: ese dispositivo puede ser un simple muro transversal, un cajón de entrada, un desarenador ó un pozo de visita.

El **muro transversal** es, un muro que atraviesa en la cuneta aguas bajo de la entrada de la alcantarilla, para contener el agua y encauzarla a ella.

El **cajón de entrada** ó caída de entrada es, un cajón de mampostería o concreto simple en donde cae el agua que corre por la cuneta y después de caer entra a la alcantarilla.

El **desarenador** es un cajón de entrada que tiene un primer depósito destinado a retener los arrastres que lleve la cuneta, y el *pozo de visita* es un desarenador bastante grande y profundo, que está tapado con una reja móvil por el cual entran operarios a inspeccionar y limpiar tanto el pozo como la alcantarilla (por lo regular se usa en zonas sub-urbanas).

La aplicación más frecuente de las estructuras mencionadas, es en las laderas de lomas en donde el agua que se reúne en la cuneta o badén de la parte superior se puede eliminar del camino a intervalos por medio de una alcantarilla de alivio.

➤ ALCANTARILLAS

Una alcantarilla es aquella que sirve para dar paso de cruce al agua de lluvia o de pequeños arroyos por debajo de la carretera u otra vía de comunicación. Son estructuras de forma diversa que tienen la función de conducir y desalojar lo más rápidamente posible el agua de las hondonadas y partes bajas del terreno (thalwegs) que atraviesan el camino.

Las alcantarillas a diferencian de los puentes tienen una longitud no mayor de 6 m., pero además de ello se puede señalar otra mucho más precisa y es que las alcantarillas llevan un colchón de tierra y los puentes no.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Una alcantarilla consiste en dos partes, el cañón y los muros de cabeza. El cañón forma el canal de la alcantarilla, y es la parte esencial de la estructura. Los muros de cabeza sirven para impedir la erosión alrededor del barril, para guiar la corriente y para evitar que el terraplén invada el canal.

Según la forma del cañón, las alcantarillas se pueden dividir en: alcantarillas de tubo, alcantarillas de cajón y alcantarillas de bóveda, además también se pueden clasificar de acuerdo al material de que están echas, de esto se hablará más adelante.

I. LOCALIZACIÓN DE LAS ALCANTARILLAS.

Las alcantarillas se localizan en tres sitios en general; en el fondo de depresiones donde no existen cursos de agua naturales, donde las corrientes de agua cortan las carreteras; y en los lugares en que se requiere que pase el agua del drenaje superficial conducido por cunetas debajo de los caminos y carreteras hasta las propiedades adyacentes.

Al localizar una alcantarilla, ya sea ella para el cruce de arroyos, de corrientes intermitentes canales de riego, etc., siempre que sea posible debe procurarse lo siguiente:

- 1) No forzar los cruces para hacerlos normales cuando la localización razonable y natural es esviada, porque la economía obtenida en cruces normales casi nunca compensa los gastos de conservación originados por la erosión del agua al sufrir estas fuertes desviaciones.
- 2) No debe tratarse de reducir el número de alcantarillas concentrando en una sola el agua de una larga cuneta, sino es mejor poner todas las alcantarillas que sea necesario para evitar complicaciones en el drenaje de conjunto. Por la misma razón no debe concentrarse el agua de varios talwegs en uno solo.

"A". Dirección del cruce.

a).- Cruces normales.

Cuando el esviajamiento de una corriente sea menor de 5° es muy fácil hacer la estructura perpendicular al camino, por lo cual en estos casos es preferible suprimir el esviajamiento. Las alcantarillas según su cruce se clasifican en: cruces normales, cuando los ejes de la corriente y el camino forman un ángulo de 90°

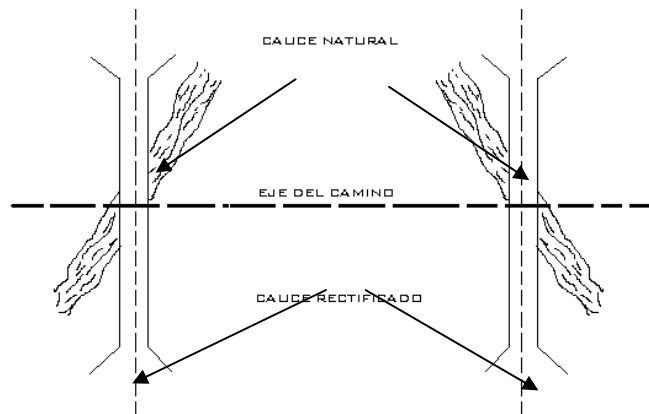


Fig. 5.6 Cruce normal.

b).- Cruces esviados.

Es un cruce esviado cuando el eje de la corriente y el camino forman un ángulo diferente de 90° . En este caso es preferible alinear la alcantarilla con el fondo del arroyo o talweg, aún a expensas de hacer una alcantarilla más larga y costosa que la normal, pues ésta en cambio requeriría canalizar el cauce con codos mas o menos forzados, los cuales pocas resisten el embate del agua en los aguaceros fuertes, produciendo deslaves y depósitos en los lugares de máxima y mínima velocidad, respectivamente.

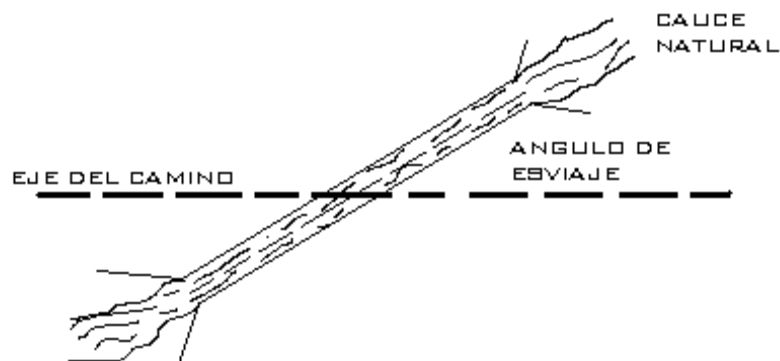


Fig. 5.7: Cruce esviado

c).- Cruces radiales.

Se llaman cruces radiales, cuando el eje del camino se localiza en una curva circular con respecto al cauce natural, es decir tiene la dirección de un radio.

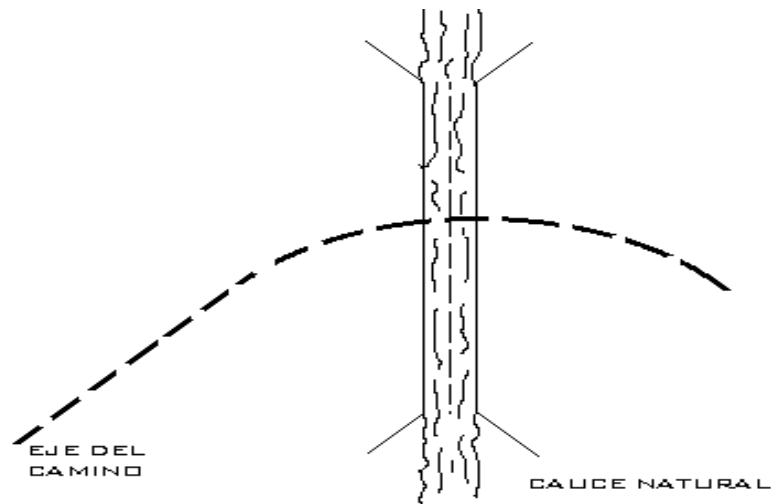
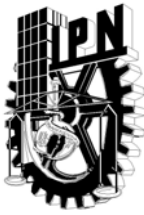


Fig. 5.8: Cruce radial

"B". Obstáculo salvado.

a).- Arroyos.

La localización de la alcantarilla en estos casos debe seguir el curso del arroyo, pues hay que tomar como regla general en trazo de alcantarillas el principio de que es muy difícil cambiar el curso de las corrientes.

b).- Cañadas profundas.

Cuando un camino cruza una cañada profunda, casi siempre resultan muy costosas las alcantarillas, porque el trazo de ellas debe indudablemente seguir el fondo de la cañada, y por tal motivo requiere un largo desarrollo de la estructura, a menos de hacerla sumamente alta y con aleros muy prolongados.

c).- Talwegs y hondonadas.

En estos lugares se recomienda muy especialmente que la localización se haga en el fondo del canal, pues se han visto casos en que el agua corta el camino a un lado de la alcantarilla, ya que ésta se encuentra mal localizada.

d).- Alcantarillas de alivio de las cunetas.

Cuando una cuneta es sumamente larga, debido a que el camino vaya bordeando una loma o ladera muy prolongada, es muy conveniente aliviar a la cuneta cada 100 m. ó 150 m. mediante una alcantarilla que permita la salida de toda el agua que esté arriba de ella (Fig. 5.9). En esta forma se logra que el caudal de la cuneta no pase de cierto límite, reduciendo por lo tanto el peligro de deslaves o erosiones.

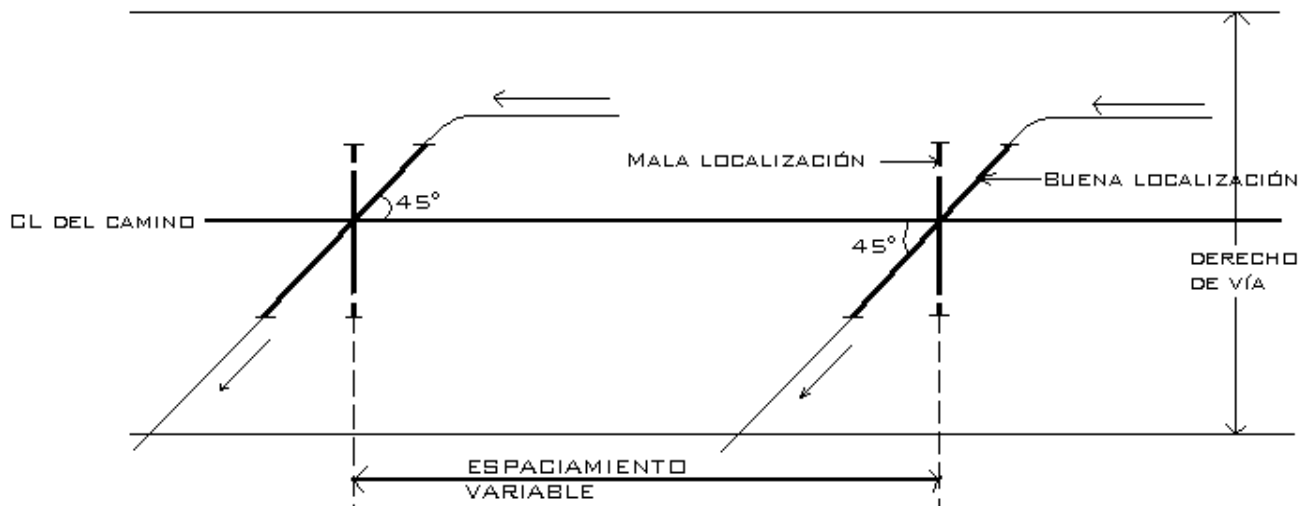
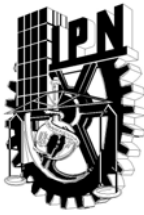


Fig. 5.9: Alcantarilla de alivio

I. AREA HIDRÁULICA NECESARIA

El problema es semejante al de los puentes, aunque en menor escala; esto es, se trata de permitir el paso del máximo caudal de agua que haya en cada caso, haciéndolo en forma tal que no cause trastornos al camino ni a la estructura misma, ni que requiera excesivos cuidados de conservación. Se mencionaran los procedimientos para proyectar adecuadamente una alcantarilla, y son los que a continuación se enumeran:

1).- Procedimiento por comparación

Se aplica cuando se trata de construir una nueva alcantarilla en un lugar donde ya había otra; en este caso sirven de base las huellas visibles o los informes de gente del lugar, relativos al nivel más alto alcanzado por el agua durante un periodo de tiempo razonable (a no menos de 10 años) en la alcantarilla existente. Este procedimiento es el que da la máxima seguridad (en lo que cabe) pues no deja duda de cual es el área y sección que debe tener para dar paso franco al agua y a los materiales que lleve suspensión, o de arrastre lográndose en tal forma que no haya azolves ni erosiones peligrosas.

2).- Procedimiento empírico

Es el único aplicable si no existe ninguna estructura, y especialmente cuando no hay datos respecto del gasto máximo del arroyo, ni de la precipitación pluvial. Este método consiste en aplicar ciertas fórmulas empíricas para calcular el área hidráulica de una alcantarilla en función del área drenada y de las características topográficas de la cuenca por drenar.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



La fórmula de Talbot es:

$$a = 0.183 * C * \sqrt[4]{A^3}$$

a = área hidráulica que deberá tener la alcantarilla (en m²)

A = superficie por drenar (en hectáreas).

C = coeficiente de escurrimiento que depende de la topografía del terreno

Valores del coeficiente "C" de la fórmula de Talbot

C	TIPO DE TERRENO
1.00	Montañoso y escarpado
0.80	Lomerío fuerte.
0.60	Lomerío suave.
0.50	Muy ondulado.
0.40	Ondulado.
0.30	Casi plano.
0.20	Plano.

El valor de la intensidad de precipitación asociada con las observaciones que sirvieron de base para la deducción de la fórmula fue del orden de 100 mm/hr, y la velocidad del agua dentro de la obra de drenaje fue alrededor de 3 m/s. Desde el punto de vista hidrológico e hidráulico, la fórmula de Talbot proporciona solamente una idea muy tosca de la respuesta al problema, ya que supone que el área hidráulica de la alcantarilla es directamente proporcional al gasto y que éste varía con la potencia $\frac{3}{4}$ del área de la cuenca.

La fórmula de Talbot fue deducida especialmente con relación a superficies de 20,000 hectáreas, por lo que no se aconseja a usarla en áreas mucho mayores, además de que las alcantarillas drenan áreas mucho más pequeñas.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Tabla 5.5: Área hidráulica necesaria para los diferentes tipos de terrenos de acuerdo a la formula de Talbot.

Area Drenada (hectareas)	Terreno montañoso C= 1.0	Lomerío escarpado C = 0.80	Lomerío C = 0.60	Terreno ondulado C = 0.50	terreno plano C = 0.30
0.5	0.11	0.09	0.07	0.06	0.03
1	0.18	0.14	0.11	0.09	0.05
1.5	0.25	0.2	0.15	0.12	0.07
2	0.31	0.25	0.19	0.16	0.09
3	0.42	0.34	0.25	0.21	0.13
4	0.52	0.42	0.31	0.26	0.16
5	0.61	0.49	0.37	0.3	0.18
6	0.7	0.56	0.42	0.35	0.21
7	0.79	0.63	0.47	0.4	0.24
8	0.87	0.7	0.52	0.44	0.26
9	0.95	0.76	0.57	0.48	0.28
10	1.03	0.82	0.62	0.52	0.31
12	1.18	0.94	0.71	0.59	0.35
14	1.32	1.06	0.79	0.66	0.4
16	1.46	1.17	0.88	0.73	0.44
18	1.6	1.28	0.96	0.8	0.48
20	1.73	1.38	1.03	0.86	0.52
22	1.86	1.49	1.12	0.93	0.56
24	1.99	1.59	1.19	1	0.6
26	2.11	1.69	1.27	1.05	0.63
28	2.23	1.78	1.34	1.12	0.67
30	2.25	1.88	1.41	1.18	0.71
40	2.91	2.33	1.75	1.45	0.87



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Area Drenada (hectareas)	Terreno montañoso C= 1.0	Lomerío escarpado C = 0.80	Lomerío C = 0.60	Terreno ondulado C = 0.50	terreno plano C = 0.30
50	3.44	2.75	2.06	1.72	1.03
60	3.95	3.16	2.37	1.98	1.18
70	4.43	3.54	2.66	2.22	1.33
80	4.9	3.92	2.94	2.45	1.47
90	5.35	4.28	3.21	2.67	1.61
100	5.79	4.63	3.47	2.9	1.74
120	6.45	5.16	3.87	3.22	1.94
140	7.45	5.96	4.47	3.72	2.24
160	8.24	6.59	4.94	4.12	2.47
180	9	7.2	5.4	4.5	2.7
200	9.74	7.79	5.84	4.87	2.92
225	10.64	8.51	6.38	5.32	3.19
250	11.51	9.21	6.9	5.75	3.45
275	12.36	9.89	7.42	6.18	3.71
300	13.2	10.56	7.92	6.6	3.96
400	16.38	13.1	9.83	8.19	4.91
500	19.36	15.49	11.62	9.68	5.81
600	22.2	17.76	13.32	11.1	6.66
700	24.92	19.94	14.95	12.46	7.48
800	27.54	22.03	16.52	13.77	8.26
900	30.81	24.64	18.48	15.4	9.24
1000	32.56	26.04	19.54	16.28	9.77
1200	37.33	29.86	22.4	18.66	11.2
1400	41.91	33.52	25.15	20.96	12.57
1600	46.32	37.05	27.29	23.16	13.9
1800	50.6	40.48	30.36	25.3	15.18
2000	54.76	43.81	32.86	27.38	16.43
2250	56.82	45.46	34.09	28.41	17.05
2500	64.74	51.79	38.34	32.37	19.42
2750	69.53	55.62	41.72	34.76	20.86
3000	74.22	59.37	44.53	37.11	22.27
3200	77.9	62.32	46.74	38.95	23.37
3400	81.53	65.22	48.91	40.76	24.46
3600	85.1	68.08	51.06	42.55	25.53
3800	88.62	70.9	53.17	44.32	26.59
4000	92.1	73.68	55.26	46.05	27.63

La fórmula de Talbot, es aplicable a cuencas de hasta 200 Km², pero en la SCT, al restringir su uso a las obras menores únicamente, se ha reducido ese valor a 10 Km² aprox., en términos generales, es el valor del área de la cuenca más grande que se puede drenar con una alcantarilla.



3).- Procedimiento de sección y pendiente

Es el método que relaciona las características geométricas del cauce (áreas parciales o totales de la sección transversal, tirante, etc.) con las velocidades y los gastos, además; no tiene el inconveniente de los aforos directos de no poderse aplicar en cauces secos.

En las fórmulas donde interviene la sección y la pendiente, sufren el defecto de que tienen un coeficiente que influye en el escurrimiento de la forma del cauce, así como de los materiales de que esta constituido, y en general del grado de rugosidad.

Se puede decir que de las fórmulas empleadas para el método de sección y pendiente, la más universal es la de Manning, porque se han hecho muchos experimentos que comprueban su confiabilidad.

La fórmula de Manning se mencionó en el tema de cunetas, y es:

$$V = \frac{1}{n} S^{1/2} R^{2/3}$$

4).- Procedimiento racional

En este caso la alcantarilla esta en función del escurrimiento máximo probable, por lo cual se debe conocer la precipitación pluvial máxima en un número suficientemente grande de años. En el sistema métrico se puede escribir de la siguiente manera:

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Donde:

- Q_p = gasto de pico en m^3/s .
- C = coeficiente de escurrimiento, adimensional.
- I = intensidad de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración, en mm/hr .
- A = área drenada en Km^2 .
- 0.278 = factor de homogeneidad de unidades.

En caso de que la cuenca por drenar esté compuesta por diferentes tipos de suelo, el coeficiente de escurrimiento global C se calcula con la fórmula:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{A}$$

Donde:

- C = coeficiente de escurrimiento global.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



C_i = coeficiente de cada área parcial.

A_i = área parcial.

n = número de áreas parciales.

A = área de la cuenca.

El coeficiente C representa la relación entre el volumen escurrido y el llovido, además depende de las características de la cuenca. En la siguiente tabla se muestran los valores de éste coeficiente comúnmente empleados.

Tabla 5.6: Valores del coeficiente "C" de la formula racional

Tipo del área por drenar	Pendiente en porcentaje	Coeficiente de escurrimiento, C
Con césped		
Suelo arenoso	2	0.05 - 0.10
Suelo arenoso	2 a 7	0.10 - 0.15
Suelo arenoso	7	0.15 - 0.20
Suelo grueso	2	0.13 - 0.17
Suelo grueso	2 a 7	0.18 - 0.22
Suelo grueso	7	0.25 - 0.35
Calles		
Asfaltadas		0.70 - 0.95
Concreto		0.80 - 0.95
Enladrillado		0.70 - 0.85
Calzadas y banquetas		0.75 - 0.85
Cmpos cultivados		0.20 - 0.40
Zonas forestadas		0.10 - 0.30

Una hipótesis en que se basa la fórmula Racional expresa que el gasto producido por una lluvia de intensidad constante sobre una cuenca, es máximo cuando dicha intensidad se mantiene por un lapso igual o mayor que el tiempo de concentración, el cual se define como el tiempo de recorrido del agua desde el punto hidráulicamente más alejado hasta el punto de salida de la cuenca, ya que el cumplir con esta condición toda el área de la cuenca contribuye al escurrimiento.

Por lo tanto es necesario calcular previamente el tiempo de concentración, para lo cual se emplea la fórmula de Kirpich, que se menciona a continuación:

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración, en hrs.

L = longitud del cauce principal, más la distancia entre el inicio de éste y el parteaguas medida perpendicularmente a las curvas de nivel, en Km.

S = pendiente del cauce, adimensional, (en decimales).



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Una vez que se ha calculado el tiempo de concentración se puede determinar la intensidad de diseño, a partir de las Isoyetas de Intensidad-Duración-Frecuencia para la Republica Mexicana, elaboradas y publicadas por la SCT para lo cual se considera la duración de la tormenta igual al tiempo de concentración calculado y se fija el periodo de retorno en función de la vida útil de proyecto y del riesgo que se puede aceptar de que la obra falle.

En términos generales se puede decir que el periodo de retorno de proyecto depende principalmente de las dimensiones y del tipo de la obra de drenaje así como de la importancia de la vía terrestre. En el caso de las alcantarillas, un valor comúnmente empleado del periodo de retorno es el de 25 años, y en el caso de puentes es de 50 o 100 años.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



FORMATO TIPO METODO RACIONAL (2)

CRUCE : _____		
CAMINO : _____		
TRAMO : _____		
Km : _____		
ORIGEN : _____		
ESTACIÓN PLUMIOGRAFICA : _____		
METODO RACIONAL		
CONSTANTES DE CÁLCULO	NOMENCLATURA	DATOS
Área de la cuenca (Km ²)	A	
Longitud del cauce principal (km)	L	
Pendiente del cauce (decimales)	S	
Coefficiente de escurrimiento (adimensional)	C	
Tiempo de concentración (hrs)	Tc	
$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$		
para		
Tr = _____ años		
I = _____ mm/hr		
Q = 0.278 CIA		= _____ m ³ /s
para		
Tr = _____ años		
I = _____ mm/hr		
Q = 0.278 CIA		= _____ m ³ /s

(2) "Manual de drenaje de caminos" 1952
 Diseño hidraulico y geotecnico de obras de drenaje menor y complementario, 2002



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



OTROS MÉTODOS PARA EL DETERMINAR EL GASTO HIDROLÓGICO, SON:

FORMULA DE BURKLI-ZIEGLER. Se utiliza para áreas pequeñas menor a 250 Ha. (3)

$$Q = 0.022 * C * A * h^{*4} \sqrt{S/A}$$

Donde:

Q = gasto de la alcantarilla, m³/s.

H = Precipitación, cm/hr correspondiente a la lluvia más intensa (10 min)

S = pendiente del terreno.

A = Area tributaria, Has.

C = Coeficiente de rugosidad, de acuerdo a la siguiente tabla:

C	TIPO DE TERRENO
0.75	Calles pavimentadas y distritos comerciales
0.625	Calles ordinarias de la ciudad.
0.30	Poblaciones con parques y calles con pavimento asfáltico
0.25	Terrenos de cultivo

FORMULA DE DICKENS. Se utiliza para superficies de 0.25 km² a 250 km², para calcular el gasto máximo producido en una alcantarilla debido a una lluvia de 24 horas de duración.

$$Q = 0.01385 * C * \sqrt[4]{A}$$

Donde:

Q = Gasto de la alcantarilla, m³/s

A = Area tributaria en km²

C. = Coeficiente de rugosidad. Depende del tipo de terreno.

TIPO DE TERRENO	VALOR DE	C
	PRECIPITACIONES 10cm en 24 hrs.	PRECIPITACIONES 15 cm en 24 hrs.
Plano	200	300
Lomerío suave	250	325
Lomerío fuerte	300	350

A continuación señalamos la siguiente tabla en la cual están calculados los gastos con la Fórmula de Dickens para precipitaciones de 10 cm/24 hrs.

(3) "Manual de drenaje de caminos" 1952

Diseño hidráulico y geotécnico de obras de drenaje menor y complementario, 2002



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



GASTO EN M³/SEG. (PRECIPITACIÓN 10CM/DÍA)

AREA EN Km ²	C = 200	C = 250	C = 300
0.3	1.1	1.4	1.7
0.4	1.4	1.7	2.1
0.5	1.7	2	2.5
0.6	1.9	2.3	2.8
0.7	2.1	2.6	3.2
0.8	2.3	2.9	3.5
0.9	2.5	3.2	3.8
1	2.8	3.4	4.1
2	4.7	5.8	7
AREA EN Km ²	C = 200	C = 250	C = 300
3	6.3	7.8	9.3
4	7.7	9.6	11.5
5	9.2	11.4	13.8
6	10.5	13.2	15.8
7	11.9	14.8	17.8
8	13.2	16.4	19.8
9	14.3	17.8	21.5
10	15.5	19.4	23.3
20	26.1	32.9	39.2
30	35	43.5	52.9
40	43.4	24	65
50	51.9	64.8	78
60	59.4	74	89
70	66.8	83.4	100
80	73.9	92.1	110
90	80.8	101	121
100	87.6	109.4	131
200	147.5	184.4	221.6
250	174	217.8	261.2

A diferencia de los vados, donde el régimen hidráulico prácticamente no se modifica, en las alcantarillas hay un estrechamiento del cauce, que sumando la concentración de volúmenes de agua por cunetas y contracunetas, provocan que el nivel del caudal y su velocidad se incrementen. Este fenómeno puede provocar erosiones tanto a la entrada como a la salida de las obras.

Se mejora la función de las alcantarillas, de cualquier tipo, mediante una estructura de transición, a la entrada y salida del conducto, formada por los aleros que son muros de contención de tierra y guías para conducir el agua, que transforman gradualmente su régimen, el que tenía el terreno natural al del interior y otra vez al terreno natural. Excepto en los que solo se coloca un muro plano de cabeza natural, los aleros son divergentes, con ángulo de abertura de 30° respecto al eje longitudinal de la alcantarilla, arrancan del mismo nivel de la parte superior del coronamiento de los estribos y desciende con talud de 1.5:1 hasta tener una altura entre 0.30 m. a 0.00 m. en su parte más alejada. (Fig. 5.10)

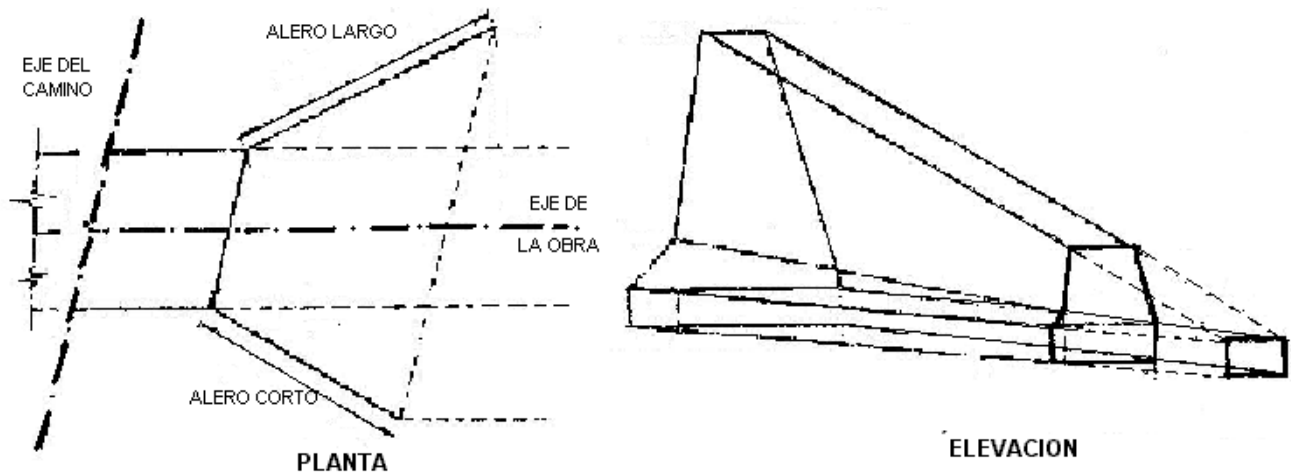


Fig. 5.10: Aleros

5.6 DIFERENTES TIPOS DE ALCANTARILLA ⁽⁴⁾

Por la forma de su sección y el material de que están construidas, estas estructuras de drenaje menor pueden clasificarse como tubos, bóvedas, losas, sobre estribos y cajones. Están siempre alojadas en el cuerpo de la terracería. (Fig. 5.11 y 5.12)

TIPOS DE ALCANTARILLA

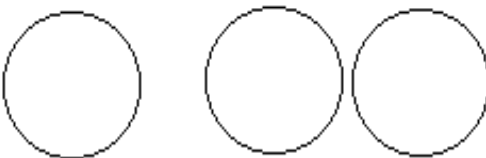
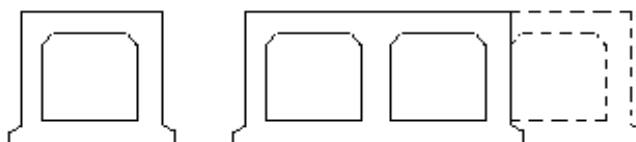
Tipos de alcantarilla	Sección transversal típica	Materiales comunes
Tubo, sencillo o múltiple		Metal corrugado, concreto simple o reforzado, arcilla vetrificada, hierro fundido
Arco de tubo, sencillo o múltiple		Metal corrugado

Fig. 5.11

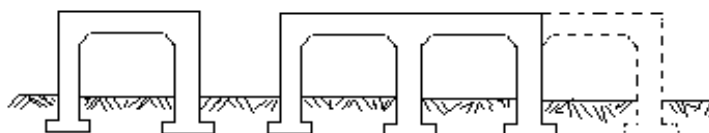
(4) "Manual de drenaje de caminos" 1952
 Diseño hidráulico y geotécnico de obras de drenaje menor y complementario, 2002

Alcantarilla de caja, claro
 sencillo o claro múltiple



Concreto reforzado

Alcantarilla de puente, claro
 sencillo o claro múltiple



Concreto reforzado

Arco



Concreto reforzado, metal
 corrugado, o arco de mampostería
 de piedra sobre cimentación de
 concreto reforzado

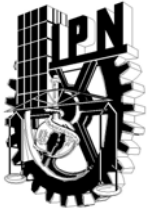
Fig. 5.12

➤ TUBOS.

Son alcantarillas de sección interior circular y requieren siempre de un espesor de terraplén ó colchón mínimo de 60 cm. para su mejor funcionamiento estructural, y el material de que están contruidos puede ser de concreto reforzado, lámina ondulada, y en ciertos casos puede convenir económicamente su construcción con mampostería de tercera y mortero de cemento, aunque este caso se encuentra dentro del grupo de las bóvedas (Fig. 5.13).



Fig. 5.13



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



➤ **BÓVEDAS.**

Son estructuras cuya sección transversal interior está formada por tres partes principales: el piso, dos paredes verticales que son las caras interiores de los estribos y, sobre éstas un arco circular, de medio punto o rebajado, que es el intradós de un arco estructural de sección variable con mínimo espesor en la clave.

En general las bóvedas son construidas con mampostería de tercera y mortero de cemento 1:5. Para construir el arco se requiere un molde de madera que se aprovecha también para colar la clave a lo largo de la obra. La clave de concreto simple cierra el arco en el centro, es de $f^c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con juntas radiales y tiene un ancho mínimo de 35 cm.

➤ **LOSAS SOBRE ESTRIBOS.**

Son estructuras formadas por dos muros de mampostería de tercera con mortero de cemento 1:5, sobre los que se apoya una losa de concreto reforzado. Cuando la resistencia del terreno sea baja se usarán estribos mixtos, con el muro de mampostería y el cimiento de concreto (fig. 5.14 y 5.15)



Fig. 5.14

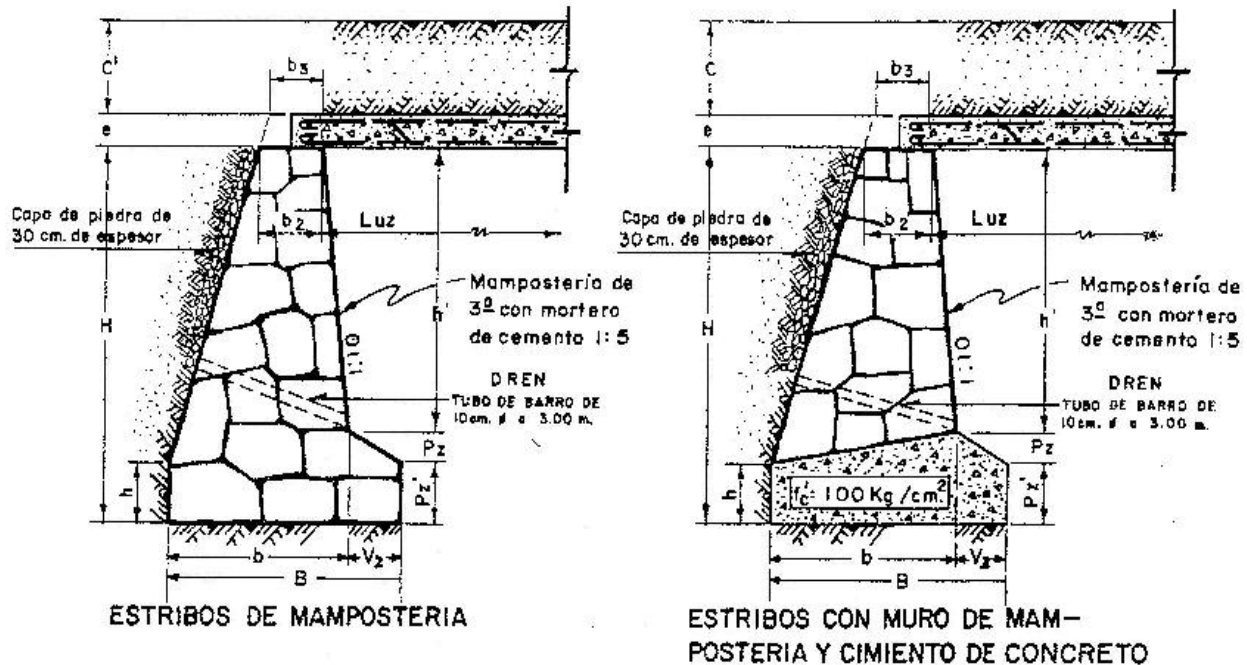


Fig. 5.15

➤ CAJONES.

Son estructuras de sección rectangular con paredes techos y piso de concreto reforzado, cuya construcción requiere cuidados especiales. Trabajan en conjunto como un marco rígido que absorbe el peso y empuje del terraplén, la carga viva y la reacción del terreno. Tanto las losas como los muros son esbeltos y de poco peso.

5.7 EJEMPLOS NUMÉRICOS

5.7.1 METODO RACIONAL ⁽⁵⁾

EJEMPLO: Obtener el gasto de proyecto por el método racional.

Suponiendo que en el tramo San Pedro Tihuatlan, del Km 183+000 al Km 190+000 existe un escurrimiento importante.

1. Determinar el área de la cuenca por drenar:

- a) El área de la cuenca se determina con base a las fotografías aéreas y en las cartas topográficas.
- b) Se remarcan todos los cauces, las zonas bajas, las canalizaciones y los almacenamientos de agua existentes.

(5) Incisos C.1, C.1.1., C.1.2., C.1.3, C.1.4., D.1.1 de la norma M-PRY-CAR-1-06-003/00 Estudios hidraulico-hidrologicos para puentes, proceso de información, SCT.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- c) Se traza el parteaguas que delimita la cuenca, por los puntos de mayor elevación topográfica, de forma que abarque todos los cauces y canalizaciones que influyan.
- d) Con un planímetro, se determina en las cartas topográficas el área de la cuenca "A" (en Km), que corresponde a la superficie delimitada entre el parteaguas y el eje de la carretera.

2. Cálculo del tiempo de concentración.

El tiempo de concentración (T_c), es el tiempo requerido para que el agua escurra desde el punto más lejano de la cuenca hasta el sitio donde se construirá la alcantarilla, mediante la fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.00662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} = 0.00662 \frac{3.5^{0.77}}{0.10^{0.385}} = 0.42 \text{ hr}$$

$T_c = 25.2 \text{ min.}$

Donde:

L = longitud del cauce principal, (km)

$L = 3.5 \text{ Km}$

$S = \frac{D}{L} =$ pendiente media del cauce principal, (adimensional)

$D = 350 \text{ m}$

$S = \frac{350}{3500} = 0.10$

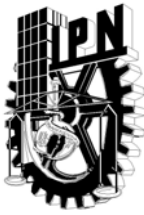
3. Determinar el periodo de retorno (T_r) $T_r = 50$ años

4. Cálculo de la intensidad de precipitación: A partir de isoyetas:

- a).- Se ubica la cuenca que se estudia en los mapas geográficos correspondientes e interpolando las isoyetas se estima la intensidad de lluvia (i) para cada duración de tormenta (t) y periodo de retorno (T_r), asentándola en el registro siguiente:

Ejemplo de registro de intensidades de lluvia obtenidos de isoyetas para diferentes duraciones de tormenta y periodos de retorno

Duración t , (min)	Periodo de retorno T_r , (años)				
	10	25	50	100	500
	Intensidad de lluvia I , (mm/h)				
10	163,0	190,0	210,0	230,0	274,0
30	97,6	115,0	129,0	143,0	177,0
60	63,5	75,0	85,0	96,0	120,0
120	36,0	44,7	51,0	56,0	68,0
240	19,5	23,1	26,8	31,0	37,0

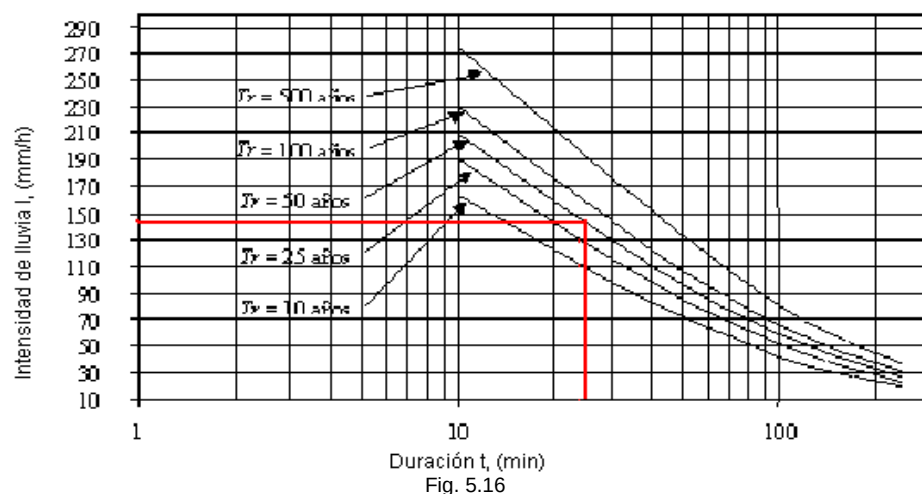


INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- b).- En un papel semilogarítmico, en que las ordenadas en escala natural corresponden a las intensidades de lluvia y las abscisas en escala logarítmica, a las duraciones, se dibujan los datos obtenidos en la tabla anterior para cada periodo de retorno.

Con el tiempo de concentración calculado y el periodo de retorno, se entra verticalmente en las curvas de intensidad-duración-periodo de retorno. (fig. 5.16)



NOTA: Estas curvas se determinaran de acuerdo a los registros de las estaciones pluviográficas que se hayan recopilado en lugar, para nuestro ejemplo estos datos no son válidos, ya que no se hizo cierto estudio.

También existe otra forma para determinar la intensidad de lluvia empleando la última versión de las publicaciones Isoyetas de Intensidad-Duración- Frecuencia de la Republica Mexicana, editadas por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría. (Fig. 5.17)

- a).- Encontrar el centroide de la cuenca por drenar, obteniendo así las coordenadas del mismo (en grados y minutos).

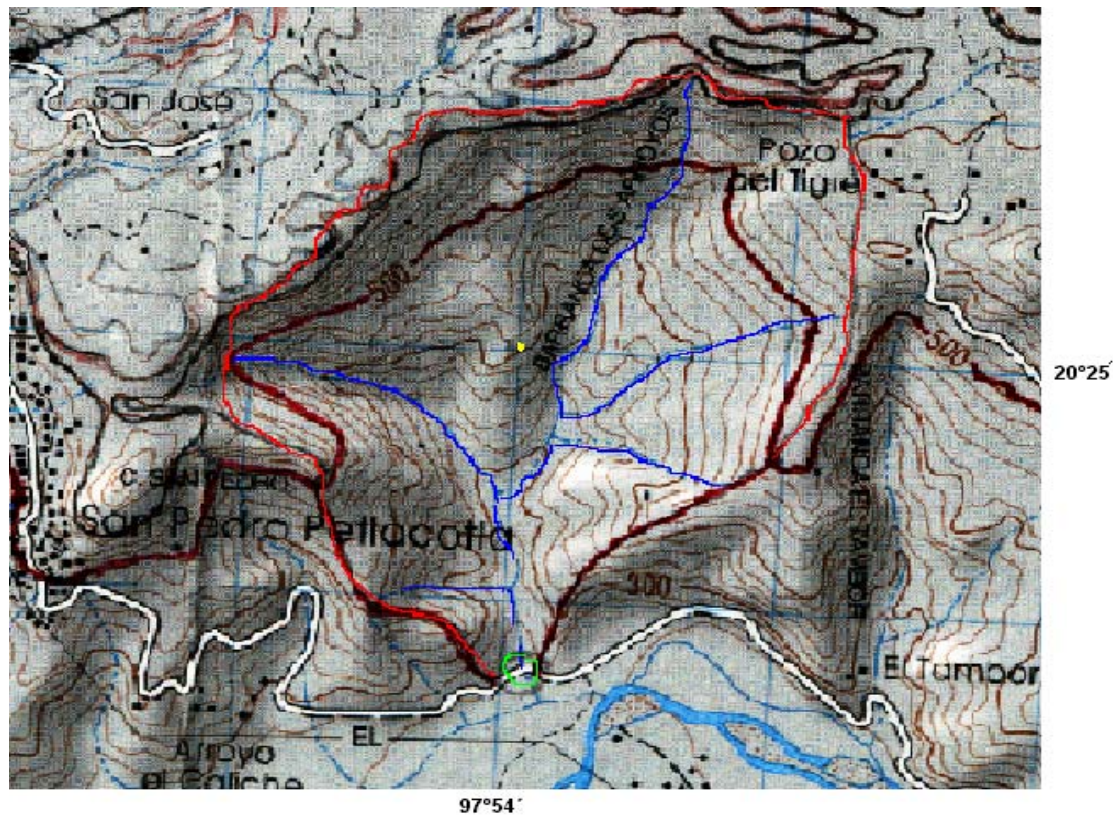


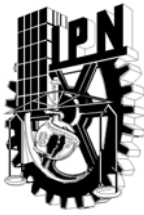
Fig. 5.17

b).- Encontrar las coordenadas del centroide en las Isoyetas de Intensidad con las siguientes coordenadas (Fig. 5.18)

$$Y = 20^{\circ} 25' \quad X = 97^{\circ} 54' \quad \therefore I = 85 \text{ mm/hr}$$



C = 0.20 Zona forestada o campos cultivados



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



6. Aplicando la fórmula obtenemos el gasto

$$Q = 0.278 \times C \times I \times A$$

$$Q = 0.278 \times 0.20 \times 85 \times 4.5 = \mathbf{21.27 \text{ m}^3 / s}$$

Si: $Q = V \times A$

Donde:

Q = Gasto de la corriente en m^3/s

A = Sección transversal en m^2

V = Velocidad de la corriente m/s

$$V = 1/n S^{1/2} R^{2/3}$$

N = coeficiente de rugosidad (adimensional)

$$R_H = \text{Radio hidráulico del cauce} = \frac{\text{Area..Hidráulica}}{\text{Perímetro..Mojado}}$$

S = Pendiente hidráulica del cauce (en decimales)

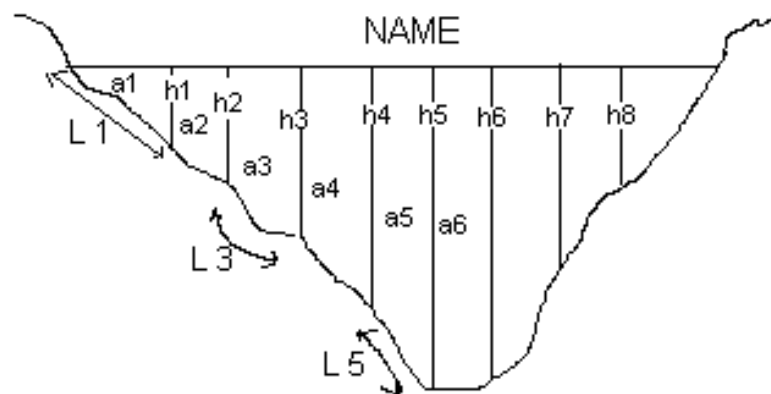


Fig. 5.19

Area 1 = a_1

Perímetro mojado = L_1

$$\text{Radio hidráulico} = \frac{a_1}{L_1}$$

Area 5 = a_5

Perímetro mojado = L_5

$$\text{Radio hidráulico} = \frac{a_5}{L_5}$$

Suponiendo que $V = 3.2 \text{ m/s}$, $n = 0.035$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{21.27}{3.2} = \mathbf{8.1 \text{ m}^2}$$



5.7.2 DISEÑO Y CÁLCULO DE UN TUBO DE CONCRETO ⁽⁶⁾

1.- Determinar el Área Hidráulica que deberá tener la obra de cruce del Km. 183 +209.00 en el tramo del Km. 183 +000.00 al Km. 190 + 000.00 de la carretera México – Tuxpan, empleando el método de Talbot.

$$a = 0.183 * C * \sqrt[4]{A^3}$$

Datos:

- Éste tramo se localiza en terrenos de cultivo, cafetales, tipo lomerío fuerte, por lo tanto se utilizará un coeficiente de escurrimiento $C = 0.8$. La zona presenta un régimen de fuertes lluvias con aguaceros torrenciales.

- Area de la superficie por drenar, $A = 20$ Has.

- Aplicando la fórmula de Talbot

$$a = 0.183 \times 0.80 \times \sqrt[4]{20^3}$$

$$a = \underline{1.38} \text{ m}^2 / 2 \text{ tubos} = 0.69 \text{ m}^2 \cong 0.70 \text{ m}^2$$

2.- Encontrar las dimensiones de la obra (se propone un tubo).

$$\text{Sí: } a = \frac{\pi * D^2}{4} = D = \sqrt{\frac{\pi * a}{4}} = D \sqrt{\frac{3.14159265 \times 0.70}{4}}$$

$$D = 0.74 \text{ m.} \quad \text{Trabajando a tubo lleno}$$

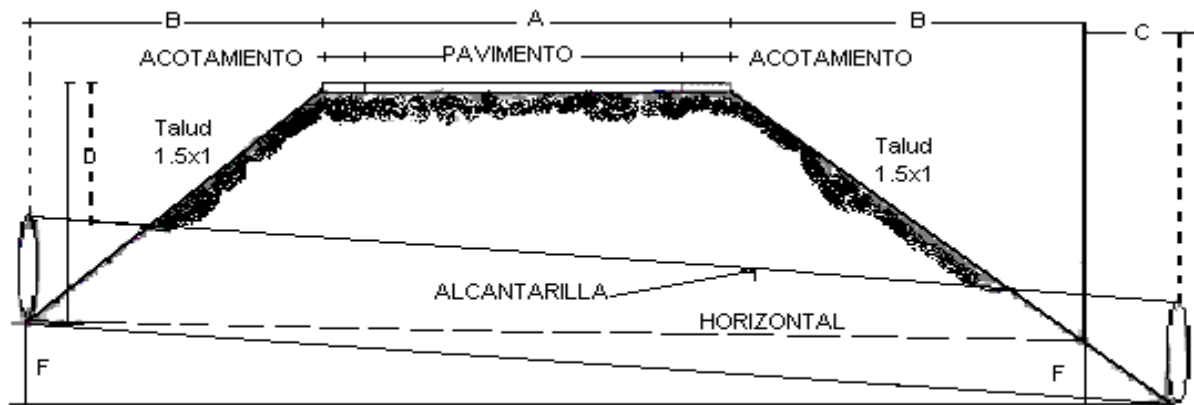
Se incrementa 37 cm al diámetro, debido a que el agua transporta cuerpos flotantes:

$$D = 0.74 + 0.37 = 1.11 \text{ m} \longrightarrow \mathbf{D = \varnothing = 1.20 \text{ m.}}$$

El diámetro también se puede determinar por medio de la fig. 1

(6) Drenaje de caminos de mano de obra SOP- 1973

3.- Determinar la longitud de la estructura.



CROQUIS DE LA SECCIÓN DE UN CAMINO PARA
DETERMINAR LA LONGITUD DE UN TUBO

Fig. 5.20

A = ancho de la corona = 12 m.

D = altura del terraplén a la entrada (cota roja), como lleva muros de cabeza la altura se medirá hasta la clave de la alcantarilla.

$$D = 10.00 + 0.12 = 10.12 \text{ m.}$$

$$B = \text{Valor del talud} \times D = 1.5 \times 10.12 = 15.18 \text{ m.}$$

$$F = \text{Pendiente} \times (A + 2B)$$

$$F = 0.015 \times [12 + (2 \times 15.18)] = 0.64$$

$$C = \text{Aprox. } \frac{1}{2} F = 1.5 \times 0.64 = 0.96$$

$$L = \text{Longitud Total} = A + 2B + C$$

$$L = 12 + (2 \times 15.18) + 0.96 = \mathbf{44.56 \text{ m.}}$$

4.- Determinar las distancias h, L₃, L₂, y D

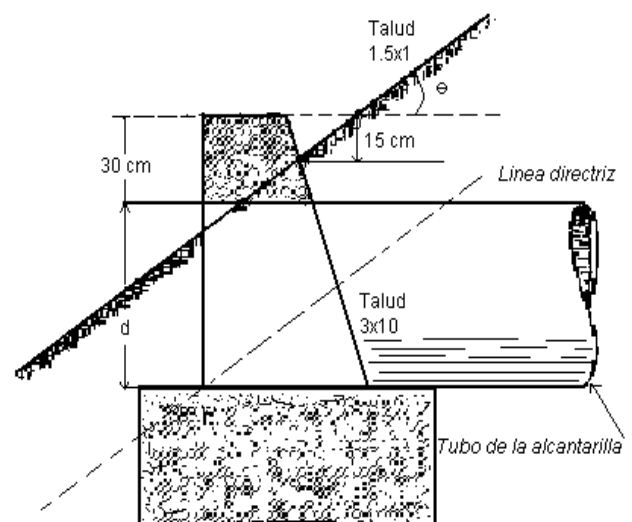
a) Calcular la distancia vertical h.

$$h = d \pm 15 \frac{35}{\text{Cot } \theta} = 120 - 15 \frac{35}{\text{Cot } 1.5} = \mathbf{111 \text{ cm.}}$$

d = diámetro del tubo

θ = talud de la terracería

En el talud de la cuneta 1:3, la distancia vertical **h** entre ese talud y la directriz, será igual al DIÁMETRO DEL TUBO MAS 4 CM.



Cálculo del valor h



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



En el talud del terraplén 1:5 x 1, la distancia vertical h entre ese talud y la directriz, será igual al DIÁMETRO DEL TUBO MENOS 8 CM APROX.

b) Calcular las distancias L_3 y L_4 :

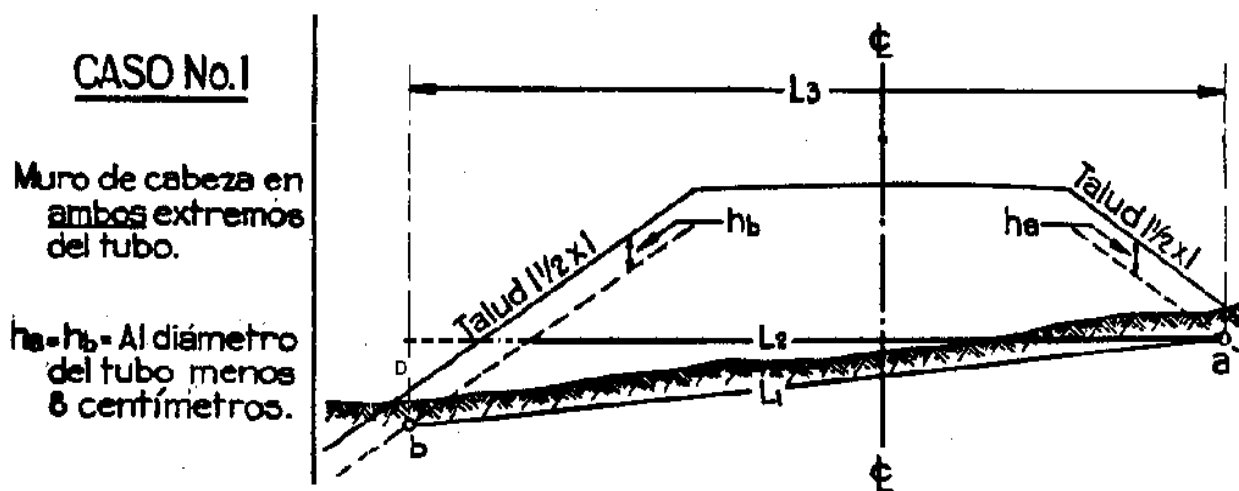


Fig. 5.22

$$L_3 = C_1 L - C_2 d = (0.9998 \times 44.56) - (0.01499 \times 1.20) = 44.45 \text{ m.}$$

$$L_2 = C_3 L - C_2 d = (0.9774 \times 44.56) - (0.01499 \times 1.20) = 43.53 \text{ m.}$$

$$D = C_2 L = 0.01499 \times 44.56 = 0.67 \text{ m}$$

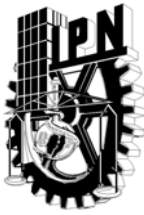
Donde: L_3 = distancia horizontal entre los paramentos de los muros de cabeza.

L_2 = Distancia horizontal entre las líneas directrices que fija la posición del punto "a" del paramento del muro de cabeza del extremo de aguas arriba.

C_1, C_2 , y C_3 = Constantes, en función de la pendiente (S).

$$C_1 = \frac{1}{\sqrt{1+S^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+0.015^2}} = 0.9998$$

$$C_2 = \frac{S}{\sqrt{1+S^2}} = \frac{0.015}{\sqrt{1+0.015^2}} = 0.0149$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



$$C_3 = \frac{1 - (1.5 \times S)}{\sqrt{1 + S^2}} = \frac{1 - (1.5 \times 0.015)}{\sqrt{1 + 0.015^2}} = 0.9774$$

d = diámetro del tubo

D = desnivel entre los puntos a y b.

5.- Determinar las dimensiones de los muros de cabeza.

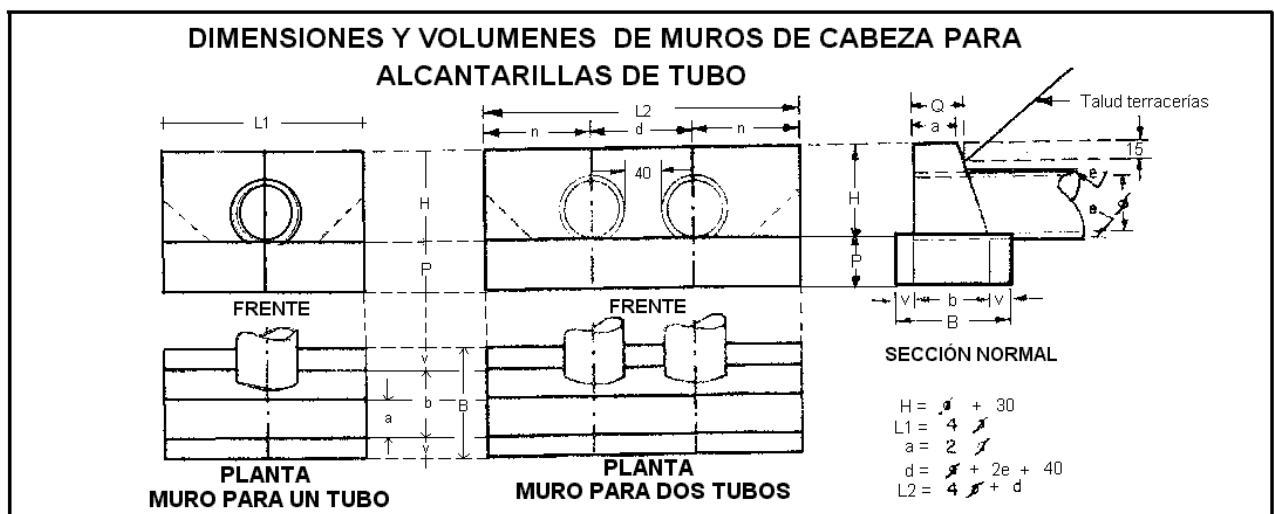


Fig. 5.23

AREA EN HECTAREAS QUE PUEDE DRENAR																				
UN TUBO											DOS TUBOS									
θ	C																			
	PLANO					OND.					LOMERIO					MONT.				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
75.0	69.7	27.7	16.1	11.0	8.2	6.4	5.2	4.4	3.7	3.2	139.4	55.4	32.2	22.0	16.4	12.8	10.4	8.8	7.4	6.4
90.0	113.3	45.0	26.2	17.9	13.3	10.4	8.5	7.1	6.1	5.3	226.6	90.0	52.4	35.8	26.6	20.8	17.0	14.2	12.2	10.5
105.0	170.9	67.8	39.5	26.9	20.0	15.7	12.8	10.7	9.1	7.9	341.8	135.6	79.0	53.8	40.0	31.4	25.6	21.4	18.2	15.8
120.0	244.0	96.8	56.4	38.4	28.5	22.4	18.2	15.3	13.0	11.3	488.0	193.6	112.8	76.8	57.0	44.8	36.4	30.6	26.0	22.5

MUROS DE MAMPOSTERÍA																
TUBOS				DIMENSIONES COMUNES PARA UNO Y DOS TUBOS								UN MURO CON				
θ	e	AREAS										UN TUBO		DOS TUBOS		
		UN TUBO	2 TUBOS	a	Q	b	V	B	P	H	L1	Vol.	n	d	L2	Vol.
cm.	cm.	m ²	m ²	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	cm.	m ³	cm.	cm.	cm.	m ³
75	9	0.442	0.864	30	34	60	15	90	50	105	300	2.45	150	131	431	3.33
90	10	0.636	1.272	30	34	65	15	95	50	120	360	3.29	180	148	506	4.36
105	11.5	0.966	1.732	30	34	70	15	100	50	135	420	4.27	210	165	585	5.54
120	12.5	1.131	2.262	30	34	75	15	105	50	150	480	5.38	240	184	664	6.87
150	15	1.767	3.534	30	34	85	15	115	50	180	600	8.1	300	220	820	10.08



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



5.7.3 DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA LOSA DE CONCRETO ⁽⁷⁾

ESPECIFICACIONES PARA PROYECTO DE LOSAS DE CONCRETO REFORZADO EN ALCANTARILLAS

I.- CONSIDERACIONES DE CARGA:

Para el proporcionamiento de losas para alcantarilla (con luz hasta de 6.00 m.) se tomarán en cuenta los efectos de carga viva, impacto y cargas permanentes debidas al peso propio de la losa y el colchón.

- a).-La carga viva (c.v.) corresponde al camión tipo H15 y HS20 (camión con semiremolque), eligiendo entre ellos el que produce mayor esfuerzo. Las especificaciones que normalmente se utilizan en el proyecto de puentes son las que estipula la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) de los Estados Unidos de América. Estas especificaciones han ido evolucionando al paso del tiempo, pudiéndose mencionar las ediciones de 1931, que fue la primera publicada; la de 1944, que fue la cuarta; la de 1977, que fue la duodécima y también la última traducida y publicada por la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) en 1984; y la de 1996, decimosexta, que es la más reciente.

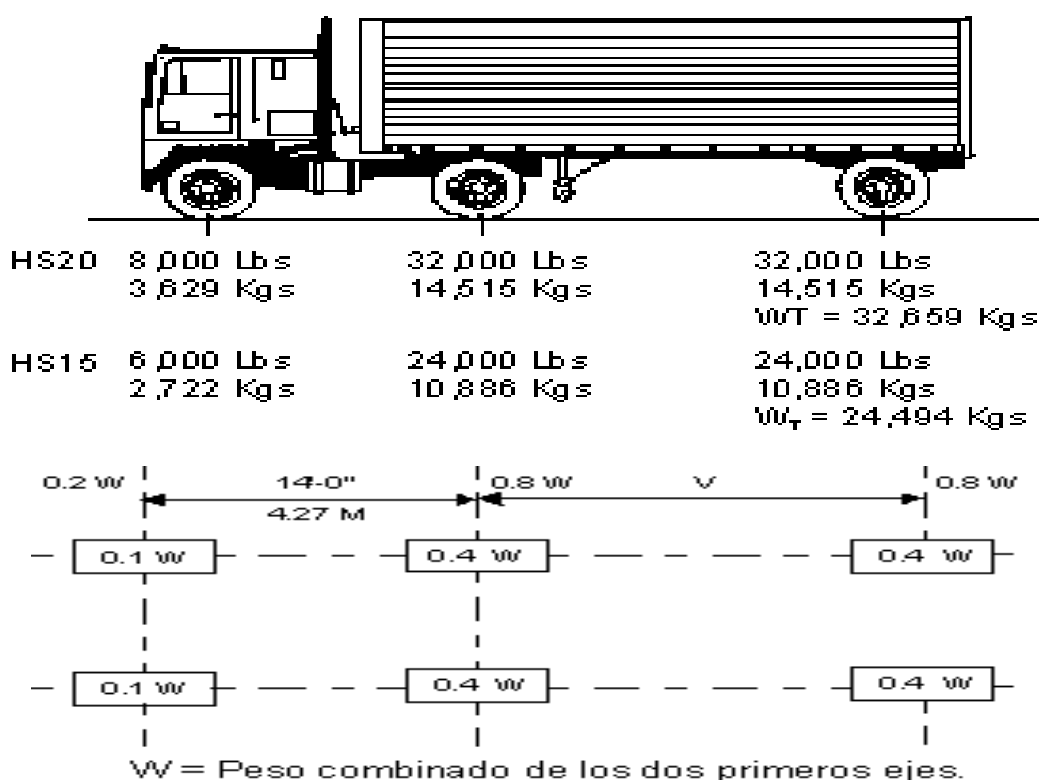


Figura 5.24. Vehículo denominado HS15 y HS20

(7) Dirección General de Proyectos y Laboratorios, México D. F. diciembre de 1965



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



V = Espaciamiento variable de 4.27 a 9.14 m.

El espaciamiento que se use será el que produzca los esfuerzos máximos.

- b).- La carga viva (c.v.) se incrementará en un porcentaje por concepto de impacto de acuerdo con el espesor del colchón, de la siguiente manera:

COLCHON	IMPACTO (i)
0 30 cm	30%
31 a 60 cm	20%
61 a 90 cm	10%

- c).- Las cargas permanentes corresponden a los pesos propios de la losa de concreto reforzado con 2400 Kg/cm^3 , teniendo en éste un espesor máximo de 4.25 m para este tipo de alcantarilla.

II.- ESFUERZOS PERMISIBLES:

Los esfuerzos permisibles en el concreto reforzado, serán los que se indican en el ejemplo anexo y corresponden a los señalados en las Especificaciones para Puentes y Caminos, S.O.P. de 1959.

EJEMPLO:

En el tramo del Km 183+000 al Km 190+000, se localiza en terrenos tipo lomerío con cafetales, por lo que se proponen Pasos Superiores para Peatones y Ganado; para dejar funcionando los caminos que cruzan este trazo. Por lo que se propone el diseño de una losa de concreto reforzado.

Además de que canaliza por cuneta y contracuneta a la obra propuesta en la estación 187+629.00, en este caso será una losa.

PROYECTO:

Losa para alcantarilla de 6.00 x 4.50 m.

Datos:

Luz = 3.30 m.

Refuerzo principal paralelo al tránsito.

Colchón = 0.90 m

Carga Viva: HS15 ó HS20

➤ ANÁLISIS DE CARGA MUERTA.

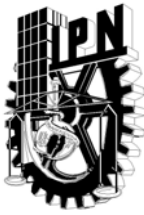
Espesor supuesto = 0.30 m.

∴ L = 4.50

Pp losa = $0.30 \times 2400 = 720.00$

Colchón = $0.90 \times 1600 = 1440.00$

$W_{cm} = 2,160.00 \text{ Kg/m}$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Momento:

$$M_{cm} = \frac{2160 * (4.50)^2}{8} = 5467.50 \text{ Kg-m}$$

Cortante:

$$V_{cm} = \frac{2160 * 4.50}{2} = 4860.00 \text{ Kg}$$

➤ ANÁLISIS CARGA VIVA (C.V.)

Ancho de distribución por rueda, para claros hasta de 3.66 m.

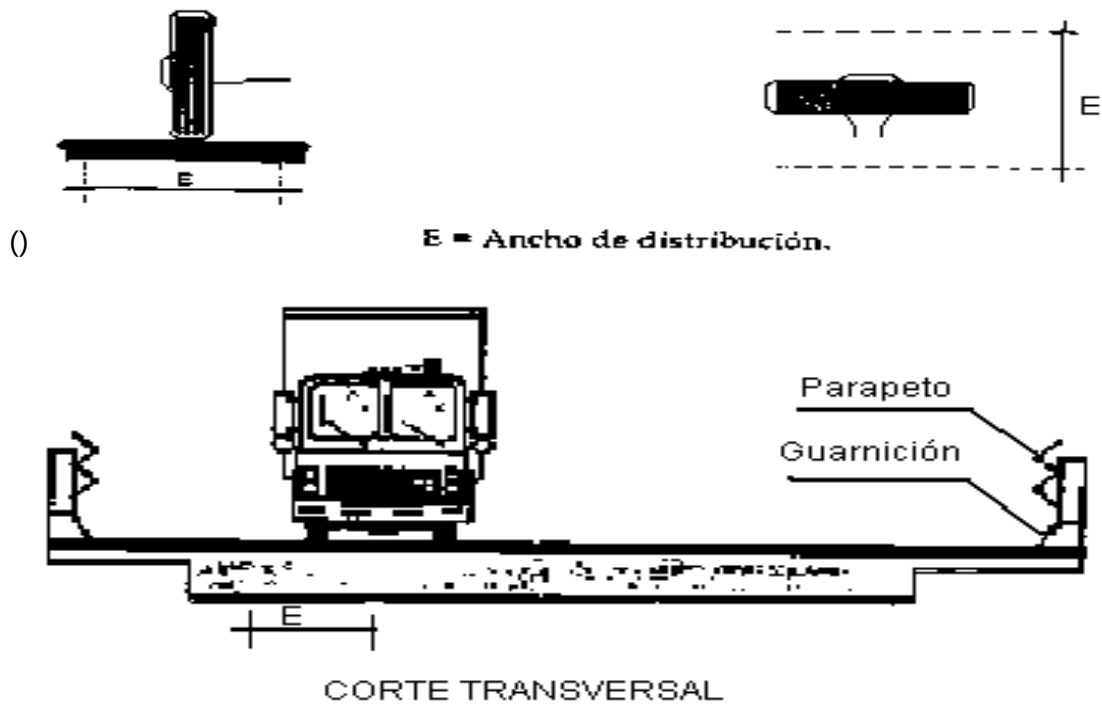


Fig. 5.25

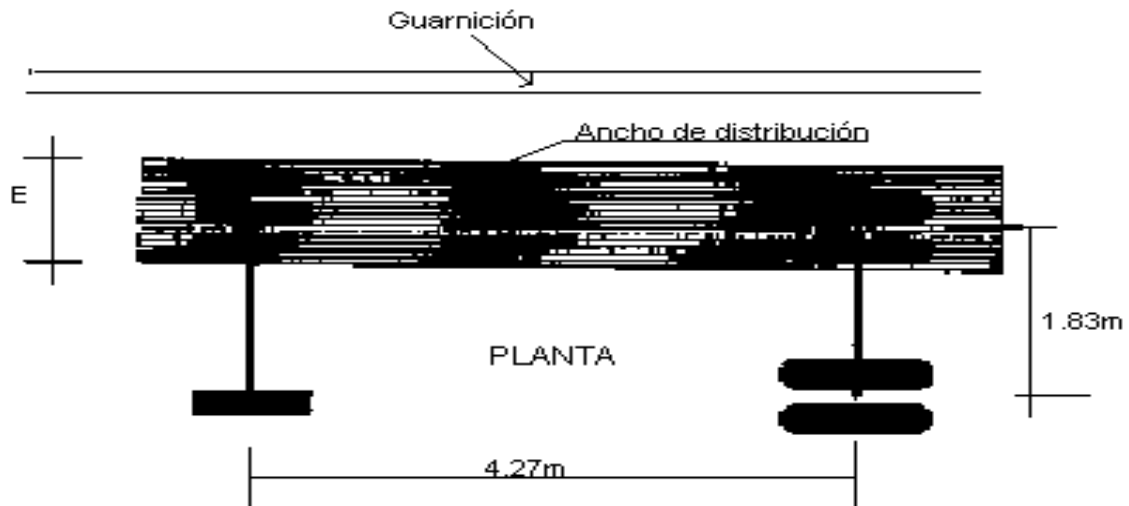


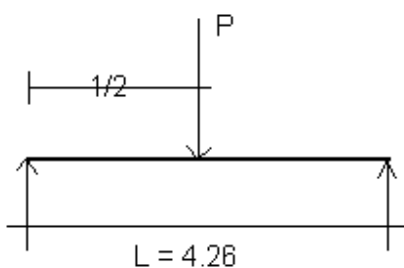
FIG. 5.26 ANCHO DE DISTRIBUCIÓN

$$E = 0.175L + 0.975 = (0.175 * 4.50 + 0.975) = \mathbf{1.76 \text{ m}}$$

Impacto (i): 10% (colchón > 90 cm)

a) Carga con tipo de camión H15.

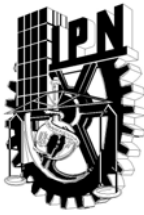
Momento por carga viva mas impacto (c.v. + i)



$$M_{\max} = \frac{PL}{4} = \frac{5443 * 4.50}{4} = \mathbf{6,123.38 \text{ Kg-m/m}}$$

Afectado por impacto tenemos:

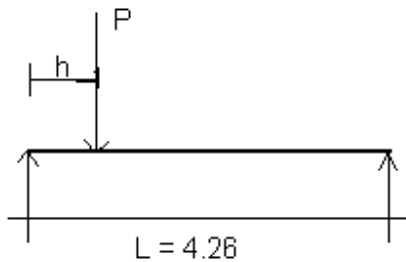
$$M_{C.V. + i} = \frac{M_{\max} * i}{E} = \frac{6123.38 * 0.90}{1.76} = \mathbf{3,131.27 \text{ Kg-m/m}}$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Cortante:



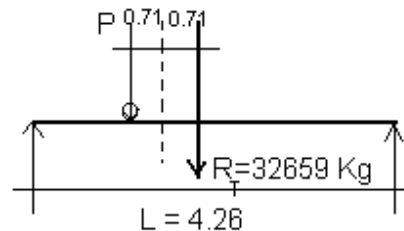
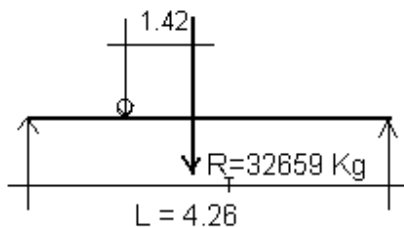
$$V_{\max} = \frac{P(L-h)}{L} = \frac{5443 \cdot (4.50 - 0.30)}{4.50} = \underline{\underline{5,080.00 \text{ Kg}}}$$

Afectado por impacto

$$V_{\text{C.v.} + i} = \frac{V_{\max} \cdot i}{E} = \frac{5080.13 \cdot 0.90}{1.76} = \underline{\underline{2597.80 \text{ Kg.}}}$$

b) Carga con tipo de camión HS20.

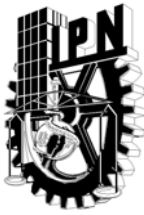
Momento por carga viva mas impacto (c.v. + i)



$$M_{\max} = \frac{\sum P}{L} \left(\frac{L-0.71}{2} \right)^2 = \frac{7257.5}{4.50} \left(\frac{4.50-0.71}{2} \right)^2 = \underline{\underline{5791.52 \text{ Kg-m/m}}}$$

Afectado por impacto:

$$M_{\text{C.v.} + i} = \frac{M_{\max} \cdot i}{E} = \frac{5791.52 \cdot 0.90}{1.76} = \underline{\underline{2,961.57 \text{ Kg-m/m}}}$$

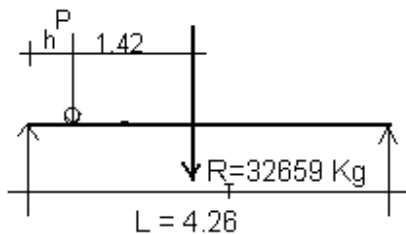


INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Cortante:

$$V_{\max} = \frac{P}{L} [(L-h) + (L-1.42)] = \frac{7257.50}{4.50} [(4.50-0.30) + (4.50-1.42)] = \underline{\underline{11,741.02 \text{ Kg}}}$$



Afectado por impacto tenemos:

$$V_{C.v. + i} = \frac{V_{\max} * i}{E} = \frac{11741.02 * 0.90}{1.76} = \underline{\underline{6,004.00 \text{ Kg}}}$$

Momento total

$$M_T = M_{CM} + M_{CV} = 5467.50 + 3131.27 = \underline{\underline{8,598.77 \text{ Kg-m}}}$$

Cortante Total:

$$V_T = V_{CM} + V_{CV} = 4860 + 6004 = \underline{\underline{10,864.00 \text{ Kg}}}$$

DISEÑO DE LOSA

➤ CONSTANTES

Capacidad de trabajo del concreto $f'_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$
Esfuerzo de trabajo del acero $f_s = 2000 \text{ Kg/cm}^2$

1. Fatiga admisible a la compresión en el concreto (f_c)

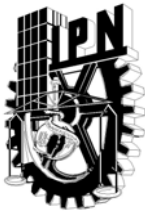
$$f_c = 0.40f'_c = 0.40 \times 200 = \underline{\underline{80 \text{ Kg/cm}^2}}$$

2. Relación del Modulo de Elasticidad (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{0.003}{0.0003} = \underline{\underline{10}}$$

3. Profundidad del eje neutro (k)

$$k = \frac{1}{1 + \left(\frac{f_s}{n * f_c} \right)} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2000}{10 * 80} \right)} = \underline{\underline{0.286}}$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4. Brazo del par resistente (j)

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \left(\frac{0.286}{3} \right) = \mathbf{0.90}$$

5. Factor K

$$K = 0.5 \times f_c \times k \times j = 0.5 \times 80 \times 0.286 \times 0.90 = \mathbf{10.30 \text{ Kg/cm}^2}$$

6.

$$u = \frac{3.20 \times \sqrt{f'c}}{\phi} =$$

➤ DISEÑO A FLEXIÓN

Momento total $M_T = 8598.77 \text{ Kg-m}$

Recubrimiento = 4.0 cm

Ancho de pieza a considerar $b = 100 \text{ cm}$

- Peralte Total:

$$h = d + \text{recubrimiento (de 3 a 5 cm)}$$

$$d = \sqrt{\frac{M_T}{Kb}} = \sqrt{\frac{859,877}{10.30 \times 100}} = \mathbf{28.89 \text{ cm}}$$

$$h = 29.00 + 4.0 = \mathbf{33.00 \text{ cm}}$$

- Area de Acero (armado principal a flexión)

$$A_s = \frac{M_T}{f_s \times j \times d} = \frac{859877}{2000 \times 0.90 \times 29} = \mathbf{16.47 \text{ cm}^2}$$

- Número de varillas:

Usando varillas de 1.91cm ϕ (3/4"), Area = 2.87 cm²

$$N^{\circ}_{\text{vars}} = \frac{A_s}{a_s} = \frac{16.47}{2.87} = 5.74 \approx \mathbf{6 \text{ varillas}}$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- Separación de Varillas

$$S = \frac{100}{6} = \mathbf{17 \text{ cm}}$$

- Verificación por Adherencia:

$$\Sigma_P = \frac{V_T}{u * j * d} = \frac{10864}{23.69 * 0.90 * 29} = 17.57 \text{ cm}$$

$$\text{donde: } u = \frac{3.20x\sqrt{f'c}}{\phi} = \frac{3.20x\sqrt{200}}{1.91} = 23.69$$

$$\Sigma_P = 6 \text{ cm (suma de perímetros)}$$

$$\text{Espaciadas a: } \frac{6*100}{17.57} = 34.15 \text{ cm}$$

∴ Rige As (17cm)

La adherencia nos permite doblar alternadas las varillas rectas bajas. En nuestro caso "corremos dos varillas A y doblamos una varilla B cortando ésta donde ya no se requiere.

➤ ARMADOS EXTRAS:

1.- Por temperatura:

- Area de acero total por temperatura

$$c = \sqrt{\frac{1}{K}} = \sqrt{\frac{1}{10.30}} = 0.31\%$$

$$As_t = 0.0031 \times b \times d = 0.003 \times 100 \times 29.00 = \mathbf{8.70 \text{ cm}^2}$$

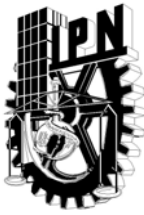
- Número de varillas:

Usando varillas de 1.27cm Ø (1/2"), Area = 1.27 cm²

$$N^{\circ}_{\text{vars}} = \frac{As_t}{as} = \frac{8.70}{1.27} = 6.85 \approx \mathbf{7 \text{ varillas}}$$

-Separación de Varillas:

$$S = \frac{100}{7} = \mathbf{14.29 \text{ cm}}$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



2.- Acero por distribución: $A_s\%$

Porcentaje:

$$P = \frac{0.55}{\sqrt{L}} = \frac{0.55}{\sqrt{4.33}} = 0.26 = 26\% \quad (50\% \text{ como máximo})$$

Area de Acero:

$$A_s' = P \times A_{s_{flex}} = 0.26 \times 16.47 = 4.28 \text{ cm}^2 < A_{s_t} = 8.70 \text{ cm}^2 \quad \therefore \text{Rige } A_{s_t}$$

Como rige A_{s_t} no se coloca acero por distribución D y E

-Verificación por esfuerzo cortante en el apoyo:

1.- Esfuerzo cortante admisible.

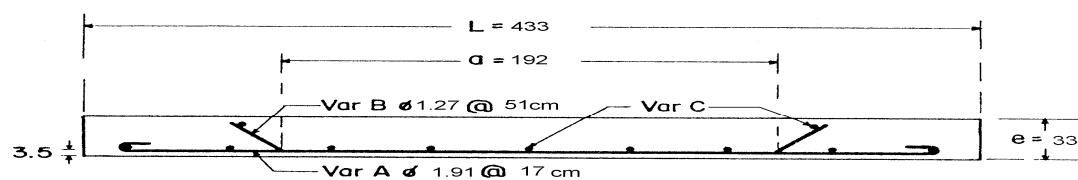
$$V_{adm} = 0.03 \times f'c = 0.03 \times 200 = 6 \text{ Kg/cm}^2 < 6.3 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{o.k.}$$

Por norma V_{adm} , no debe ser mayor a 6.3 Kg/cm^2

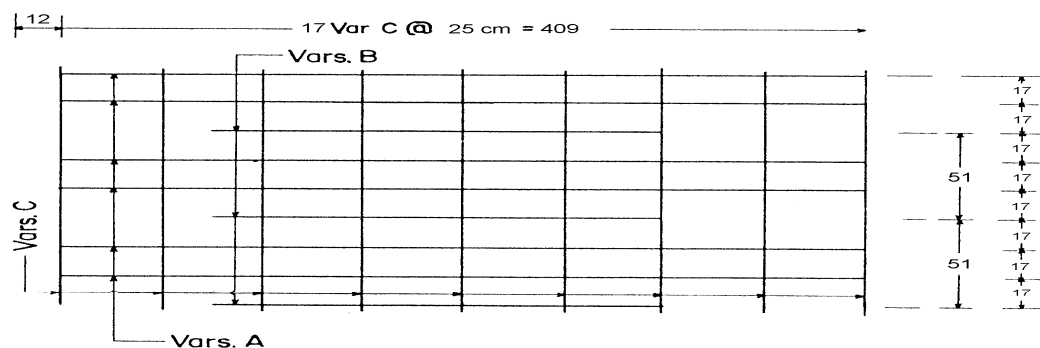
2.- Fuerza cortante actuante.

$$V = \frac{V_T}{b \cdot d} = \frac{10864.00}{100 \cdot 29} = 3.74 \text{ Kg/cm}^2 < 6.30 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{o.k.}$$

CROQUIS DE ARMADO



SECCION



PLANTA

Fig. 5.27



5.7.4 DISEÑO Y CÁLCULO DE UN ESTRIBO DE MAMPOSTERÍA

ESPECIFICACIONES PARA EL PROYECTO DE ESTRIBOS DE MAMPOSTERÍA EN ALCANTARILLA DE LOSA ⁽⁸⁾

1.- CONSIDERACIONES DE CARGA:

Para el proporcionamiento de estribos se tomarán en cuenta los efectos de carga viva, empuje de tierra, pesos propios de losa, colchón, estribo y terraplén sobre el cuerpo del estribo.

- a).- La Carga Viva corresponde al camión tipo HS15 ó Hs20, eligiendo entre ellos el que produce mayores esfuerzos y para la posición más desfavorable, usando carga directa si el espesor del colchón es menor de 60 cm.

Para colchones mayores de 60 cm, la Carga Viva se considerará como uniformemente distribuida sobre el área de un cuadrado, cuyos lados son iguales a 1.75 veces el espesor del colchón; cuando estas áreas se superpongan, la carga total se considerará como uniformemente distribuida sobre el área definida por los límites exteriores de las áreas individuales, pero la longitud de distribución medida en sentido normal al camino, no excederá a la longitud del estribo, (no invadiendo aleros).

- b).- La determinación del empuje de tierra y su posición se sujetarán a la teoría de Rankine. Para todos los casos se tomará un ángulo de fricción igual a $33^{\circ}42'$ (talud 1.5: 1) y el peso volumétrico de la tierra 1600 Kg/m^3 .

- c).- El peso propio de la losa corresponde al del concreto reforzado con un peso volumétrico de 2400 Kg/m^3 ; su espesor será el indicado de acuerdo al análisis de diseño ó a las tablas de losas, eligiendo preferentemente el de $f'c = 200 \text{ K/cm}^2$.

- d).- Colchón: se considerará a éste como el que gravita sobre la losa y ésta limitado longitudinalmente por las verticales que pasan por los extremos de la losa. Para su valuación se considera el 70% del peso de la cuña definida. Su peso volumétrico es de 1600 Kg/m^3 .

- e).- El peso propio del estribo corresponde al de la mampostería con peso volumétrico de 2200 Kg/m^3 .

- f).- El peso propio del terraplén que obra sobre la espalda del estribo se considera de 1600 Kg/m^3 y está comprendido entre las verticales que pasan por el talón del estribo y la orilla más próxima de la losa.

- g).- Los estribos se proyectarán para la combinación y posición de cargas más desfavorables; analizando una sección intermedia y la sección en el desplante. El diseño podrá ser gobernado por esfuerzo, volteo ó deslizamiento.

2.- ESFUERZOS DE TRABAJO Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD:

Para las consideraciones de carga indicadas en el punto 1, los esfuerzos de trabajo serán el 100% de los que a continuación se señalan

(8) Dirección General de Proyectos y Laboratorios, México D. F. diciembre de 1965



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



a).- Esfuerzos permisibles en suelo de cimentación:

Los esfuerzos calculados en el desplante del estribo, no excederán a los permisibles del terreno, que serán datos para cada caso particular. No se aceptarán tensiones en la cimentación, pudiéndose emplear el criterio de sección reducida, sin exceder el esfuerzo permisible a compresión. Los esfuerzos calculados tendrán tolerancia del $\pm 5\%$ con relación a los permisibles.

b).- Esfuerzos permisibles en mampostería de tercera con mortero de cemento-arena 1:5

A compresión: 10 Kg/cm^2

A tensión: En el cuerpo del estribo (análisis para la sección intermedia) 0.5 Kg/cm^2 .
(Tolerancia $\pm 20\%$)

A tensión por flexión en el escalón: 1 Kg/cm^2

Al cortante: 1.5 Kg/cm^2

c).- Coeficiente de seguridad

Al volteo, valuado con la expresión:

$$C.v. = \frac{\sum MV}{\sum MH} \geq 1.75$$

Donde:

MV = Momento de las fuerzas verticales respecto a la arista de volteo.

MH = Momento de las fuerzas horizontales respecto a la arista de volteo.

Al deslizamiento, valuado con la expresión:

$$C_d = \frac{u * \sum PV}{\sum FH} > 1.75$$

Donde:

PV = Suma de fuerzas verticales

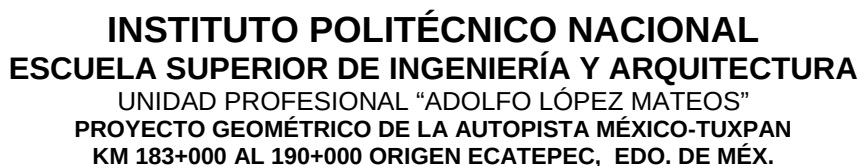
FH = Suma de fuerzas horizontales

u = 0.55 (coeficiente de fricción)

3.- CONSIDERACIONES GEOMETRICAS

El talud del estribo, opuesto al terraplén será como máximo 1:10.

La corona del estribo tendrá un ancho gobernado por el coronamiento del alero y por la altura de aquel; el valor mínimo de dicha corona será de 30 cm. La losa de concreto tendrá como longitud de apoyo sobre el estribo la indicada en el análisis de diseño de losa ó de las tablas, la reacción vertical de la losa se considera actuando a la mitad de dicha longitud.



CALCULO DE UN ESTRIBO PARA LOSA

Datos:

Luz = 3.30 m

$e = 0.33$ m.

$P_z + P'_z = 1.60$ m.

$f_t = 1.5$ Kg/cm²

Corona del camino

= 12.00 m

$d = 0.60$ m

$H = 3.00$ m

$b_2 = 0.80$ m

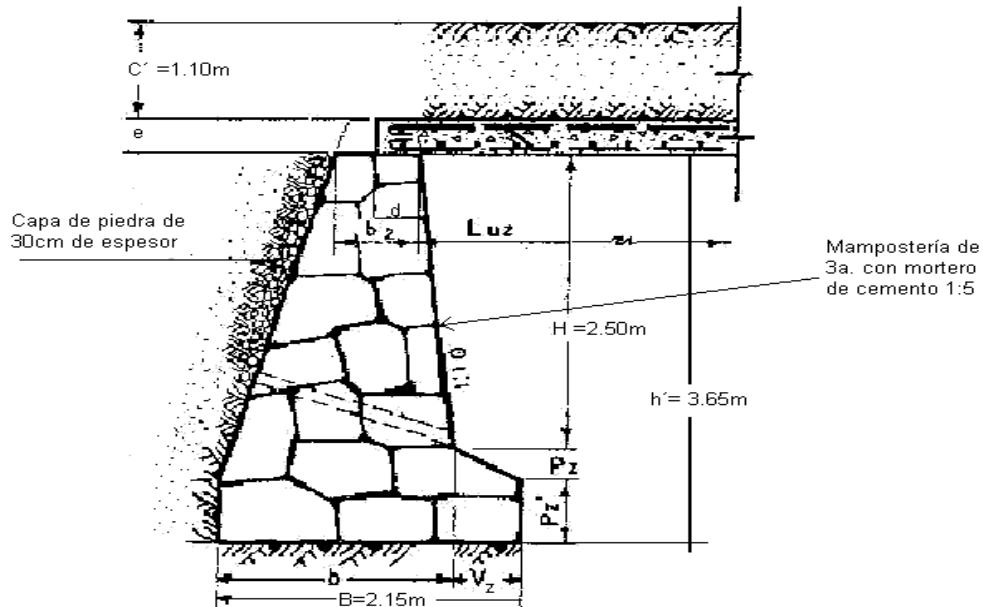


Fig. 5.29. ESPECIFICACIONES DE PUENTES, S.O.P. - 1959

➤ ANÁLISIS DE LA SECCIÓN DE DESPLANTE

1.- Reacción por carga viva: R_{cv}

a).- Número de carriles :

$$N = \frac{\text{Corona} - 0.61}{E} = \frac{12 - 0.61}{3.05} = 3.7 \approx 4 \text{ carriles}$$

E = ancho de la línea de carga

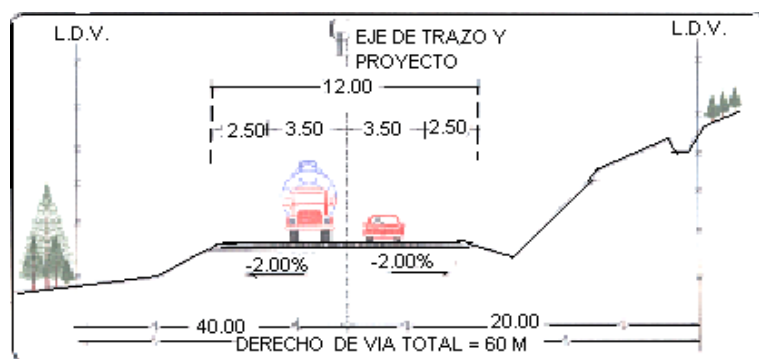
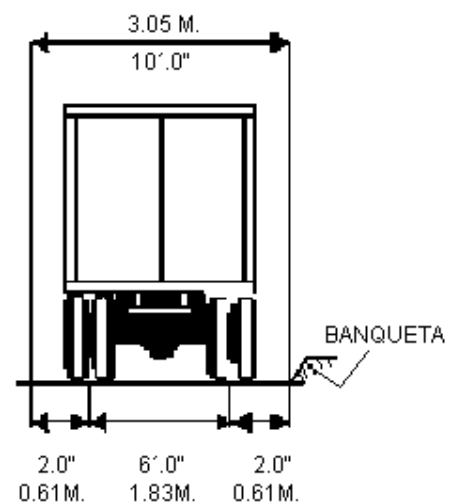
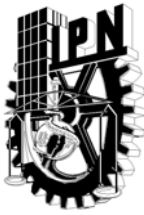


Fig. 5.30





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



b).- Reacción por carril para:

$$l = (\text{Luz} + 2d) \quad \text{y} \quad \text{colchón} = 0.90\text{m}$$

$$l = 3.30 \times (2 \times 0.60) = \mathbf{4.50 \text{ m}} \quad \therefore V_T = \mathbf{10,000.00 \text{ Kg/carril}} \quad (\text{Obtenido de fig. 1})$$

c).- Carga para 4 carriles:

$$P = N^{\circ}_{\text{carriles}} \times V_T$$

$$P = 4 \times 10,000.00 = \mathbf{40,000 \text{ Kg}}$$

d).- Longitud del estribo en que se distribuye la carga (P):

$$L' = 1.75 (H') + (C - 0.61)$$

$$L' = 1.75(4.60 + 0.33 + 0.90) + (12 - 0.61) = 17.22 \text{ m}$$

Donde:

$$H' = h' + e + c'$$

C = corona

$$L'' = C + 0.10 + 3c' = 12 + 0.10 + (3 \times 0.90) = 14.80 \text{ m}$$

$$\text{Eligiendo el valor menor:} \quad \therefore \quad \mathbf{L = 14.80 \text{ m}}$$

e).- Reacción (R_{CV})

$$R_{CV} = \frac{KP}{L}$$

$$R_{CV} = \frac{0.75 \times 40,000}{14.80} = 2,027.03 \text{ Kg/m}$$

Donde:

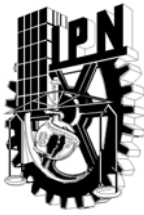
$$K = 0.75 \text{ (Artículo 2.9 – S.O.P. – 1959)}$$

2.- Reacción por carga muerta: R_{CM}

$$P_{p \text{ losa}} = \frac{1}{2} e * l * \phi_v = \frac{1}{2} \times 0.33 \times 4.50 \times 2400 = 1,782.00$$

$$\text{Colchón} = \frac{1}{2} c' * l * \phi_v * 70\% = \frac{1}{2} \times 0.90 \times 1600 \times 4.50 \times 0.70 = 2,268.00$$

$$R_{CM} = \mathbf{4,050.00 \text{ Kg/m}}$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



3.- Reacción total: R_T

$$R_T = R_{CV} + R_{CM}$$

$$R_T = 2027.03 + 4050 = \underline{\underline{6,077.03 \text{ Kg}}}$$

4.- Empuje de tierra (sin considerar carga viva en el respaldo $h_{cv} = 0$)

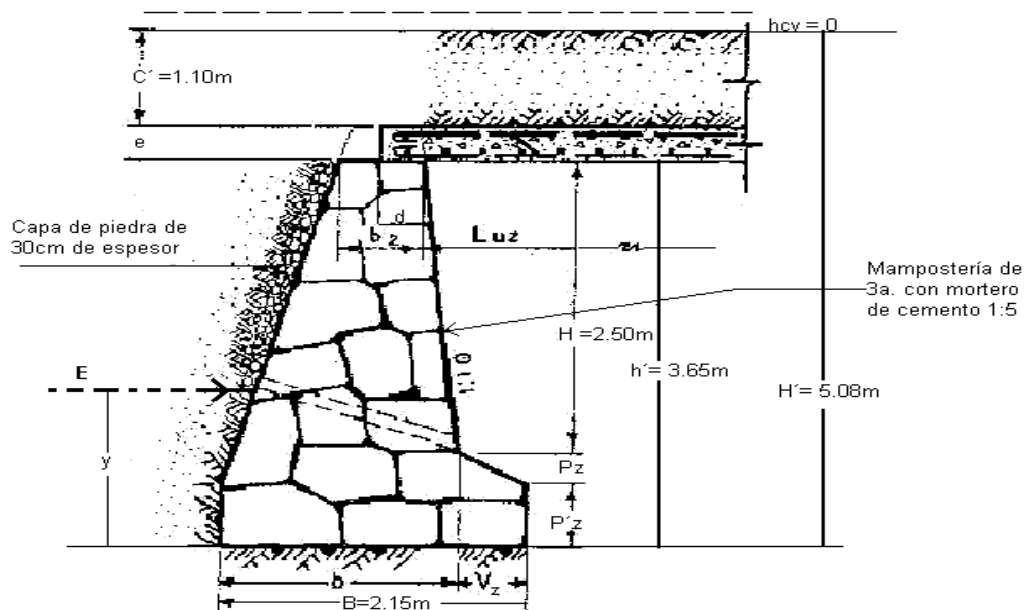


Fig. 5.31

$$E_H = 229h(2'H - h')$$

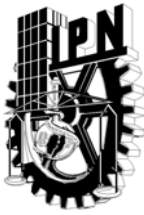
$$E = 229 \times 4.60 [(2 \times 5.83) - 4.60] = \underline{\underline{5901.10 \text{ Kg}}}$$

$$y = \frac{h'^2 + 3h'h''}{3(h + 2'h'')}$$

$$y = \frac{4.60^2 + (3 \times 4.60 \times 1.23)}{3[4.60 + (2 \times 1.23)]} = \frac{38.13}{21.18} = \underline{\underline{1.80 \text{ m}}}$$

Momento horizontal:

$$M_H = E \times y = 5901.10 \times 1.80 = \underline{\underline{10,621.98 \text{ Kg} \cdot \text{m}}}$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



5.- Esfuerzos en el desplante (1ª-combinación)

Carga viva en el respaldo, $hcv = 0$

Reacción total, $R_T = 6077.03 \text{ Kg}$

Tanteo cuando $B = 3.00 \text{ m}$.

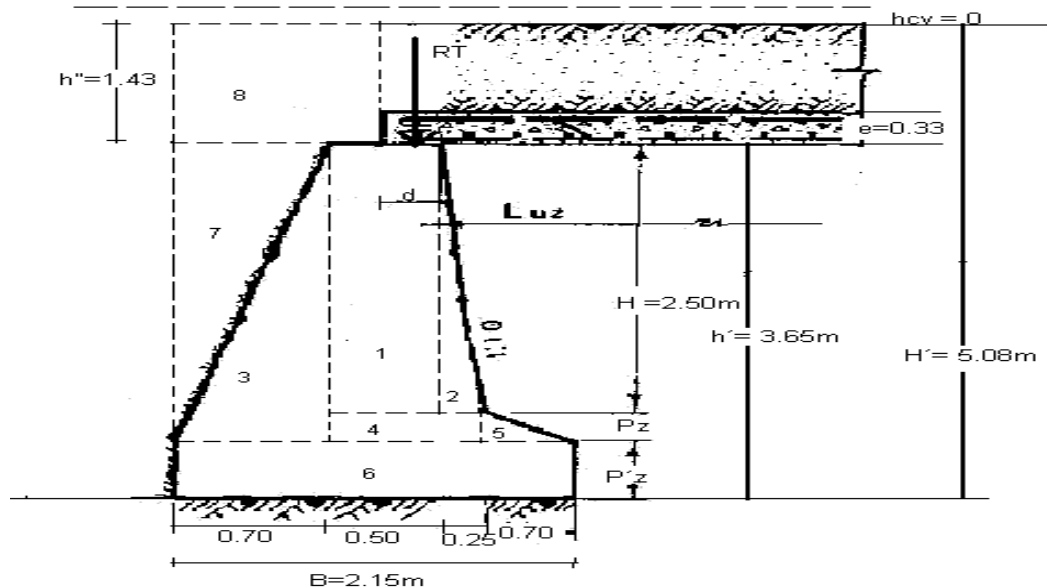


Fig. 5.32

	Fuerza (Kg)	Brazo (m)	Momento (Kg-m)
R_T	6,077.03	1.50	9,115.54
$W_1 = 0.80 \times 3.00 \times 2200$	5,280.00	1.60	8,448.00
$W_2 = \frac{0.30 \times 3.00}{2} \times 2200$	990.00	1.10	1,089.00
$W_3 = \frac{1.00 \times 4.00}{2} \times 2200$	4,400.00	2.33	10,252.00
$W_4 = 1.10 \times 1.00 \times 2200$	2,420.00	1.45	3,509.00
$W_5 = \frac{0.90 \times 1.00}{2} \times 2200$	990.00	0.60	594.00
$W_6 = 3.00 \times 0.60 \times 2200$	3,960.00	1.50	5,940.00
$W_7 = \frac{1.00 \times 4.00}{2} \times 1600$	3,200.00	2.67	8,544.00
$W_8 = 1.20 \times 1.23 \times 1600$	2,361.60	2.40	5,667.84
	$P_V = \Sigma = 29,678.63$		$M_V = \Sigma = 53,159.38$
			$- M_H = 10,621.98$
			$M_R = 42,537.40$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



$$e' = \frac{B}{2} - \frac{M_R}{P_V} = \frac{3.00}{2} - \frac{42,537.40}{29,678.63} = 0.067 \text{ m.}$$

$$f = \frac{P_V}{100 * B} \left(1 \pm \frac{6e'}{B} \right) = \frac{29,678.63}{100 * 300} \left(1 \pm \frac{6 * 6.7}{300} \right) =$$

$$\left. \begin{aligned} f_{\max} &= 0.99 \times 1.134 = 1.12 \text{ Kg/cm}^2 \\ f_{\min} &= 0.99 \times 0.866 = 0.86 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned} \right\} 1.5 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

Coefficientes de seguridad:

a).- Volteo: $C_{VOLT} \geq 1.75$

$$C_{VOLT} = \frac{M_V}{M_H} = \frac{53,159.38}{10,621.98} = 5.00 \geq 1.75 \quad \text{O.K.}$$

b).- Deslizamiento: $C_{DESL} > 1.75$

$$C_{VOLT} = \frac{UP_V}{E_H} = \frac{0.55 * 29,678.63}{5,901.10} = 2.77 > 1.75 \quad \text{O.K.}$$

$U = 0.55$ (coeficiente de fricción)

6.- Esfuerzos en el desplante (2ª. Combinación)

Reacción por carga muerta y carga viva en el respaldo:

Carga viva en el respaldo a una distancia de 5.83 m; desde el nivel de desplante hasta la parte superior del colchón

$$h_{cv(5.83)} = 0.08 \text{ m.} \quad (\text{Obtenido de fig. 3})$$

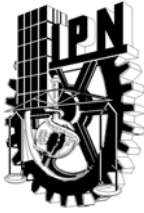
Tanteo cuando que $B = 3.00 \text{ m}$

$$h'' + h_{cv} = 1.23 + 0.08 = 1.31 \text{ m} \quad \therefore H'' = 5.91 \text{ m.}$$

Empuje: E'_H

$$E'_H = 229h'(2H'' - h')$$

$$E'_H = 229 \times 4.60 [(2 \times 5.91) - 4.60] = 7,605.55 \text{ Kg}$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



$$y = \frac{h'^2 + [3h'(h'' + h_{cv})]}{3[h' + 2(h'' + h_{cv})]}$$

$$y = \frac{4.60^2 + (3 * 4.60 * 1.31)}{3[4.60 + (2 * 1.31)]} = \frac{39.24}{21.66} = 1.81 \text{ m}$$

Momento:

$$M'_H = E' \times y' = 7605.55 \times 1.81 = 13,766.05 \text{ Kg-m}$$

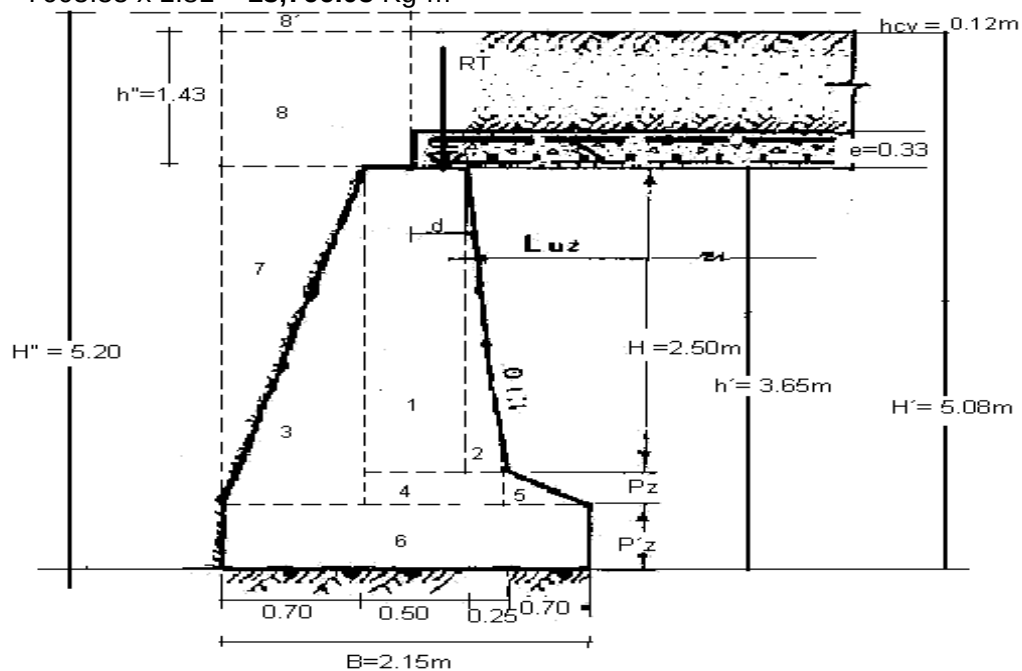


Fig. 5.33

R_T	Fuerza Kg)	Brazo (m)	Momento (Kg-m)
$W_{g'} = 1.20 \times 0.08 \times 1600$	153.60	2.40	368.64
	+ $P_V = 29,678.63$		+ $M_V = 53,159.38$
	- $R_{CV} = 2,027.03$	1.50	- $MR_{CV} = 3,040.55$
	$P_V = \Sigma = 27,805.20$		$M'_V = \Sigma = 50,487.47$
			- $M'_H = 13,766.05$
			$M'_R = 36,721.42$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



$$e' = \frac{B}{2} - \frac{M'_R}{P'_V} = \frac{3.00}{2} - \frac{36,721.42}{27,805.20} = 0.18 \text{ m.}$$

$$f = \frac{P'_V}{100 * B} \left(1 \pm \frac{6e'}{B} \right) = \frac{27,805.20}{100 * 300} \left(1 \pm \frac{6 * 0.18}{300} \right) =$$

$$\left. \begin{array}{l} f_{\max} = 0.93 \times 1.36 = 1.26 \text{ Kg/cm}^2 \\ f_{\min} = 0.93 \times 0.64 = 0.60 \text{ Kg/cm}^2 \end{array} \right\} 1.5 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

Coeficientes de seguridad:

c).- Volteo: $C_{\text{VOLT}} \geq 1.75$

$$C_{\text{VOLT}} = \frac{M'_V}{M'_H} = \frac{50,487.47}{13,766.05} = 3.67 \geq 1.75 \quad \text{O.K.}$$

d).- Deslizamiento: $C_{\text{DESL}} > 1.75$

$$C_{\text{VOLT}} = \frac{UP'_V}{E'_H} = \frac{0.55 * 27,805.20}{7,605.55} = 2.01 > 1.75 \quad \text{O.K.}$$

$U = 0.55$ (coeficiente de fricción)

7.- Revisión al escalón:

Datos:

$$Pz + P'z = 1.60 \text{ m}$$

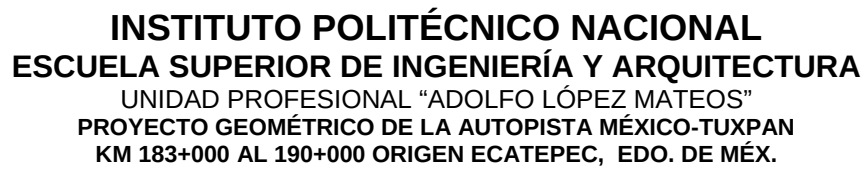
$$ft = 1.5 \text{ Kg / cm}^2$$

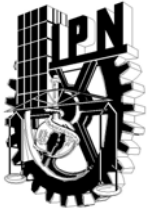
Del diagrama de la **fig. 2**, proporciona el volado máximo para los datos señalados:

$$Vz = 0.83 \text{ m} \leq Vz = 0.90 \text{ m} \quad \text{O.K.}$$

8.- Análisis de la sección de quiebre:

$$h_{CV(4.23)} = 0.15 \text{ m. (fig.3)}$$





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Esfuerzos en la sección de quiebre:

	Fuerza Kg)	Brazo (m)	Momento (Kg-m)
R _{CM}	4,050.00	0.60	2,430.00
W ₁ = 0.80 x 3.00 x 2200	5,280.00	0.70	3,696.00
W ₂ = $\frac{0.30 \times 3.00}{2} \times 2200$	990.00	0.20	198.00
W ₃ = $\frac{0.75 \times 3.00}{2} \times 2200$	2,475.00	1.35	3,341.25
W ₄ = $\frac{0.75 \times 3.00}{2} \times 1600$	1,800.00	1.60	2,880.00
W ₅ = 0.95 x 1.38 x 1600	2,097.60	1.375	2,884.20
	P_{VI} = Σ = 16,692.60		M_{VI} = Σ = 15,429.45
			- M_{HI} = 4,906.83
			M_{RI} = 10,522.62

$$e'_i = \frac{B}{2} - \frac{M_{Ri}}{P_{Vi}} = \frac{1.85}{2} - \frac{10,522.62}{16,692.60} = 0.30 \text{ m.}$$

$$f = \frac{P_V}{100 \times B_i} \left(1 \pm \frac{6e'_i}{B_i} \right) = \frac{16,692.60}{100 \times 185} \left(1 \pm \frac{6 \times 0.30}{185} \right) =$$

$$f_{\max} = 0.90 \times 1.97 = 1.77 \text{ Kg/cm}^2 < 10.0 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{O.K}$$

$$f_{\min} = 0.90 \times 0.027 = 0.024 \text{ Kg/cm}^2 < 0.50 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{O.K}$$



5.8 SUBDRENAJE

5.8.1 AGUA SUBTERRÁNEA

Para poder dar soluciones adecuadas en cuanto al subdrenaje debemos tener conocimientos generales sobre el comportamiento que se presenta el agua en el subsuelo, así como de su origen. De esta manera tenemos que el agua que se encuentra en el subsuelo tiene uno de los tres orígenes siguientes:

- 1.- Agua meteórica en forma de lluvia o nieve
- 2.- Agua de formación se encuentra en los espacios entre los sedimentos que quedaron en el fondo de los océanos y lagos; esta agua es salada.
- 3.- Agua magmática o juvenil, producto de la actividad volcánica o de la condensación de vapores.

AGUA SUBTERRÁNEA EN DIVERSAS FORMAS

En la figura anterior se observa que el agua subterránea en su mayoría se almacena en los vacíos existentes del suelo o cavidades, fracturas o fallas de rocas; también pueden formar ríos o lagos subterráneos. Existen varios factores por los que influyen en la manera en la que el agua se infiltra al subsuelo, dichos factores son:

- Cantidad de precipitación.
- Ritmo de precipitación.- cuando más rápido cae la lluvia, menos agua penetra ya que se satura la superficie del terreno impidiendo la infiltración.
- Declive superficial.- la infiltración es mayor en terrenos planos pues en estos se tienen velocidades de escurrimiento superficial menor.
- La porosidad de suelos y rocas.
- La permeabilidad de suelos y rocas, una formación muy porosa no es muy permeable, se tiene el ejemplo de la arcilla es muy porosa pero poco permeable.
- La estructuración de rocas y suelos. (facturación, estratigrafía, secuencia de los estratos permeables y los impermeables).
- Cantidad y tipo de vegetación.
- Humedad atmosférica: si la humedad es baja, gran parte del agua caída se evapora antes de penetrar al suelo.

5.9 DRENAJE SUBTERRÁNEO ⁽⁹⁾

Como el tramo en estudio no presentó problemas de subdrenaje, solo haremos mención de las diferentes formas de desalojar o de impedir que el agua subterránea llegue a una estructura de algún camino.

El agua que se precipita en la tierra se puede dividir en dos términos principales. El primero corresponde al agua que escurre sobre la corteza terrestre, el segundo corresponde a la parte de esa agua se infiltra a través de las capas superficiales del terreno para formar parte de la provisión de agua subterránea, ya sea en sus dos formas estancada o corriente. Es sabido que la resistencia de los suelos disminuye si se presenta un exceso de humedad. Se da el caso cuando el agua se encuentra o cruza un camino y

(8) Manual de drenaje de caminos



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



humece excesivamente las terracerías que forman este, provocando que su resistencia disminuya originando su destrucción. En los caminos el exceso de agua subterránea origina baches, lodazales, grietas peligrosas, ondulaciones del pavimento, deslaves, desprendimiento de tierra y otros trastornos. Para evitar este tipo de fallas el drenaje subterráneo debe proporcionar conductos adecuados para controlar el escurrimiento de agua rápidamente.

Por sus características se puede comparar el drenaje subterráneo, con el drenaje superficial, debido a que las capas impermeables forman canales definidos ó vasos de almacenamiento subterráneos, como los que se forman en la superficie del terreno. Este tipo de drenaje debe dársele toda la importancia que merece, ya que de él dependen aspectos como son: La seguridad, estabilidad y conservación del camino, y así evitar daños mencionados en párrafos anteriores.

El agua se infiltra hasta que alcanza el manto freático o alguna capa impermeable, o bien permanece allí o comienza a fluir lateralmente a algún lugar mas bajo buscando una salida. Esa salida puede ser una zanja o un canal, o bien, algún conducto subterráneo (por ejemplo un tubo).

Las figuras que a continuación se muestran se observan varias formas de encontrar el manto freático.

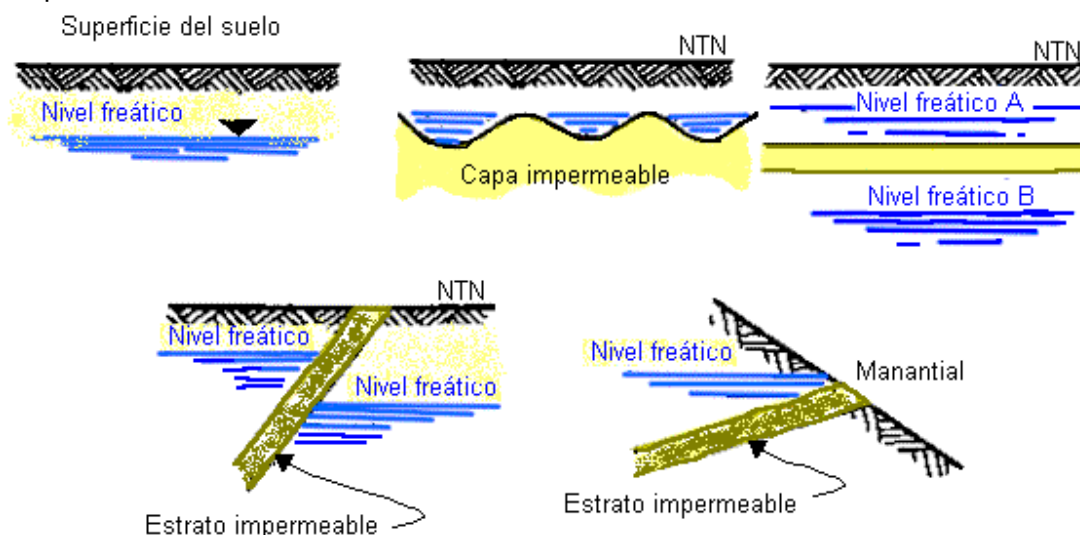


Fig. 5.35. <http://www.carreteros.org>

Contamos con dos alternativas para asegurar la estabilidad en caminos; amacizar el cimiento o su base, o bien hacer que los cimientos del camino sean de material permeable.

Si la solución es colocar drenes el espaciamiento y profundidad de los drenes subterráneos es de vital importancia. Respecto al espaciamiento cabe decir que, mientras más se coloquen mas bajara el nivel freático entre ellos. (Fig. 5.36)

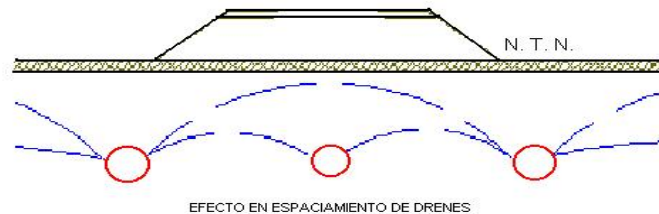


Fig. 5.36

Conforme aumenta el tamaño de los poros o huecos del suelo, crece también la velocidad del agua que pasa por ellos. En otras palabras, el agua subterránea pasa por suelos arenosos mucho más fácilmente que por suelos arcillosos. (Fig. 5.37).

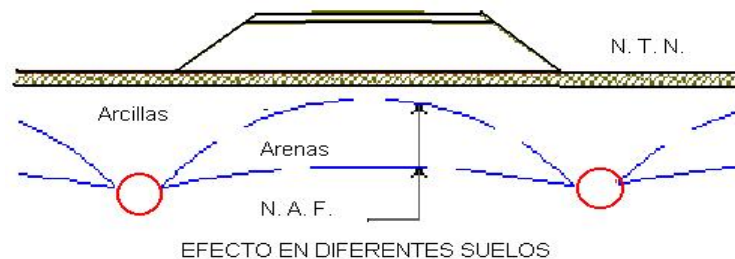


Fig. 5.37

Los conductos de subdrenaje deben colocarse más cercanos en suelos de textura cerrada y compacta que en suelos de textura abierta para que el nivel freático baje con igual rapidez en todos ellos. En un suelo subdrenado los huecos o poros se hacen cada vez más grandes y por lo tanto los canales subterráneos por donde el agua reconoce el dren se hacen más eficientes y definidos con el transcurso del tiempo. Por consiguiente el efecto benéfico del subdrenaje puede acentuarse al cabo de varios años de hecha la instalación. En la fig. 5.38 se observa como influye la colocación a diferentes profundidades para controlar el nivel freático; así como es el comportamiento del nivel freático en varias fases ya sea en su nivel normal o cuando se presentan lluvias.

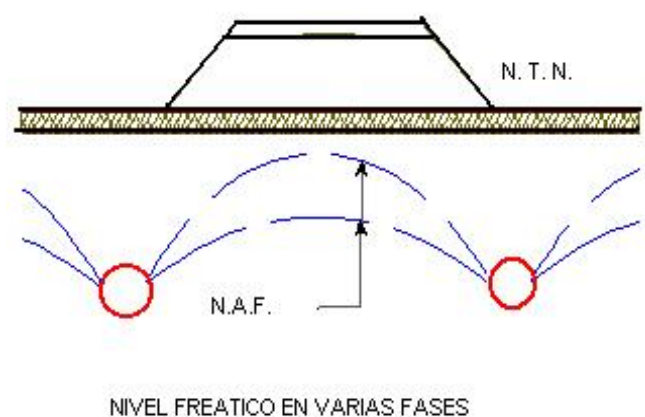
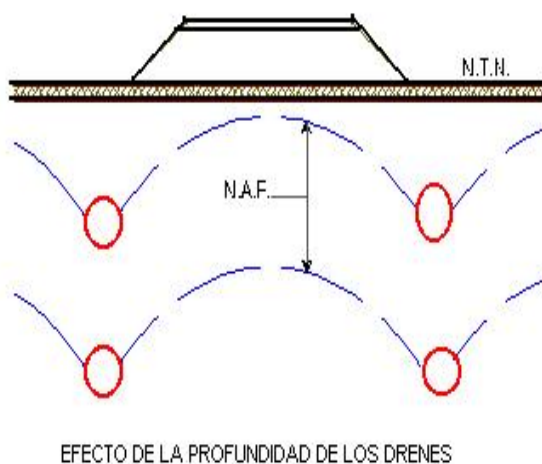


Fig. 5.38

5.10 PROBLEMAS DEL SUBDRENAJE

Si una base se puede conservar continuamente seca a una profundidad adecuada, no habrá asentamientos desiguales debidos a la falta de apoyo del terreno producida por el reblandecimiento que le ocasionaría el agua, y por lo tanto no habrá daños al pavimento resultantes del impacto de los vehículos.

La manera fundamentalmente adecuada de estabilizar la base es mediante el subdrenaje.

La estabilidad de la base presenta dos requisitos de drenaje: El primero es el drenaje para controlar el ascenso capilar, este drenaje consiste en remover el agua libre con lo cual se controla el máximo ascenso del agua capilar. (fig. 5.39)

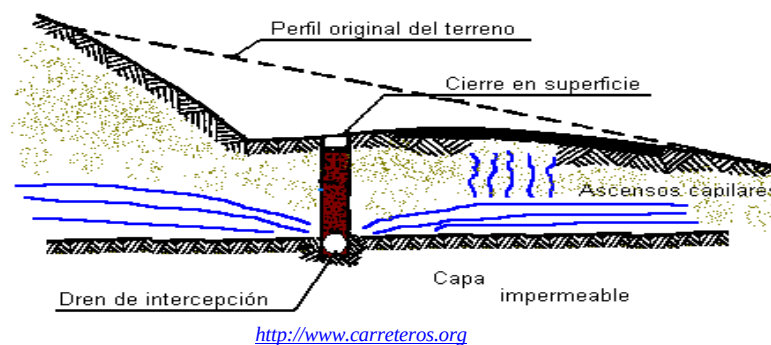


Fig. 5.39 DRENAJE CONTROLADOR DE ASCENSOS CAPILARES.

El segundo se puede clasificar como drenaje interceptor y de desalojamiento, para impedir que el agua libre entre a la base y para remover el agua que haya llegado a ella. (fig.5.40) <http://www.carreteros.org>

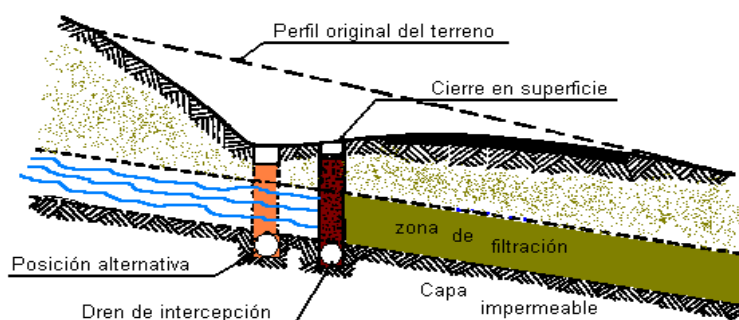


Fig. 5.40 Drenaje interceptor y de desalojamiento de escurrimientos.



5.11 DRENAJE SIN OBRAS AUXILIARES

Lo primero que se drena en un camino son las terracerías, revestimientos y pavimentos, realizándose por medio de los siguientes métodos, los cuales no ocupan de obras auxiliares:

ESTABILIZACIÓN DE LA BASE

La estabilización se realiza por medio de tres métodos en los cuales no se ocupa construir ningún tipo de obra, los materiales utilizados por lo general se ocupan materiales localizados en la zona o cerca de ella, por ejemplo si la base del camino esta sobre una capa de arena o grava y si estas le pueden, por suposición, dar salida a el agua de infiltración, en este caso no son necesarias obras de drenaje especial.

Movimiento y sustitución del terreno: existen lugares donde es necesario remover el terreno hasta llegar a una cimentación sólida, se debe remplazar la base si resulta más económico que el drenaje artificial o cualquier otro medio de estabilización. (fig. 5.41).



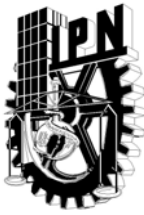
Fig. 5.41

Base porosa: en los casos que no se pueda drenar el agua subterránea se deberán construir bases con materiales como grava, piedras, arena, cenizas volcánicas, o cualquier material poroso. La construcción de esta capa ayuda a distribuir las cargas del tráfico que recibe el pavimento o revestimiento. Otro objetivo de esta capa es el de interceptar y dar salida al agua que se infiltre. Son recomendados espesores de 8 a 10cm. aunque se pueden tener hasta 60cm. (fig.5.42).



Fig. 5.42

Mezclas en el suelo: se puede incrementar la solidez a la subrasante impermeabilizándola mezclándole materiales bituminosos (asfalto, alquitrán, petróleo) cemento Pórtland o sales, con la finalidad de proporcionar mayor cohesión dando como consecuencia una mayor estabilidad a la subrasante.



ESTABILIZACIÓN DEL CIMIENTO DE UN CAMINO.

Los suelos formados por gravas, arenas o arcillas que nos sirven de cimientos presentan una buena resistencia cuando están bien drenados, y solo en algunos se requiere que se estabilicen agregando materiales que se tengan cerca. Como las condiciones van cambiando a lo largo del camino se debe procurar obtener una resistencia uniforme para tener un comportamiento igual a lo largo del camino. Si se presenta una altura menor de 60cm entre la rasante del camino y su base se deberá tener cuidado y tomar precauciones necesarias. Dichas precauciones pueden ser:

Base de piedra quebrada o grava: al utilizar una base de estos materiales se deberá tener en la superficie superior de la base una pendiente lateral de 4 a 8 %. Se recomienda construir una base de grava adelgazada en su parte central y engrosada en los lados con un espesor de 15cm. recibiendo el nombre de "base en borde o de pluma" ya que esta presenta un comportamiento igual en comparación con las construidas en cajón cortado en el suelo con un espesor de 25cm.(fig.5.43)

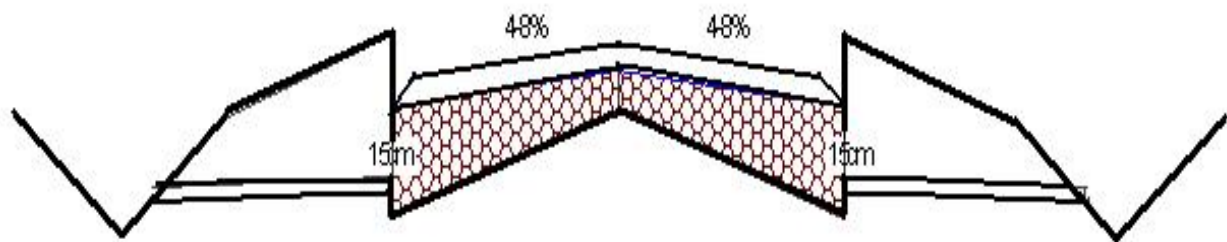


Fig. 5.43

Base con dren en v: este tipo de dren se construye en sitios donde abundan piedras y con bajos costos, este tipo de dren es muy efectivo construyéndolo en forma adecuada y tiene la ventaja de que forma un cimiento pavimento del camino.

El dren en v se forma excavando hasta lograr que su sección transversal tenga la forma de una v aplastada. Posteriormente se rellena esa excavación con piedras de todos los tamaños que varían de 15 a 20 cm, de diámetro, hasta grava de 2 cm de diámetro, colocando las piedras más grandes en el centro y en la parte mas baja, mientras que las pequeñas se colocan arriba y en los lados cerca de los bordes, ya que están colocadas se procede a compactar recomendándose una aplanadora de 10ton. sin llegar a llenar los huecos entre las piedras que se encuentran en la parte inferior. Tanto en cortes como en terraplenes los espesores del dren serán de 30 a 45cm en la parte central y de 10 a 15cm en los extremos. La salida del agua en un dren en v se realiza por medio de conductos colocados en los puntos bajos del perfil longitudinal del camino, los cuales sirven de alcantarilla para sacar el agua debajo del camino procurando colocar un número apropiado de salidas y a si garantizar su efectividad.

Las salidas inician el punto mas bajo de la v y pueden ser de tubo de barro que desfogue en una alcantarilla o dren transversal, o también pueden construirse zanjas rellenas con el material que forma el dren en v iniciando en el punto mas bajo de la v y desfogando a cualquier punto de menor elevación fuera de el.



5.12 DRENAJE CON OBRAS AUXILIARES

En los lugares en donde se presenten condiciones necesarias para que haya presiones y capilaridades altas, existe la posibilidad de que se destruya o presente una mala estabilidad el lecho del camino, en estos casos se deba realizar obras auxiliares de subdrenaje. Como las obras de drenaje subterráneo son las mismas que las de drenaje superficial (obras de captación y defensa y obras de cruce), se realizan los mismos estudios para cada obra de drenaje subterráneo, aunque ya se mencionaron en capítulos anteriores, estos estudios son:

Localización, área hidráulica, forma, pendiente y elevación; longitud de la estructura, tipo económico y proyecto constructivo.

Los fines principales de las obras de drenaje subterráneo son controlar el agua capilar y eliminar el agua subterránea.

REGULACIÓN DEL AGUA CAPILAR

En todos los tramos del camino que presenten efectos de capilaridad se debe conservar el nivel freático a profundidades adecuadas para impedir que se tengan ascensos capilares que dañe a este. En caminos con acotamientos angostos los drenes que se colocan para regular la capilaridad pueden servir para controlar el agua superficial. En este caso se tendrá que colocar un dren de tubo en una cepa de poca profundidad la cual se tapa con una capa impermeable colocada sobre un relleno de material permeable y poniendo intervalos pozos de entrada de agua superficial al tubo.

A estas zanjas se les coloca en la parte superior una capa impermeable que impide que se atasque el terreno permeable con los arrastres deslavados de los taludes del camino. Cuando el camino tiene acotamientos amplios, no se recomienda combinar el drenaje superficial con el subterráneo, la razón es que un subdren colocado muy lejos de la orilla del camino no bajara el nivel hidrostático bajo el pavimento tan eficientemente como lo haría si se colocara cerca. (fig.5.44)

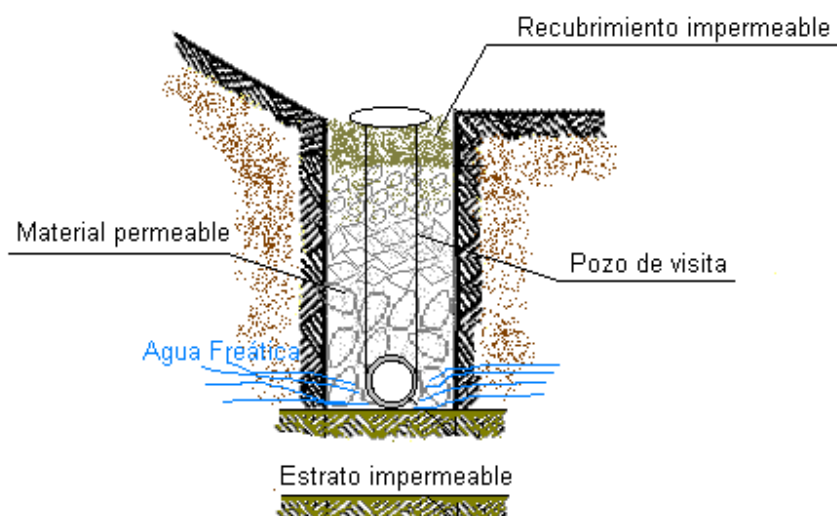


Fig. 5.44 <http://www.carreteras.org>

5.13 DRENAJE INTERCEPTOR DE ESCURRIMIENTO

El propósito de este tipo de drenaje es, interceptar y recolectar el agua que llega al camino lateralmente. El agua baja verticalmente al relleno permeable de la cepa hasta llegar al fondo, y entra después al tubo. La colocación del tubo se deberá realizar dentro de la zona impermeable, en terrenos blandos se colocará material permeable bajo el tubo para evitar la entrada de material del deleznable o lodo al tubo tapando las entradas o agujeros del mismo.

Se recomienda colocar un relleno permeable relativamente fino y graduado, ya que: en los casos en que entra al dren un volumen considerable de agua, esta puede erosionar los lados de la cepa deslavándose el suelo alrededor del tubo. Un relleno permeable graduado disminuye la velocidad del agua y por lo tanto la erosión. También se tendrá que colocar un cierre de la cepa en su parte superior con material impermeable para impedir la entrada del agua superficial que pueda arrastrar material que pueda obstruir el relleno permeable. El material usado para este cierre puede ser arcilla o una mezcla artificial en la que se usa asfalto o una sustancia semejante para obtener la impermeabilidad. (fig.5.45)

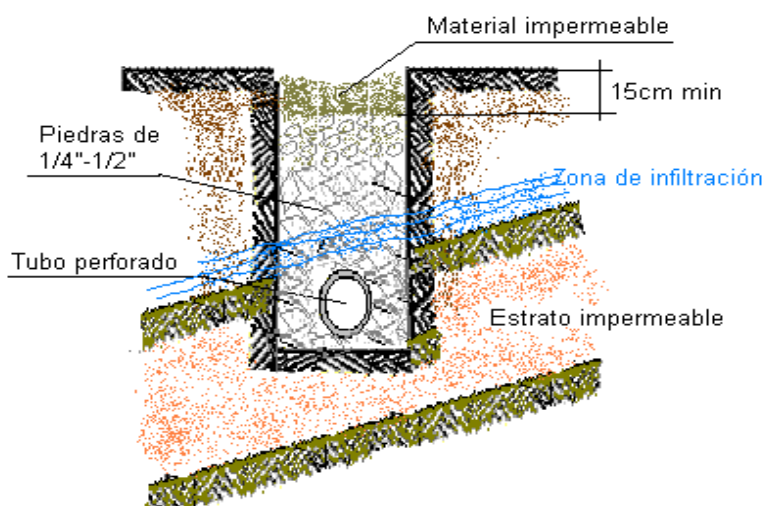
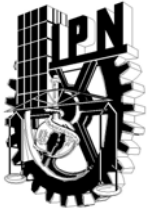


Fig. 5.45

5.14 METODOS DE SUBDRENAJE

ZANJAS

Este tipo de subdrenaje se usa en los caminos construidos en zonas bajas y planas. Su localización se realiza de manera paralela al camino y a unos cuantos metros fuera, aunque su función principal es para drenaje superficial, tienen un buen funcionamiento como subdrenaje. La sección transversal de las zanjas puede variar, desde los 60 cm. de ancho en la base y de 90 a 120 cm de profundidad que son las dimensiones mas comunes, también se construyen de forma trapecial de paredes inclinadas. Para incrementar su efectividad, las zanjas deben ser suficientemente profundas para llegar más abajo de la máxima altura deseable del nivel freático.



Su efectividad es en un tiempo corto pues se obstruye por los derrumbes de sus paredes y por el crecimiento de plantas, incrementando el costo de mantenimiento a la larga, por eso no se consideran económicas. (fig. 5.46).

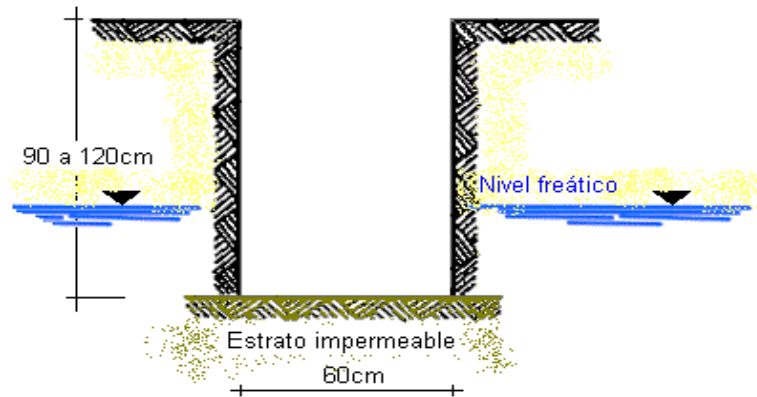


Fig. 5.46

DRENES CIEGOS

Es recomendable colocar un solo dren en el centro del camino a profundidad suficiente para hacer que el nivel freático baje en las orillas del camino, y cubrir después la cepa con el material de revestimiento. De esta manera es mínima la cantidad de agua de lluvia que se puede infiltrar, y además no arrastra lodo.

Los drenes ciegos son zanjas rellenas de piedra quebrada ó grava. Estos drenes han sido muy empleados, y cuando se les ha construido en forma correcta, han dado resultados satisfactorios durante mucho tiempo.

Debe tener cuidado en su construcción, pues si son mal contruidos captaran y retendrán el agua donde se desea eliminarla, debe tenerse cuidado en graduar el material con que se rellena a la zanja, ya que existe una marcada tendencia, en todos los aguaceros fuertes a que las cepas rellenas de piedra se inunden de agua cargada de lodo y que se azolven. (fig. 5.47)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

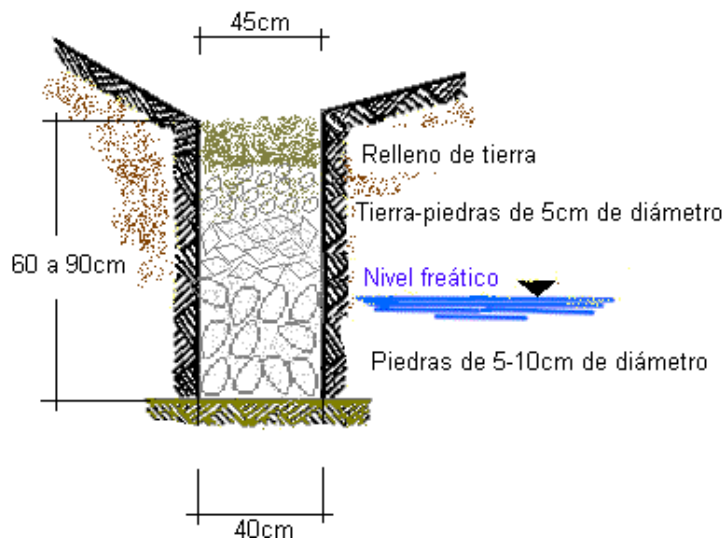


Fig. 5.47

<http://www.carreteros.org>

REQUISITOS DE LOS TUBOS PARA SUBDRENAJE

GENERALIDADES

Todo tubo que se ocupe para subdrenaje debe cumplir con los siguientes requisitos para que funcione efectivamente durante un largo periodo.

Condiciones mecánicas

Aplastamiento.- como los subdrenes se colocan dentro de los límites del tránsito, se tendrán que usar tubos que no se rompan, pues se corre el riesgo de que un tubo roto o agrietado puede hechar a perder todo un sistema de drenaje. Cuando los tubos se coloquen en la vertical de las cargas del tráfico, se situarán a profundidades mínimas que se muestran en la tabla siguiente:

Tipo de tubo	Profundidad mínima	
	H=15 cm.	H=30 cm.
Barro	50	90
Plástico	50	75
Concreto	50	75
Concreto armado	.	60
Lámina corrugada:	.	.
Espesor 1,37 mm	30	.
Espesor 1,58 mm	.	30



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Flexión.- la mayoría de los subdrenes son colocados en una cimentación mojada o inestable. Se colocara un tubo con juntas apropiadas para salvar las desigualdades de la plantilla de la cepa.

Presión hidráulica.- se deberán presentar juntas fuertemente conectadas para evitar en lo máximo filtraciones que provoquen socavaciones.

Capacidad de infiltración.- solo para tubos perforados ya que este tipo están diseñados para permitir infiltraciones y las perforaciones se localizan de manera que impidan la entrada de lodo y material de relleno.

Durabilidad.- tendrán que presentar una resistencia estructural, pues esta les da mayor durabilidad. Los materiales de los que este construido el tubo deberán resistir la desintegración, corrosión y erosión.

Materiales.- Los tubos serán de cualquier material que a juicio del proyectista, reúna las propiedades mencionadas.

Perforaciones y Juntas.- En las tuberías con juntas abiertas, el ancho de estas oscilará entre 1 cm y 2 cm. Los orificios de las tuberías perforadas se dispondrán, preferentemente, en la mitad inferior de la superficie del tubo y tendrán un diámetro entre 8 mm y 10 mm. (fig. 5.50)

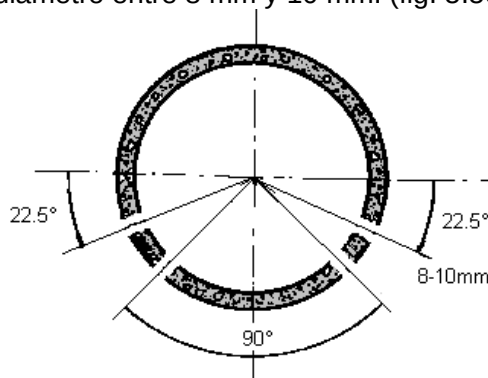


Fig. 5.48

<http://www.carreteros.org>

En la figura 5.51 se indica la disposición que deben tener los orificios de tuberías perforadas en la mitad inferior del tubo.

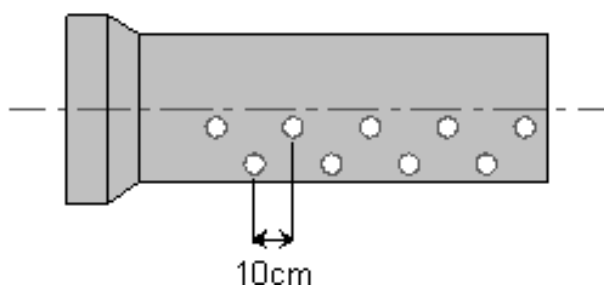


Fig. 5.49

<http://www.carreteros.org>

Condiciones Hidráulicas.- Normalmente la capacidad hidráulica de éstos se proyecta muy superior a la necesaria para las exigencias del drenaje. (fig. 5.50)

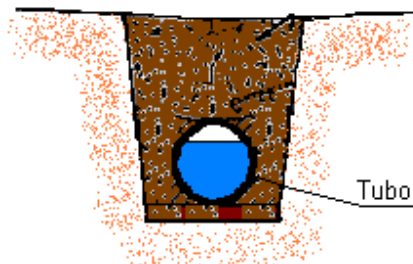


Fig. 5.50

<http://www.carreteros.org>

Para determinar el caudal de desagüe, puede hacerse el cálculo hidráulico de los tubos utilizando la fórmula de Manning u otra análoga de las que rigen el movimiento del agua en cauces abiertos.

Diámetros y Pendientes.- Los diámetros de los tubos oscilan generalmente entre 10 cm y 30 cm. Los diámetros hasta 20 cm serán suficientes para longitudes inferiores a 120 m. Para longitudes mayores, se aumentará la sección. Los diámetros menores, sin bajar de 10 cm, se utilizarán con caudales y pendientes pequeños.

Las pendientes longitudinales no deben ser inferiores al 0,5 % y habrá de justificarse debidamente la necesidad de pendientes menores, que nunca serán inferiores al 0,2 %. En tales casos, la tubería se asentará sobre una plantilla de concreto que permita asegurar la perfecta situación del tubo. (fig. 5.51)

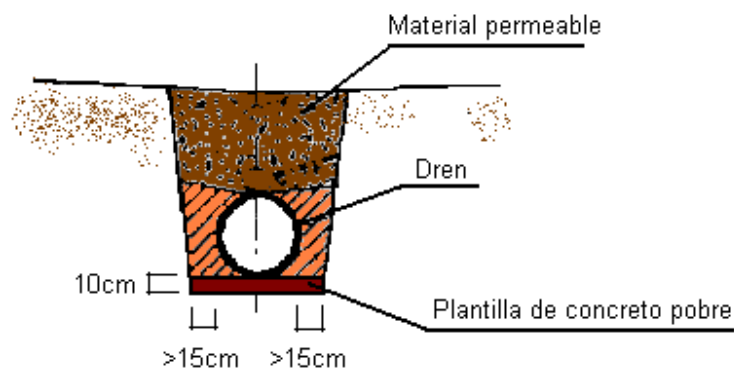


Fig. 5.51. <http://www.carreteros.org>

Velocidad.- La velocidad del agua en los drenes estará comprendida entre 0,7 m/s y 4 m/s.

Registros y desarenadores.- En los drenes longitudinales se proyectarán, a distancias regulares, registros que permitan controlar el buen funcionamiento del drenaje y sirvan para evacuar el agua recogida por la tubería del dren a una cuneta o a cualquier dispositivo de desagüe. Deberán colocarse registros en todos los cambios de alineación de la tubería de drenaje.

La distancia entre registros oscilará entre 50 m y 100 m. esta distancia dependerá de la pendiente longitudinal del tubo y de su capacidad de desagüe, de la disposición general del drenaje y de los elementos naturales existentes. (fig. 5.52)

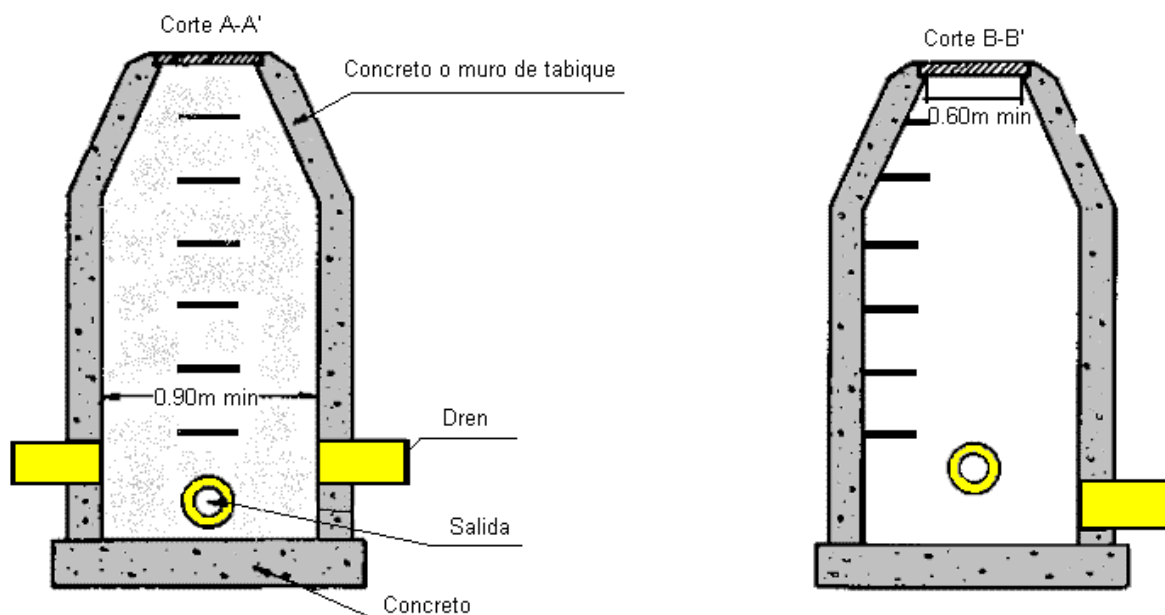


Fig. 5.52

<http://www.carreteros.org>

Cepas y rellenos.- El espesor que se coloca en la cepa alrededor del tubo puede variar dependiendo de las propiedades del suelo y de la altura del nivel freático, variando desde 1/4" a 1/2" de diámetro en un espesor de 15cm arriba del tubo a partir de esta se colocará material de mayores diámetros. Las cepas generalmente tienen un ancho de 40 a 50cm. que es la distancia mínima para poder realizar maniobras.

Desfogues.- En el caso de salida libre de la tubería de desagüe del registro a una cuneta o a cualquier elemento de desagüe se cuidará que el nivel de la salida quede lo suficientemente alto y con las protecciones necesarias para impedir su asolvamiento, inundación, entrada de animales, etc.

Tendido de los tubos.- Al tender el tubo debe comenzarse el trabajo en el extremo inferior del dren y seguirá hacia arriba; con el objeto de que la cepa este drenada, desde su construcción. Para controlar la pendiente se colocaran estacas, espaciadas a cada 15 m. A 20 m. colocadas alejadas de la línea de trabajo, para que no sean movidas durante la excavación de las cepas. Tan pronto como se coloca el tubo debe cubrirse cuidadosamente con una capa de 10 a 15 cm. de tierra suelta para conservar las diferentes secciones en su lugar y para evitar que se desalojen los pedazos de tubo usados para cubrir las juntas. (fig. 5.53)

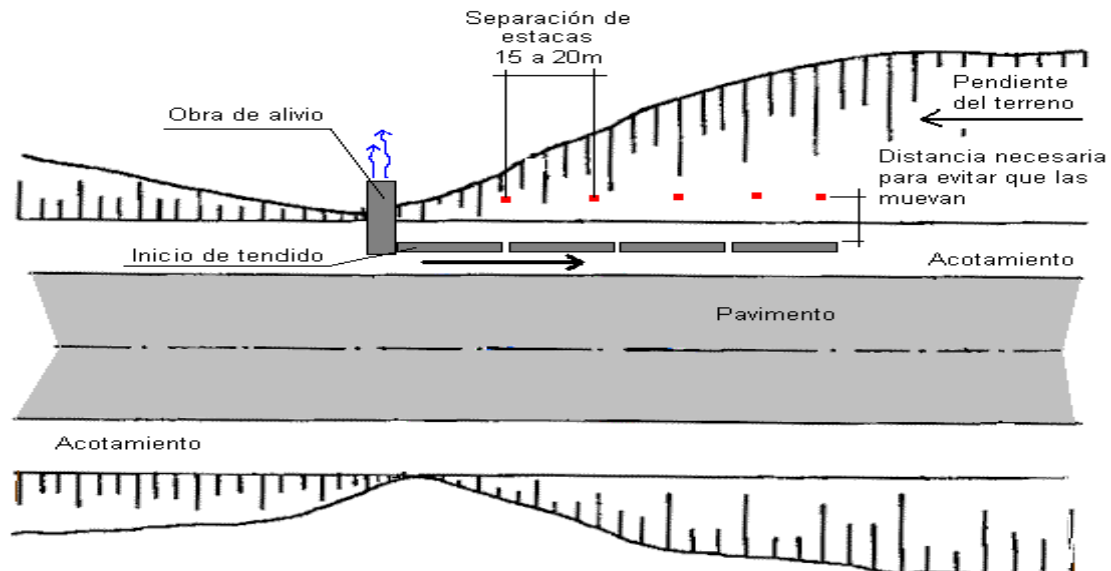


Fig. 5.53

DRENES CON TUBO DE BARRO Y DE CONCRETO

Para subdrenar caminos los drenes con tubo de barro o de concreto son mas recomendados que las zanjas abiertas y los drenes ciegos, con una desventaja los tubos son más costosos. Este tipo de drenes también se les conoce con el nombre de "dren francés". (Fig. 5.54)

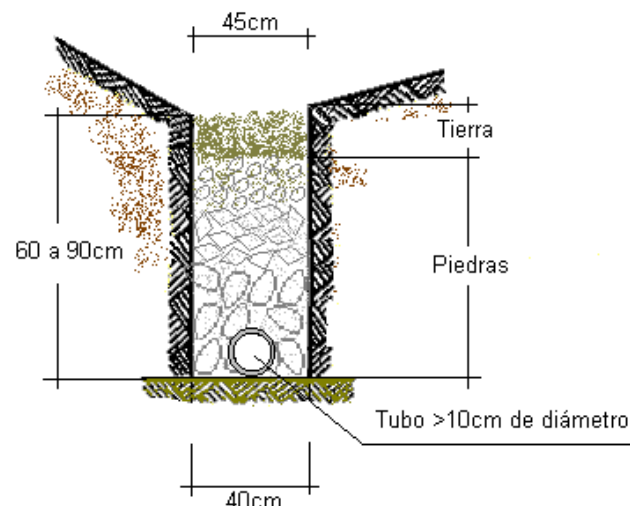


Fig. 5.54

<http://www.carreteros.org>

El tamaño adecuado de los tubos en un lugar dado depende del carácter del terreno por drenar, de la clase de tubo, de la altura de precipitación y de la pendiente de tubería; teóricamente la diferencia entre precipitación y escurrimiento es la cantidad de agua que llega al tubo, existen datos que a través de observaciones se han obtenido y que se pueden tomar como bases:



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Para determinar el área que un tubo dado drenará, es necesario saber hasta qué distancia a cada lado del tubo éste influencia para abatir el nivel freático. Como datos prácticos un dren colocado a una profundidad de 1.20m o de 1.50m la distancia de influencia es de 30m a cada lado del tubo, en terrenos con arcillas compactas se reduce de 6 a 9m a cada lado con una profundidad de 70cm a 90cm y en terrenos muy sueltos es de 60m a cada lado con una profundidad de 0.90m a 1.20m; en general se puede tomar como dato que la zona drenada abarcará 15m de ancho, teniendo en cuenta que estas distancias varían dependiendo de la profundidad del tubo. Los tubos utilizados no deberán ser menores a 4" de diámetro, ya que diámetros menores son fáciles de azolvar, de acuerdo a estudios que se han realizado se llega a la conclusión de que un tubo de 4" es suficiente para drenar, y solo en casos muy especiales se llega a requerir un tubo de diámetro de 6".

El tubo de barro sin machifembré es el mas utilizado para drenar caminos, debe colocarse un lado del camino, donde no este sujeto a pesadas cargas.

DRENES DE TUBO DE LÁMINA CORRUGADA ⁽⁹⁾

A los tubos corrugados se le han hecho perforaciones (ver fig. en capítulo "requisitos de tubos") que le permiten en todo lo largo del tubo captar el agua, estas perforaciones al colocar el tubo deberán quedar en la parte inferior, esto se realiza por que se impide la entrada de sólidos (arena, lodo y gravilla); además colocado así disminuye más el nivel freático.

Debe impedirse que los drenes se azolven ya que se ha observado que los azolves son una causa principal de falla en estos, por eso se han realizado experimentos en los que intervienen aspectos como velocidad, dimensiones de materiales, tirantes, gastos y pendientes, dando como resultados las siguientes tablas:

Velocidades necesarias para mover diferentes materiales (experimentos de Du Buat)

MATERIAL	Ø APROX (mm)	VEL. DEL FONDO m/seg.	VEL. MEDIA m/seg.
Arcilla	---	0.09	0.12
Arena	0.8	0.12	0.15
Gravilla	7.0	0.18	0.24
Grava fina	10.0	0.37	0.49
Grava común	25.0	0.76	1.00
Piedras angulares	38.0	1.07	1.37

Tirantes y gastos requeridos para mover sólidos en tubos de 6" (según Kutter)

Materiales	Lodo y arcilla		Arena (0.8mm)		Grava (0.7mm)		Grava (10mm)	
Vel. Requerida	0.09 m/seg		0.12 m/seg		0.18m/seg		0.36 m/seg	
Pendiente	Tirante cm	Gasto Lt/seg	Tirante cm	Gasto Lt/seg	Tirante cm	Gasto Lt/seg	Tirante cm	Gasto Lt/seg
1%	0.3	2.5	0.4	3.3	0.8	9.0	2.4	58.2
0.5%	0.6	4.1	0.7	5.9	1.4	15.9	4.1	94.5
0.1%	1.7	9.4	2.7	20.0	5.4	57.6	No es suficiente con tubo lleno	

Nota: estas tablas solo son aplicadas a materiales sueltos.

Existen casos en los que las perforaciones deben quedar hacia arriba, el relleno de la cepa se tendrá que hacer con piedra tamizada para evitar que el material entre en las perforaciones. Tales casos pueden tener la siguiente estratificación. (fig.5.55)

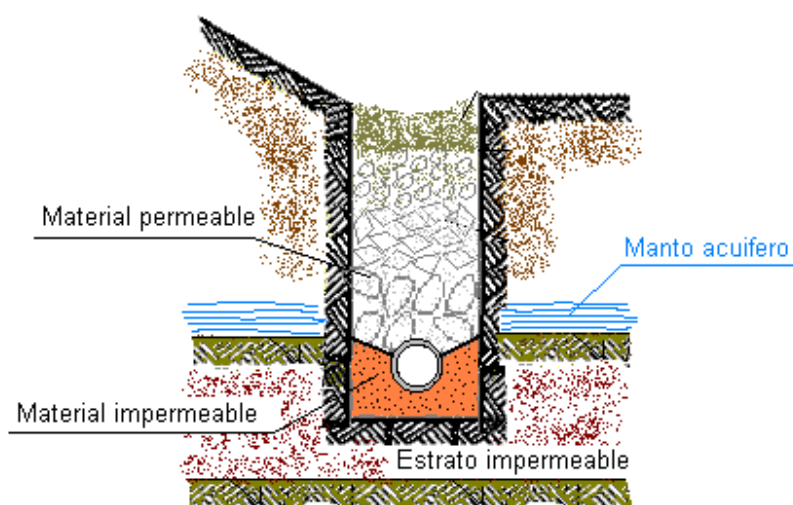


Fig. 5.55

Las cepas para este tipo de drenes dependen del diámetro del tubo, cuidando que se tenga un espacio para realizar maniobras de ensamble. Normalmente un ancho de 40 a 50cm es suficiente.

CAPAS DRENANTES ⁽¹⁰⁾

Su uso generalmente es en las camas de los cortes. Estas son capas de espesor que varia de 15 a 30cm que se colocan abajo de la corona del camino o de la superficie pavimentada y están constituidas por material de filtro, de manera que con ayuda de una pendiente transversal y de instalaciones de salida puedan drenar el agua que se infiltre desde el pavimento, o que ascienda por capilaridad. (fig. 5.5 y 5.56)

Un aspecto importante en el diseño de capas permeables es su costo, que suele ser alto. Por eso es recomendable tener mínimos espesores de la capa sin disminuir en la capacidad drenante. No deben emplearse capas de espesor menor a 15cm ni mayores a 30cm; por que incrementarían el costo.

(10) Rico – Del Castillo Pag. 417

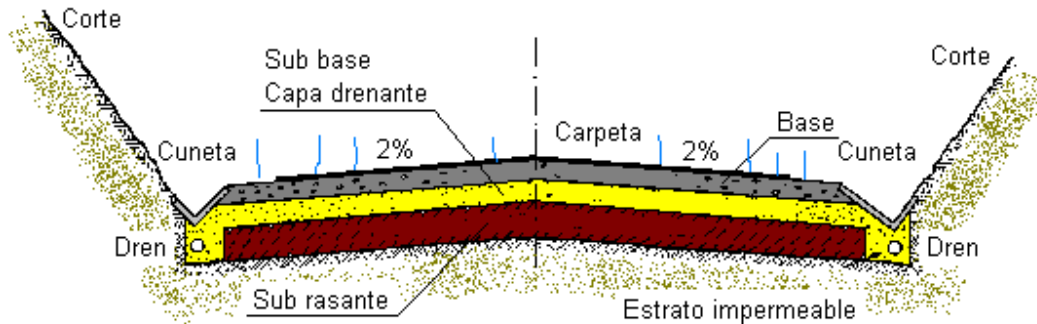


Fig. 5.55 CAPA DRENANTE CON FILTRACIÓN POR EL PAVIMENTO

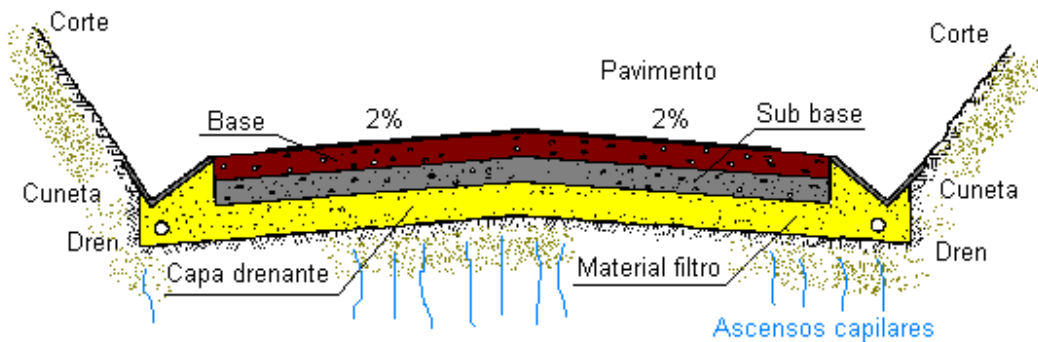


Fig. 5.56 CAPA DRENANTE CON ASCENSOS CAPILARES.

En la actualidad con la aparición de los geotextiles; se puede realizar una combinación de la capa drenante complementada con geotextiles, como se muestra en la siguiente figura. (fig. 5.57)

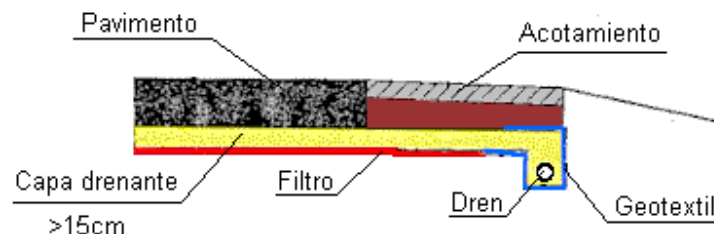


Fig. 5.57 CAPA DRENANTE CON GEOTEXTILES

<http://www.carreteros.org>



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



GENERALIDADES

Espesor

El espesor de la capa drenante no debe ser inferior a 15 cm.

Anchura

Si la capa drenante se coloca bajo la calzada, es conveniente que rebase el hombro superior entre 30 y 100 cm, conectando con el sistema de desagüe.

Pendientes Transversales

La pendiente transversal de las capas drenantes será la del pavimento. En zonas de rasante horizontal con pendiente transversal escasa por transición de peralte, se recomienda colocar drenes transversales, además de los longitudinales.

Material Filtrante

Las capas drenantes no tratadas deben ir sobre una capa impermeable, que evite su contaminación. Otra solución es el empleo de un geotextil.

Desagüe

No se permite que la capa drenante desagüe sobre el talud de la cuneta, por dos razones:

- Requiere cunetas de gran profundidad.
- Se contamina la parte expuesta de la capa drenante, tapando sus huecos y anulando su función.

Consideraciones Constructivas

Si se emplean capas drenantes, se requiere más cuidado durante la construcción, para evitar su segregación, su desplazamiento y, sobre todo, su contaminación durante la obra.

El empleo de láminas de polietileno puede reducir la contaminación durante la obra, pero deben ser retiradas antes de extender la siguiente capa, para no impedir la función drenante.

TRINCHERAS ESTABILIZADORAS ⁽¹¹⁾

Cuando se construyen terraplenes con grandes espesores en laderas y las cuales presentan problemas de flujo de agua o su nivel freático se encuentra a unos 15m de profundidad bajo el terreno natural, sin poderle dar solución por otros sistemas de subdrenaje es difícil y antieconómica; una manera de darle solución es construir una trinchera estabilizadora, esta es una excavación dotada en su talud aguas arriba de una capa drenante, con espesor entre 0.50 m a 1.00 m de material de filtro, dentro de esta capa se coloca un sistema de captación y eliminación de agua en su fondo, de tubería perforada con diámetros de 15 ó 20cm que se conecta a un sistema de desfogue. (fig.5.58)

(11) Rico – Del Castillo, pag.431 - 432

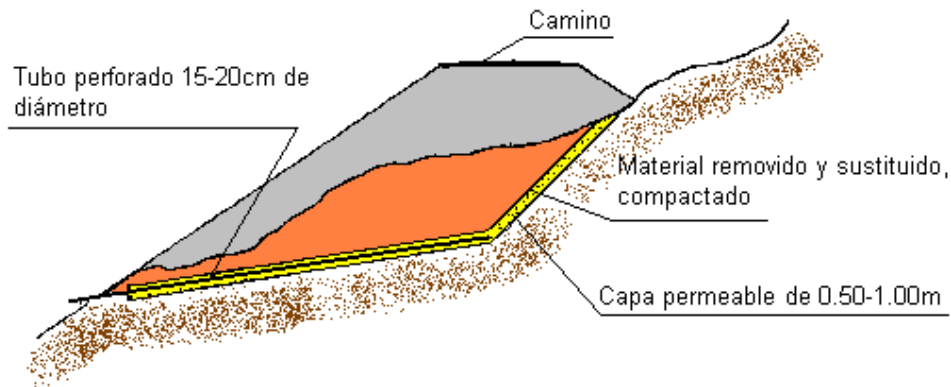


Fig. 5.58

El fondo de la trinchera debe tener ancho de 4m (fig. 5.59) que es suficiente para permitir la operación de equipo de construcción. El material que rellena la trinchera debe ser de buena calidad, generalmente de banco y debe colocarse con una apropiada compactación por capas.

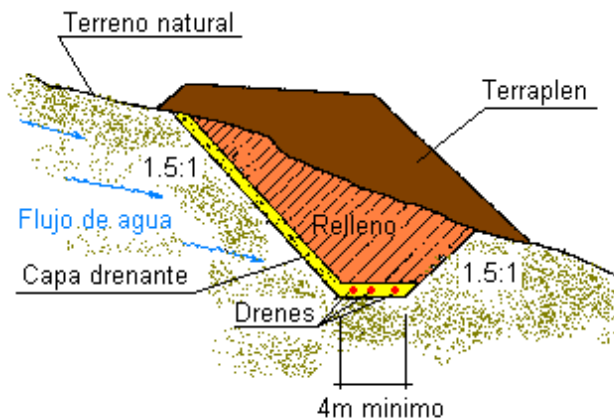
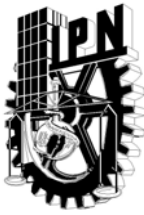


Fig. 5.59

La trinchera estabilizadora tiene dos fines:

1. Tiene una función drenante.
2. Modificar las condiciones de estabilidad mediante la sustitución de material en el que se apoya el conjunto terraplén-trinchera.

Las trincheras estabilizadoras pueden construirse longitudinalmente paralela al camino; y en otras en dirección transversal, según la topografía.



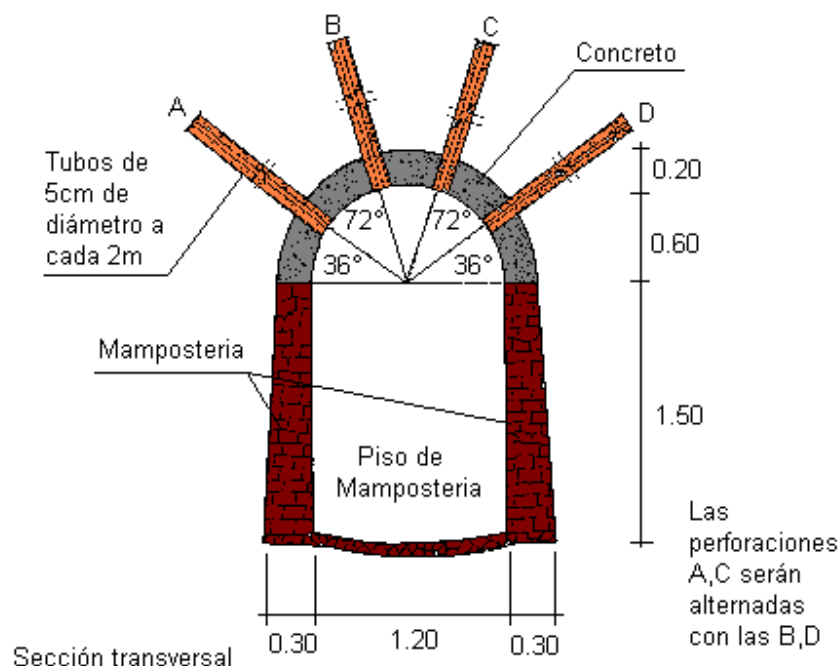
GALERÍAS FILTRANTES ⁽¹²⁾

La galería filtrante es un túnel, localizado en donde se juzgue más eficiente para captar y eliminar las aguas que perjudiquen la estabilidad de un talud o de una ladera natural que se use como terreno de cimentación para algún camino.

Su construcción es básicamente la de un túnel. El revestimiento de la galería puede tener la función de drenar, para este fin se construyen dejando abundantes huecos, teniendo la precaución de no bajar su resistencia estructural; si no es posible se colocarán tubos metálicos perforados y ahogados en material de filtro, pero el costo de este sistema se incrementa.

La galería filtrante puede desarrollarse por la zona más baja. La galería debe construirse por abajo de la superficie de falla, con lo que se previenen dislocaciones por movimientos.

El desagüe de la galería filtrante puede ser gravedad.



(12) Rico – Del Castillo pag. 440 – 441.

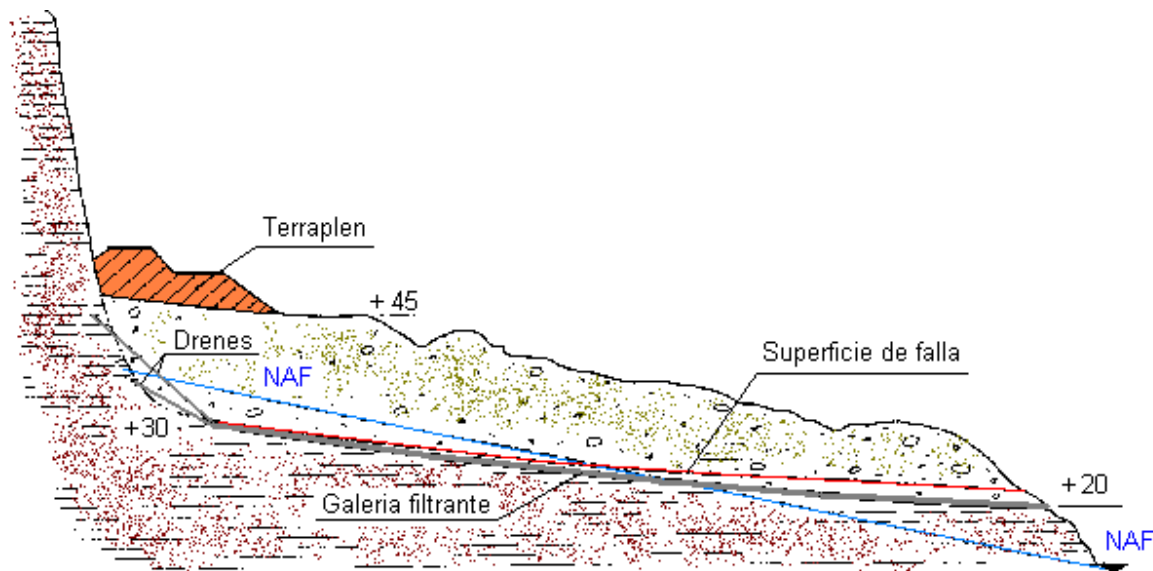


Fig. 5.60 SECCIÓN Y CORTE DE UNA GALERÍA FILTRANTE

5.15 GEOTEXTILES

Los subdrenes geocompuestos prefabricados son sistemas de subdrenaje de pavimentos, constituidos por un conducto o serie de conductos de formas diversas fabricados a base de polietileno de alta densidad que se recubren con un geotextil de poliéster. Este sistema, a diferencia del subdrenaje tradicional, no requiere de tubería perforada, material de filtro ni de plantilla de arena, sino que la zanja se rellena con el material producto de la excavación, la que se realiza con una máquina zanjadora que puede tener anchos de cepa tan reducidos como de 30 a 50cm, minimizando el volumen de excavación que requiere el sistema convencional. Además, los subdrenes pueden presentar mayor área hidráulica de captación si su forma es laminar en vez de tubular. Lo anterior reduce el tiempo y recursos. (fig. 5.61)

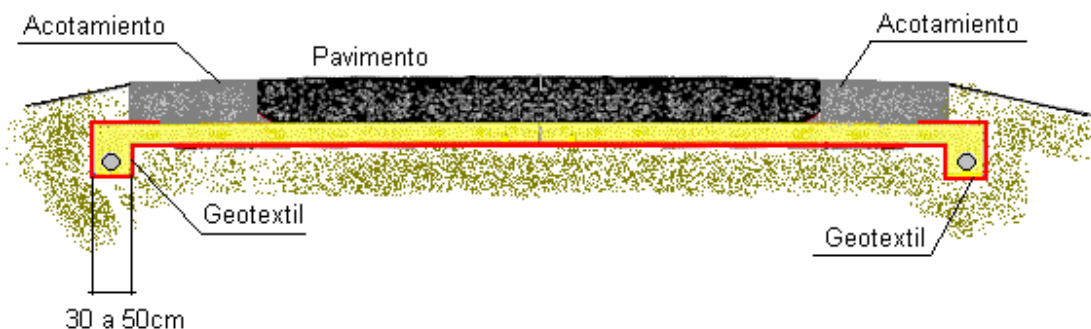


Fig. 5.61

<http://www.carreteros.org>

Los geotextiles no tejidos y tejidos fabricados al 100% con fibras cortas de polipropileno tienen características como: gran estabilidad dimensional con excelente resistencia química a ácidos y álcalis. Entre sus ventajas de utilizar geotextiles está su resistencia a la descomposición por humedad, indigerible por roedores, se amolda a las superficies, tiene afinidad y absorción al asfalto y resiste altas



temperaturas. Sus principales aplicaciones son: Separación, Filtración, Protección, Refuerzo de carpetas asfálticas y Refuerzo de terrenos blandos.

DRENES TRANSVERSALES

El fin de estos elementos es el mismo que el de los ya mencionados, la diferencia es la dirección de su colocación (normal al eje del camino); este tipo de drenes interceptores deben de eliminar lo más rápido posible el agua, por ello se debe tener mucho cuidado con los requerimientos de permeabilidad.

Drenes de penetración transversal.

Los drenes de penetración transversal son utilizados para captar el agua que provoca la falla del corte (fig.5.62). El empleo de los drenes de penetración transversal con mas frecuencia se tiene los taludes de cortes y en las laderas naturales.

Este sistema de drenaje puede desfogar en alguna otra obra de alivio, como se observa en la figura anterior; pero cuando la salida esta a una altura en la que no alcanza a desfogar en dichas obras, la salida del agua será por la cara del corte. Dicha salida provocará deslaves y erosión del talud del corte, este problema se resuelve colocando una malla (tela de gallinero) sobre el talud cubriéndola con una capa de concreto lanzado (fig. 5.63). Esta además de proteger da un mejor aspecto al corte.

Los drenes de penetración transversal están conformados por tubos perforados en toda su periferia, son colocados en el terreno natural (en los cortes) perpendicularmente al eje del camino; son construidos por medio de perforaciones de 7.5mm a 10mm $\varnothing$, las perforaciones se realizan con maquinaria especial, automática provista de movimientos de avance y retroceso.

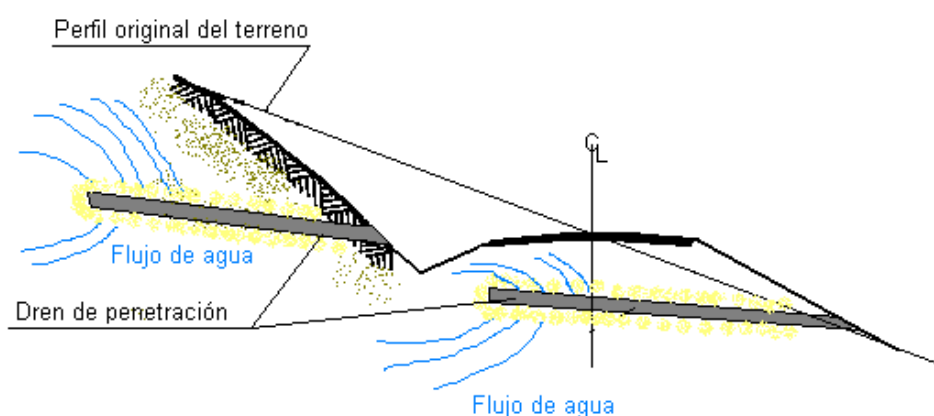


Fig. 5.62

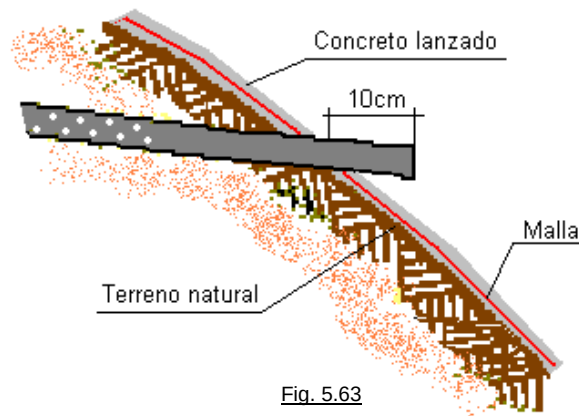


Fig. 5.63

Se recomienda que la salida del tubo vaya sin perforaciones en 2m, pues se puede obstruir por la vegetación.

Su longitud varia de 50m a 70m, en ocasiones llega a más de 100m. Su longitud se puede determinar por medio del dibujo del perfil del talud con los círculos de deslizamiento probables, la longitud del dren debe cubrir toda la zona de deslizamiento. Para tener mejor eficiencia en su funcionamiento se requiere colocar una gran cantidad en terrenos impermeables; por ese motivo se colocan a distancias cortas. Colocándose de manera común a cada 5m uno de otro, en los casos en los que se colocan dos o más hileras la distancia vertical es la misma que la horizontal. (fig.5.64)

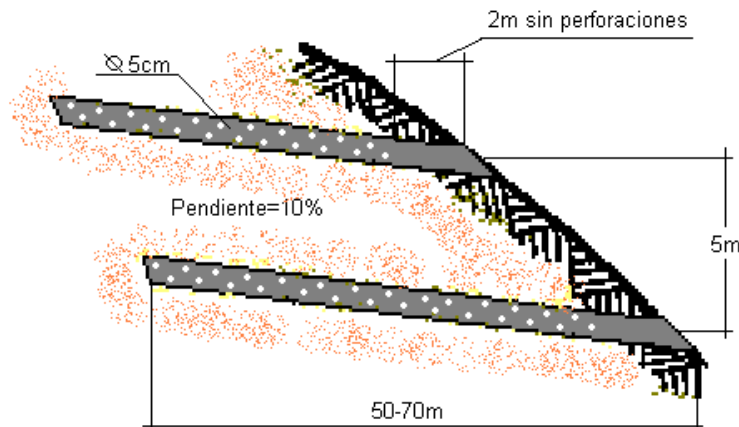


Fig. 5.64

Para su instalación se deberá antes realizar investigaciones que nos garanticen su uso. Dichas investigaciones consisten en: sondeos, estudios geológicos, análisis de la estabilidad del talud. Con estos estudios se pretende conocer la secuencia de los estratos, el nivel del agua y cual será su influencia.

5.16 APLICACIÓN DE LOS DIVERSOS TIPOS DE DRENES ⁽¹³⁾

Cada lugar que requiere drenaje, ya sea al construir un nuevo camino o al estabilizar un viejo, es un problema distinto e individual, y que en un estudio completo de las condiciones locales, y una aplicación adecuada de un sistema de drenaje proyectado racionalmente, dará siempre una estabilización eficiente.

FILTRACIONES DE LADERA

En los caminos las filtraciones transversales en la ladera de una montaña son muy comunes presentándose de dos maneras, estas son:

Manto Delgado.- se presenta cuando la distancia que existe entre la superficie y el nivel superior del manto acuífero varía de 0.60m a 1.50m con un espesor promedio de 2m. en este caso el agua capilar es la que daña nuestra estructura. Este problema se resuelve colocando un dren interceptor en el lado superior del camino, el cual capta el agua evitando que llegue a nuestra estructura. (fig.5.65)

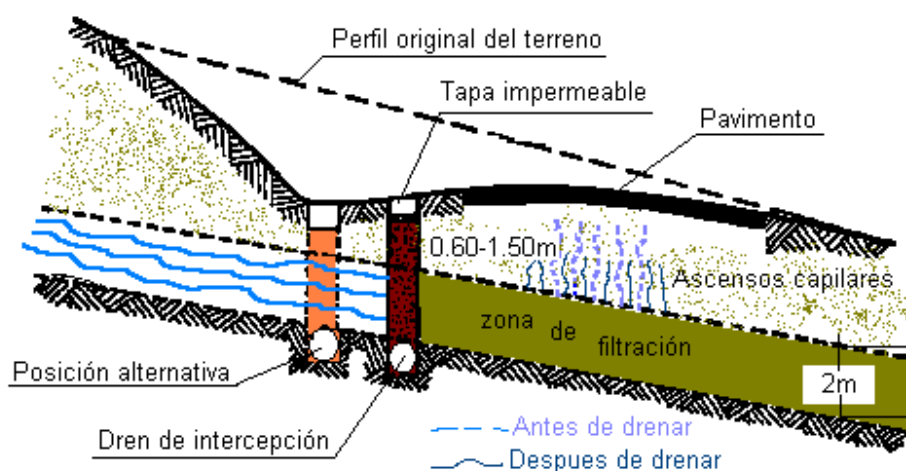


Fig. 5.65

Manto Grueso.- en este caso el fondo del manto acuífero presenta espesores de más de 2m. existiendo también problemas de capilaridad; la profundidad del dren dependerá de la altura capilar del agua a partir del nivel freático al colocar el dren. En suelos de baja capilaridad se puede colocar el dren a una profundidad de 1.80 m. (fig. 5.66)

(13) "Manual de drenaje de caminos", pag. 166 – 185.

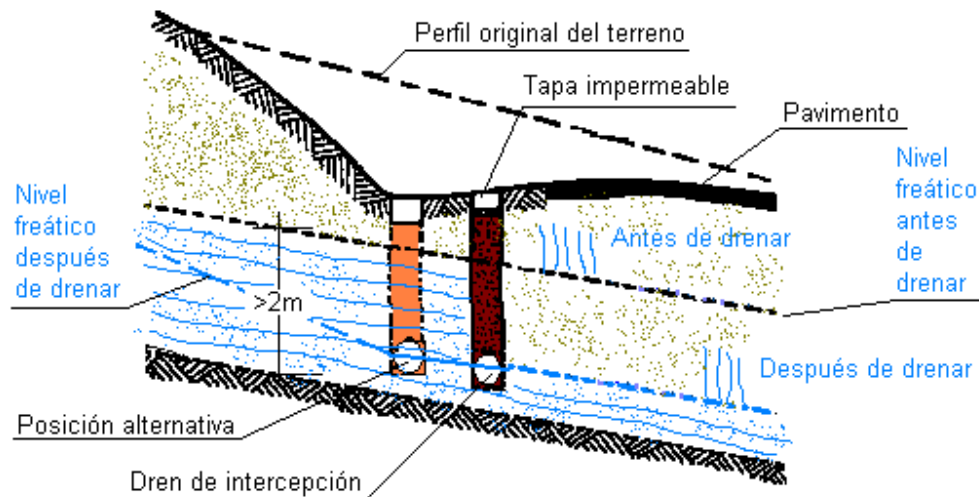


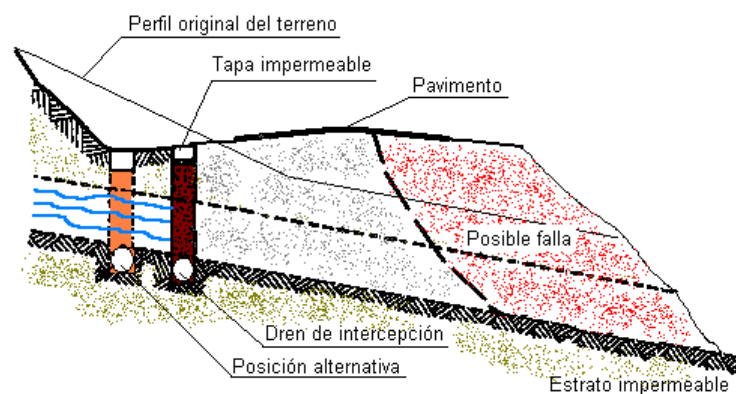
Fig. 5.66

DERRUMBES DE TERRAPLENES

En los lugares donde hay presencia de agua subterránea y se construyen secciones en balcón, la parte que se construye en terraplén puede causar deslizamientos debido al peso que este aplica sobre el terreno natural.

La solución a este caso se realiza captando el agua que escurre arriba de la zona impermeable (fig. 5.67), excavándose una cepa en la cuneta del lado del corte y se coloca un dren de barro con juntas abiertas, rellenándose la cepa con material suelto y poroso.

Fig. 5.67





DESLIZAMIENTOS SOBRE EL CAMINO

Estos deslizamientos se presentan cuando se hace se retira el material en una sección en balcón o en corte provocando un desequilibrio que trae como consecuencia deslizamientos de todo el material que se encuentra arriba del estrato impermeable. Para eliminar ese tipo de problema se tendrá que captar y eliminar el agua colocando el dren en lugares convenientes arriba de las zonas que presentan signos de movimiento. (fig.5.68)

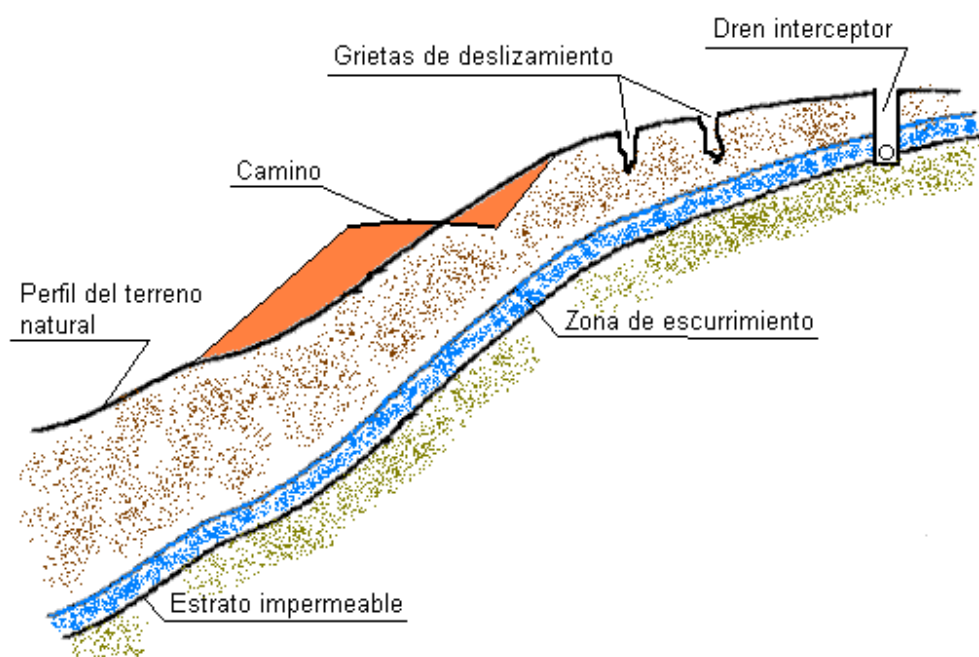


Fig. 5.68

ESTABILIDAD DE CORTES

Cortes Bajos.- son cortes que presentan filtraciones en su cara expuesta, que al escurrir por ella deslavan el material originando taludes irregulares de mal aspecto, que al estarse deslavando llega al camino todo ese material.

Para eliminar este problema se instala un dren interceptor en la parte superior del corte para captar el agua subterránea. (fig.5.69)

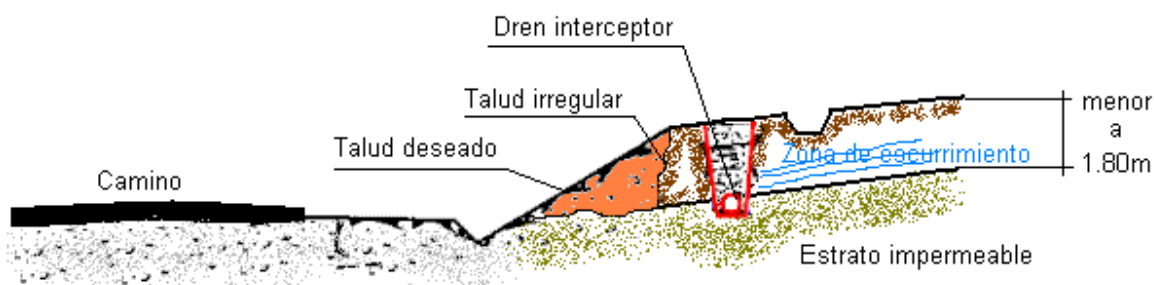


Fig. 5.69

Cortes Elevados.- son cortes con una altura mayor a los mencionados anteriormente, la solución es similar a la que se le da a los cortes bajos, la diferencia es que en los cortes elevados se recomienda una terraza en la cara del corte. El propósito de la terraza es disminuir la profundidad de la cepa. También se puede construir otra terraza para una contracuneta que capte el agua pluvial que escurre en la parte superior del talud, estas terrazas o escalones disminuyen la erosión en los taludes del corte. Además estos taludes escalonados son de mejor apariencia. (fig. 5.70)

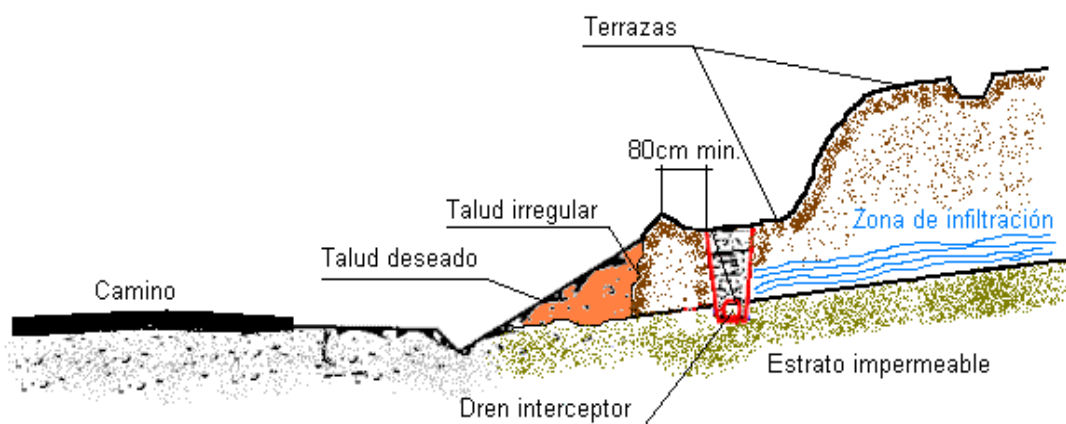


Fig. 5.70

5.17 ESCURRIMIENTOS LONGITUDINALES

Las filtraciones que producen los escurrimientos subterráneos longitudinales causan grietas en la superficie del pavimento, una forma de darse cuenta de la existencia de filtraciones longitudinales son manchas húmedas bajo el camino. Cuando se localice la existencia de un manto de infiltración longitudinal, debe instalarse un dren interceptor a través del camino a cierta distancia arriba del lugar afectado. Generalmente este fenómeno se presenta donde se intersectan la estructura del camino con el estrato acuífero y en los puntos más bajos del camino.

El dren lateral puede colocarse de dos formas en el camino, ya sea normalmente o en diagonal, se construye una cepa al aire libre, se coloca el dren y se rellena la cepa. (fig. 5.71)

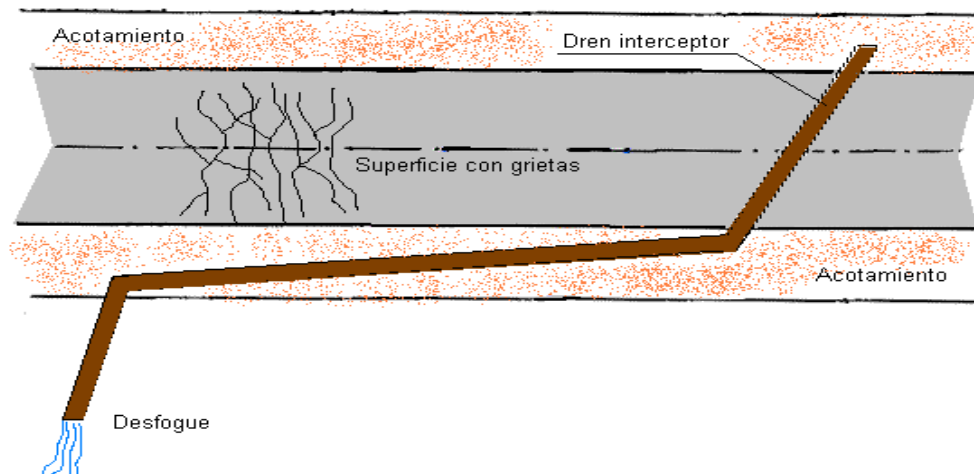


Fig. 5.71

MANTO DE AGUA NIVEL

Generalmente se presenta en terrenos planos pantanosos en estos la localización de la capa freática está cerca de la superficie y el agua capilar asciende a la base. En estos casos la profundidad de los drenes depende de las propiedades capilares de los suelos como ya se menciono; el problema en este caso es que en muchas ocasiones no se encuentran salidas adecuadas de desfogues para los drenes (fig.5.71 y 5.72)

Cuando no sea factible construir un drenaje para evitar los ascensos del agua capilar, se puede elevar el nivel de la rasante con materiales permeables o sustituir el terreno, esto es hacer una excavación y posteriormente llenarla con material permeable colocándole drenes ya sea en sentido al eje del camino o perpendicular a el.

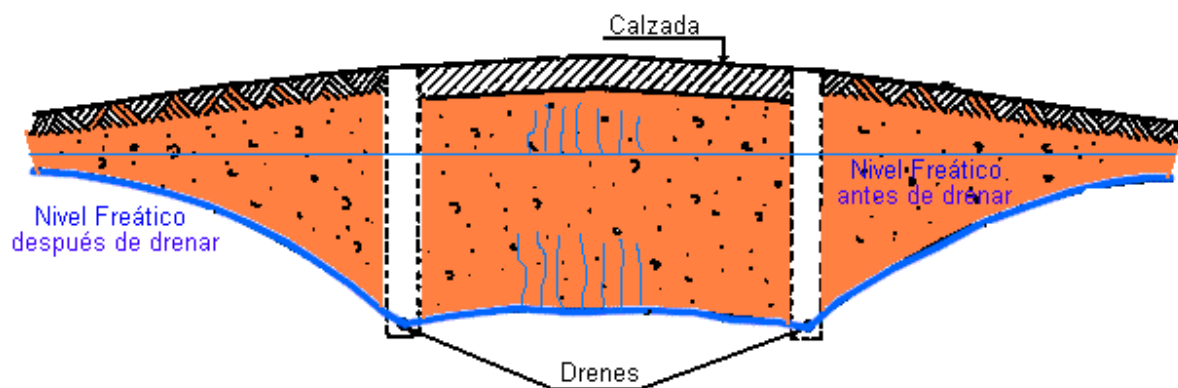


Fig. 5.71. COLOCACIÓN DE DOS DRENES UNO A CADA LADO DEL CAMINO

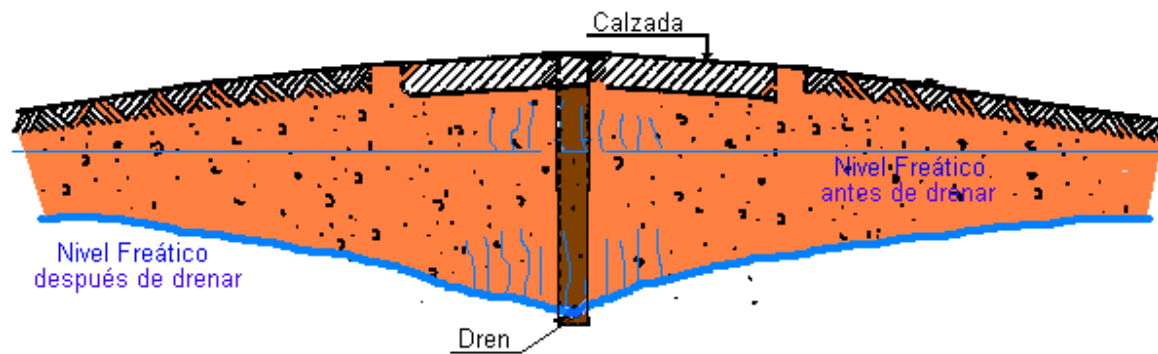
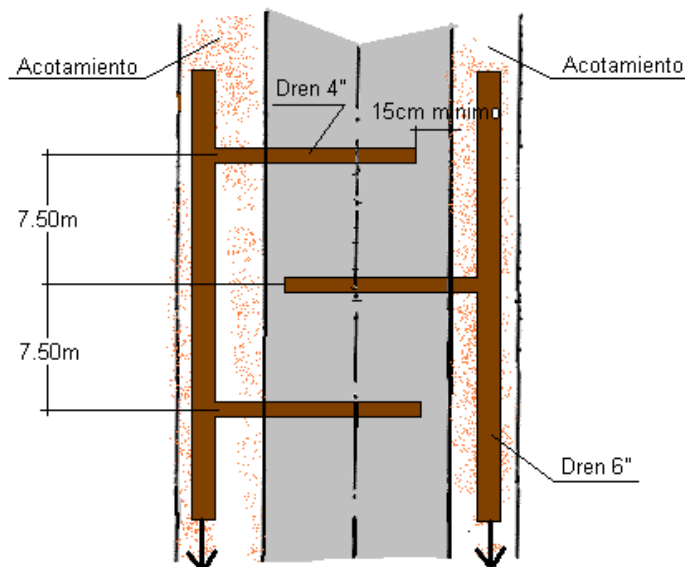


Fig. 5.72 COLOCACIÓN DE UN SOLO DREN AL CENTRO DEL CAMINO

ESTABILIZACION DEL TERRAPLEN

Cuando se tienen secciones en terraplén y en algunas se presentan problemas por la presencia de agua, y no se puede darle solución removiendo el material, una forma de darle solución es la que se muestra en la siguiente figura 5.73



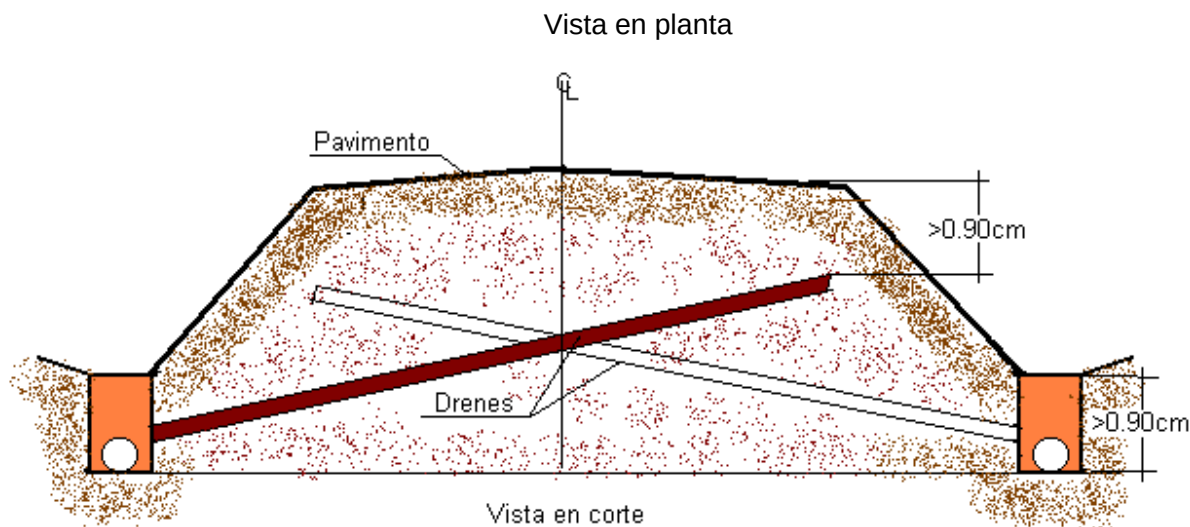


Fig. 5.73

5.18 DATOS DE CAMPO

A continuación se mencionaran los datos necesarios de campo para realizar el proyecto del subdrenaje.

1. Localizar el agua subterránea.
2. Conocer la fuente de origen.
3. inclinación del manto freático

Para obtener los datos anteriores se realiza sondas sencillas, auxiliándonos de levantamientos de secciones transversales a cada 30m y perfiles del terreno en estudio, se complementan colocándoles notas de los resultados del muestreo indicando la clasificación de los suelos y su humedad. En algunos casos se pueden excavar pozos para determinar así la colocación final de los drenes.

En las secciones transversales se dibujará la topografía superficial y la estratigrafía subterránea.

Los planos para el informe de datos de campo deben incluir:

Planta (plano del lugar).

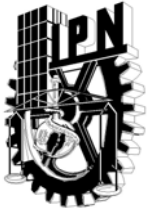
Distancia del eje del camino a:

- Cero del talud del terraplén
- Cero del talud del corte
- Eje de las cunetas

Localización y dimensiones de las obras de drenaje existentes.

Localización de los sondeos.

Localización de lugares impermeables, entradas a propiedades, etc.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Perfiles

Línea de centro del camino.

Nivel de agua de las obras de drenaje superficial en creciente y normalmente.

Secciones transversales

Curvas de nivel de los estratos subterráneos y del nivel de terreno superficial.

Elevación del nivel freático y nivel de fondo del manto acuífero.

Clasificación de los estratos del terreno.

Ancho del pavimento.

Ancho del terraplén (hasta los extremos del acotamiento)



6.- PROYECTO DE SUB-RASANTE

6.1.- GENERALIDADES

Subrasante.- “Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las solicitudes que genera el tránsito. Sobre la subrasante se construye el pavimento y la bermas.”¹

El costo de construcción, está gobernado por lo 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.

Al iniciarse el estudio de la sub-rasante en un tramo se deben analizar los siguientes puntos que definirán el proyecto: ²

- Alineamiento Horizontal.
- Perfil longitudinal
- Secciones Transversales del terreno
- Datos de calidad de los materiales
- Elevaciones mínimas requeridas para dar cabida a las estructuras.

La sub-rasante económica es aquella que ocasiona el menor costo de la obra, durante la construcción, operación y conservación del camino.

Para el proyecto de la sub-rasante económica hay que tomar en cuenta que:

1. La sub-rasante 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 modificar localmente.
3. La sub-rasante 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.

1. “ALINEAMIENTO VERTICAL”

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. A este eje se le conoce en dicho alineamiento como línea subrasante.

Los elementos que integran son:

- Tangentes
- Curvas

1) <http://www.vialidad.cl>

2) SCT(1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 351 -355 Y 395.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



TANGENTES.

La tangente vertical, es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente, se representa como T_v . Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina PIV y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa por la letra A.

- A. Pendiente gobernadora.- Es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado, en función de las características del tránsito y la configuración del terreno.
- B. Pendiente máxima.- 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 empleara 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.

Se recomienda que para caminos principales las pendientes máximas no excedan a las dadas en la tabla 6-A. Para caminos secundarios, con escaso volumen de tránsito, las pendientes dadas en la tabla pueden incrementarse hasta en dos por ciento.

Tipo de terreno	Porcentaje en pendiente máxima para diversas velocidades de proyecto en Km/m						
	50	60	70	80	90	100	110
Plano	6	5	4	4	3	3	3
Lomerío	7	6	5	5	4	4	4
Montañoso	9	8	7	7	6	5	5

Tabla 6-A: Pendientes máximas de acuerdo al tipo de terreno y velocidad de proyecto.

- C. 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 crítica de una tangente del alineamiento vertical. Es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un 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.

CURVAS VERTICALES

Las 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 tangente de salida.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Forma de la curva. La condición que se considera optima para la conducción de un vehículo, correspondiente a un movimiento cuya componente horizontal de la velocidad sea constante.

$$V_x = dx/dt = C_1$$

Por lo que la componente horizontal de la aceleración:

$$A_x = dV_x/dt = d^2x/dt^2 = 0$$

P es la pendiente de la tangente de entrada y:

$$Y = Kx^2 + Px$$

La expresión anterior corresponde a la ecuación de una parábola que es la recomendada para emplearse en las curvas verticales. Las curvas verticales pueden tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, recibiendo el nombre de curvas en columpio o en cresta respectivamente.

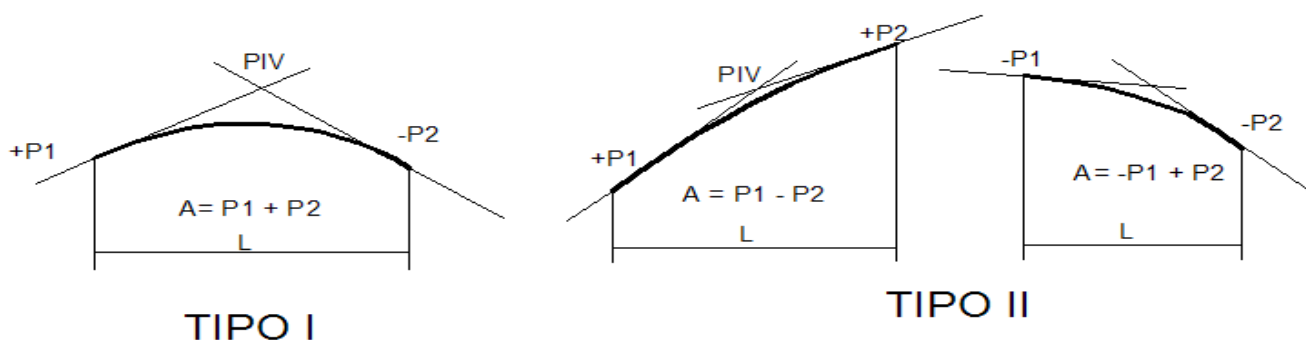


Fig. 6.1.- Curvas verticales en cresta

K = VARIACIÓN DE LONGITUD POR UNIDAD DE PENDIENTE $k = L/A$

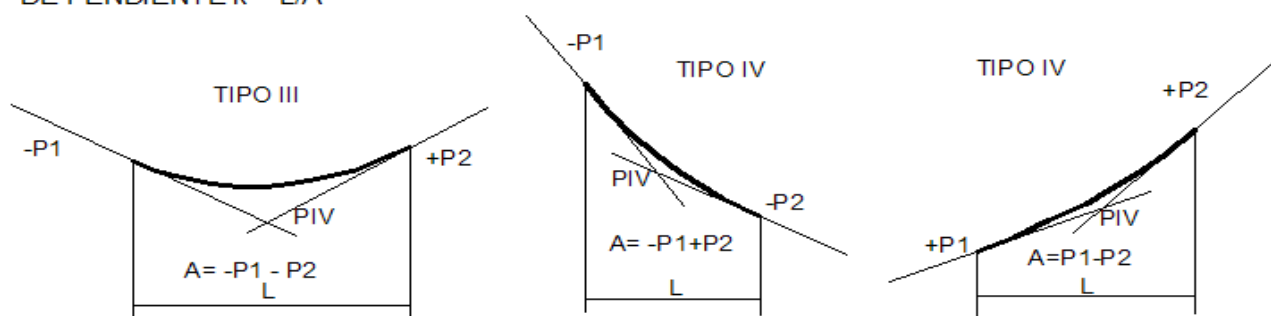


fig. 6.2.- Curvas verticales en columpio

- P1.- Pendiente de entrada
- P2.- Pendiente de salida
- A.- Diferencia de pendientes
- L.- Longitud de la curva
- K.- Variación de longitud por unidad de pendiente $K = L/A$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

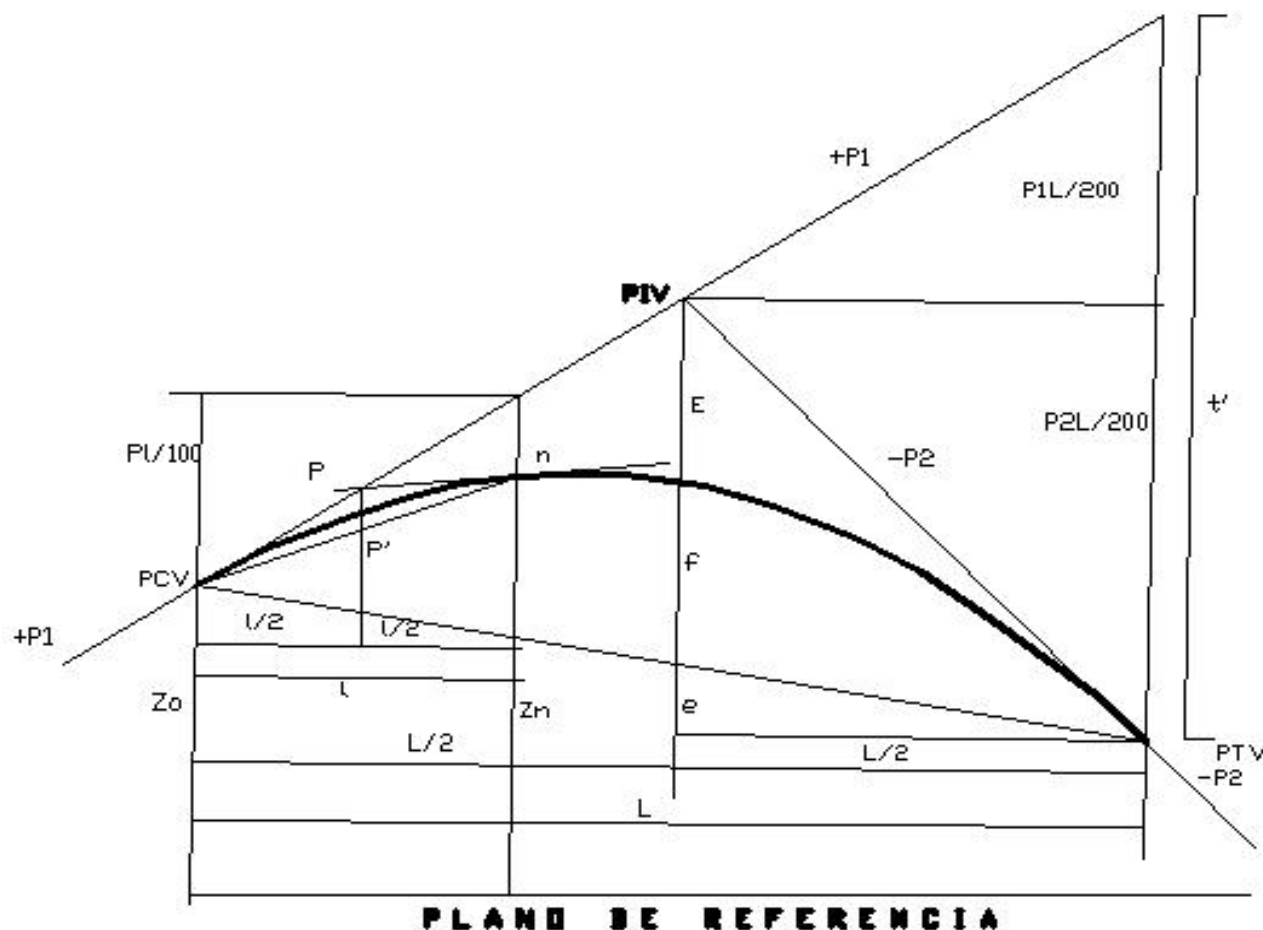


Fig. 6.3.-Elementos de las curvas verticales

- PIV.- Punto de intersección de las tangentes.
PCV.- Punto en donde comienza la curva vertical
PTV.- Punto en donde termina la curva vertical
n.- Punto cualquiera sobre la curva.
P1.- Pendiente de la tangente de entrada en por ciento
P2.- Pendiente de la tangente de 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 salida
L.- Longitud de la curva
E.- Externa
f.- Flecha
l.- Longitud de curva a un punto cualquiera
t.- Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera
K.- variación de longitud por unidad de pendiente, $K=L/A$
Zo.- Elevación del PCV
Zn.- Elevación de un punto cualquiera.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



"CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL" ³

1. Longitud.- Es la distancia medida horizontalmente entre el PCV y el PTV

Existen cuatro criterios para determinar la longitud:

- a) Criterio de comodidad.- Se aplica al proyecto de curvas verticales en columpio, en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo. Se recomienda que en la curva la aceleración centrífuga no exceda a 0.305 m/seg² o sea que:

$$a_o = V^2 / R \leq 0.305 \text{ m/seg}^2 \quad \therefore R \geq 3.28 V^2$$

Si se asimila la parábola a un círculo se tendrá:

$$L = R\Delta \quad \text{y} \quad \Delta = A \quad \text{por lo que:} \quad L \geq 3.28 V^2 \Delta$$

$$\text{Y también:} \quad L \geq 3.28 V^2 A$$

Y si se expresa V en Km/h y A en por ciento:

$$K = L/A \geq V^2/395$$

Siendo K el recíproco de la variación de pendiente por unidad por unidad de longitud.

- b) Criterio de apariencia. Se aplica al proyecto de curvas verticales con visibilidad completa, ó sea a las curvas en columpio, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente. Empíricamente se ha determinado que:

$$K = L/A \geq 30$$

- c) Criterio de drenaje. Se aplica al proyecto de curvas verticales en cresta o en columpio, cuando están alojadas en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva, debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente. Se ha encontrado que para que esto ocurra debe cumplirse:

$$K = L/A \leq 43$$

(3) SCT(1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 356 -362.



- d) Criterio de seguridad. Se aplica a curvas en cresta y en columpio. La longitud de curva debe ser tal, que en toda la curva la distancia de visibilidad sea mayor o igual que la de parada. En algunos casos, el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de rebase.

Para curvas en cresta (fig. 6.4):

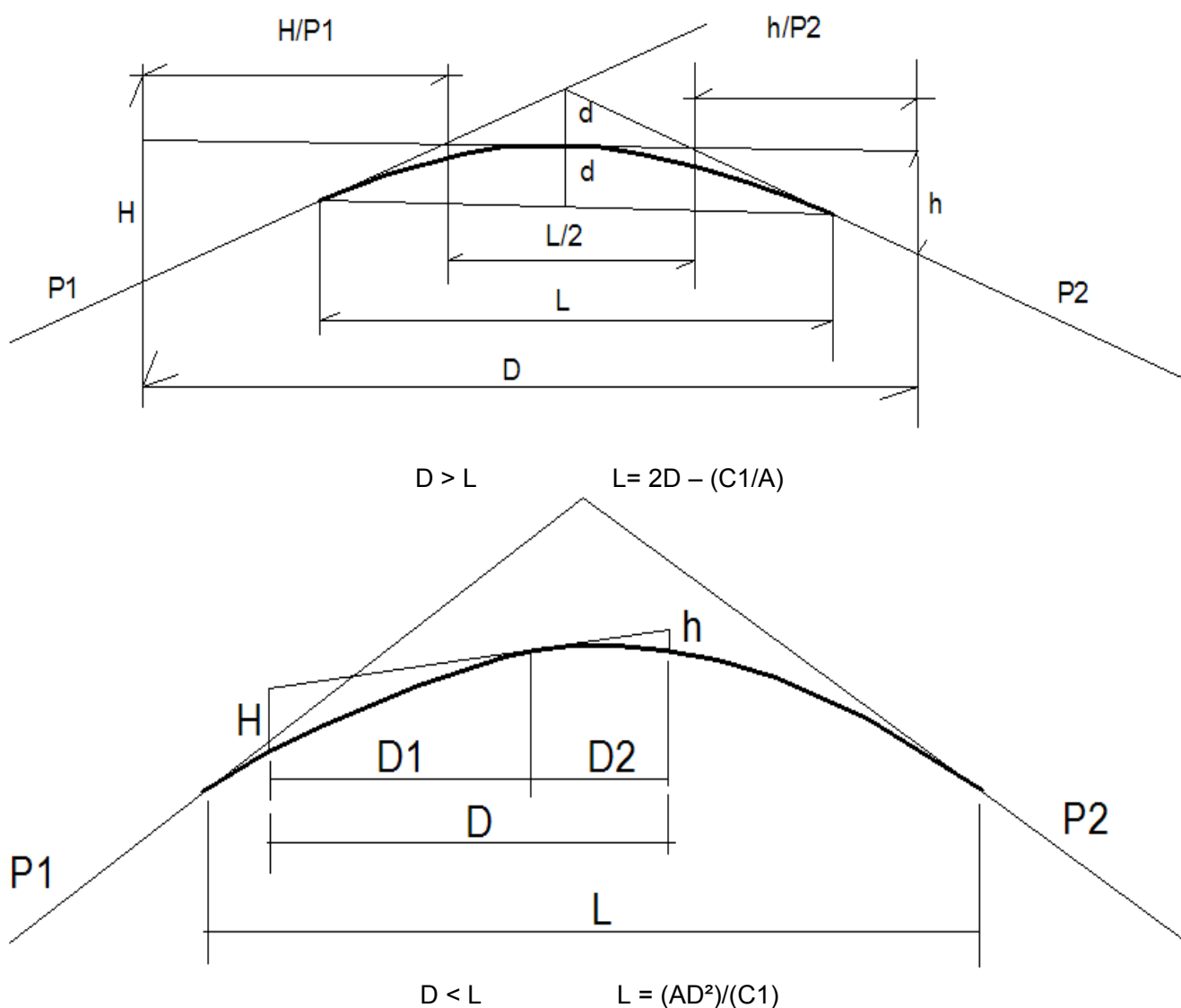


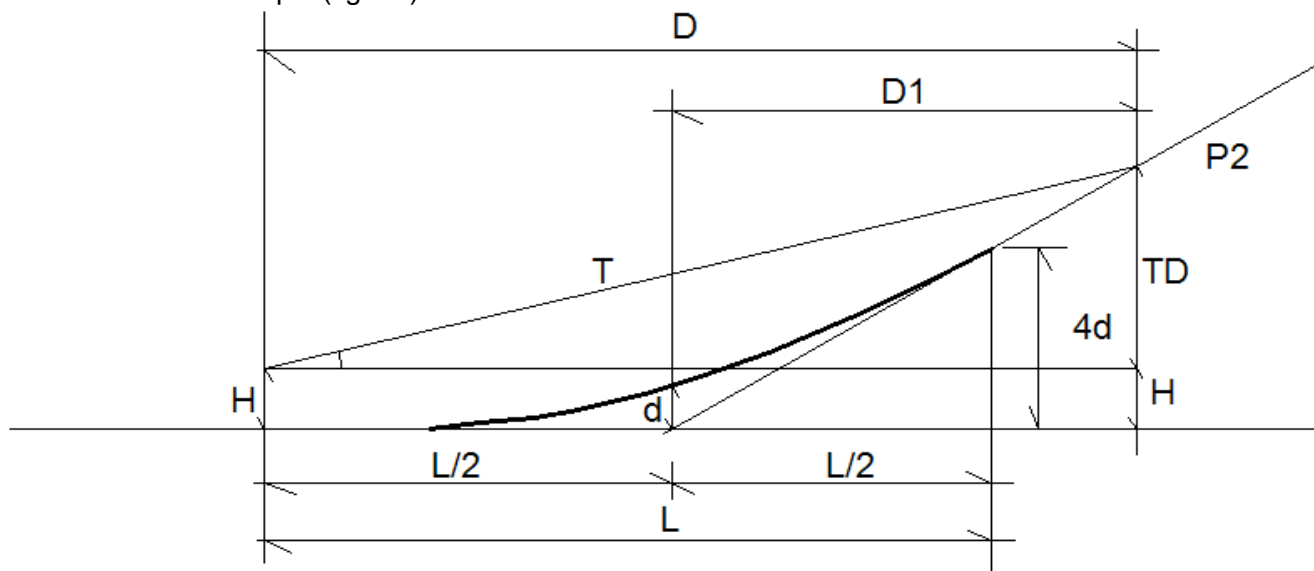
Fig. 6.4



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

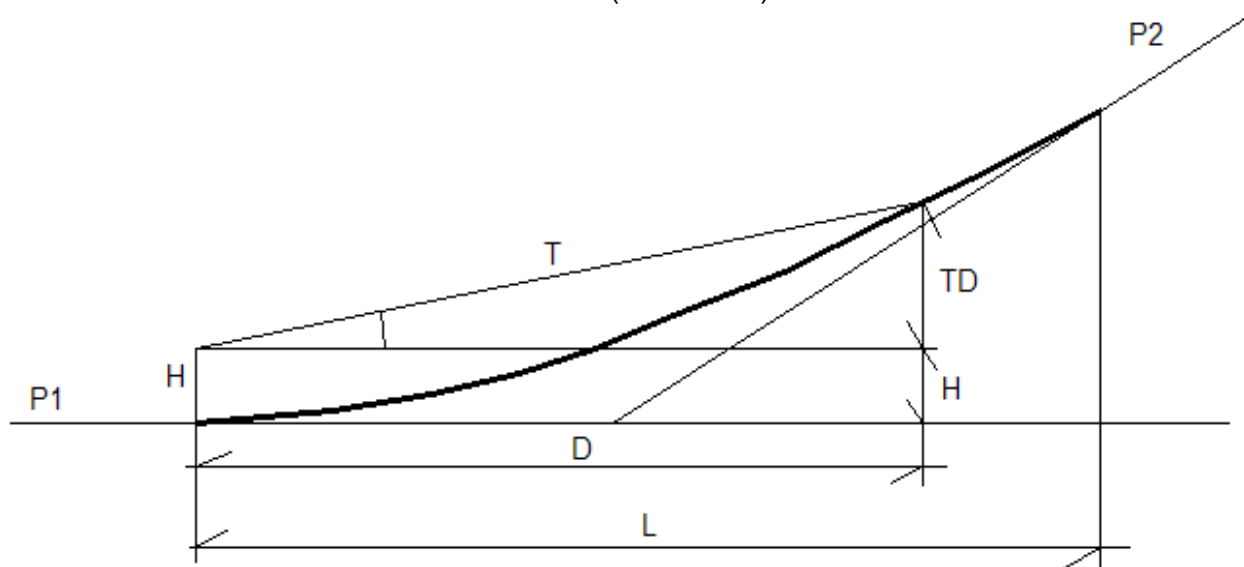


Para curvas en columpio (fig 6.5):



$$D > L$$

$$L = 2D - (C2 + 3.5D/A)$$



$$D < L$$

$$L = (AD^2)/(C2 + 3.5D)$$

Fig. 6.5

En donde:

L = Longitud de la curva vertical en m.

D = Distancia de visibilidad de parada o de rebase, en m.

A = Diferencia algebraica de pendientes, en por ciento.

$C1, C2$ = Constantes que dependen de la altura del ojo del conductor o altura de los faros y de la altura del obstáculo o altura del vehículo



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



CONSTANTES	PARA DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
	De parada	De rebase
C1	4.25	1 000
C2	120	

Las curvas diseñadas para distancia de visibilidad de rebase resultan de gran longitud y solo deberán proyectarse cuando no se afecte el costo del camino más allá de lo permisible o donde lo amerite el nivel de servicio.

Se establece un valor mínimo para la longitud de curva, dado por la expresión empírica:

$$L = 0.6 V$$

En donde L es la longitud mínima de la curva en m. y V la velocidad de proyecto en Km/h. Para proyecto, el criterio a seguir debe ser el de seguridad, que satisfaga cuando menos la distancia de visibilidad de parada. El criterio de apariencia solo debe emplearse en caminos de tipo especial. Por otra parte, el drenaje siempre debe resolverse, sea con la longitud de la curva o modificando las características hidráulicas de las cunetas. En las graficas se obtienen las longitudes de curvas según el criterio de seguridad para satisfacer el requisito de distancia de visibilidad de parada y la longitud mínima de curva, empleando las formulas correspondientes a la condición $D < L$, que representa el caso más crítico. La longitud obtenida en las graficas debe redondearse al número de estaciones de veinte metros inmediato superior. (fig 6.6 y 6.7).

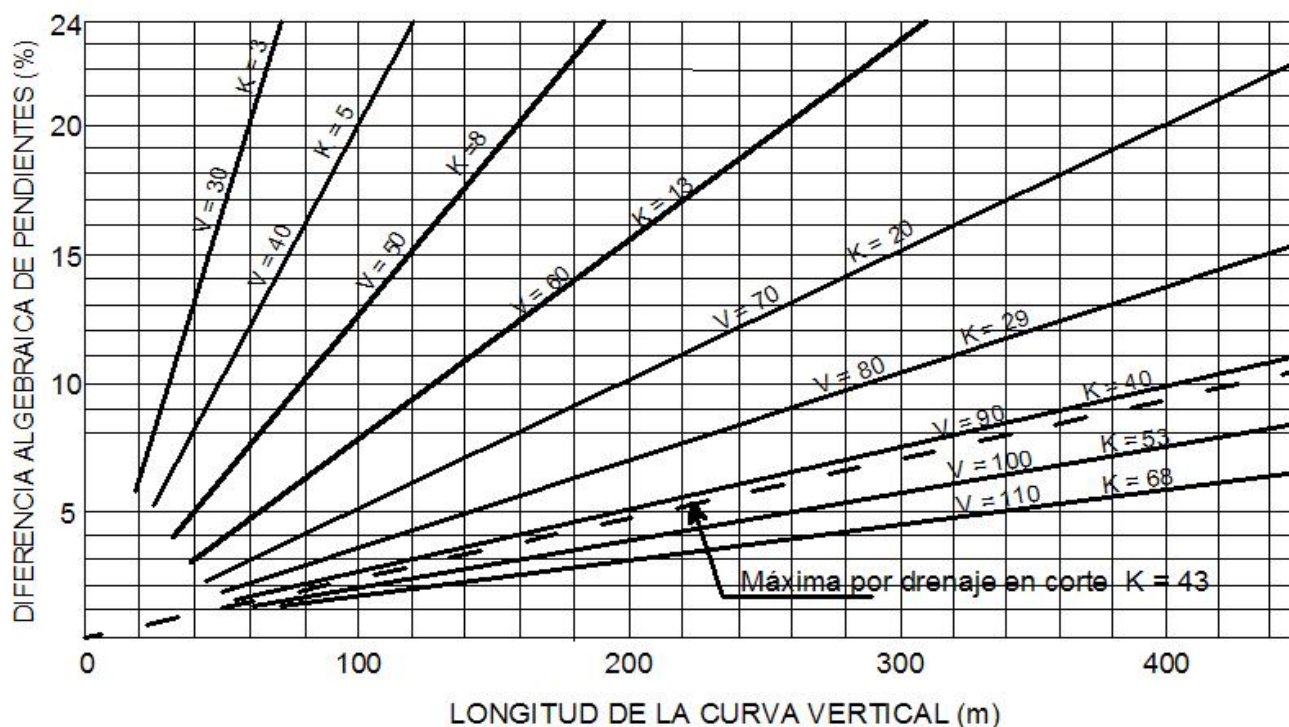


Fig. 6.6: "Longitud de curvas verticales en cresta para cumplir con la distancia de visibilidad de parada"



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

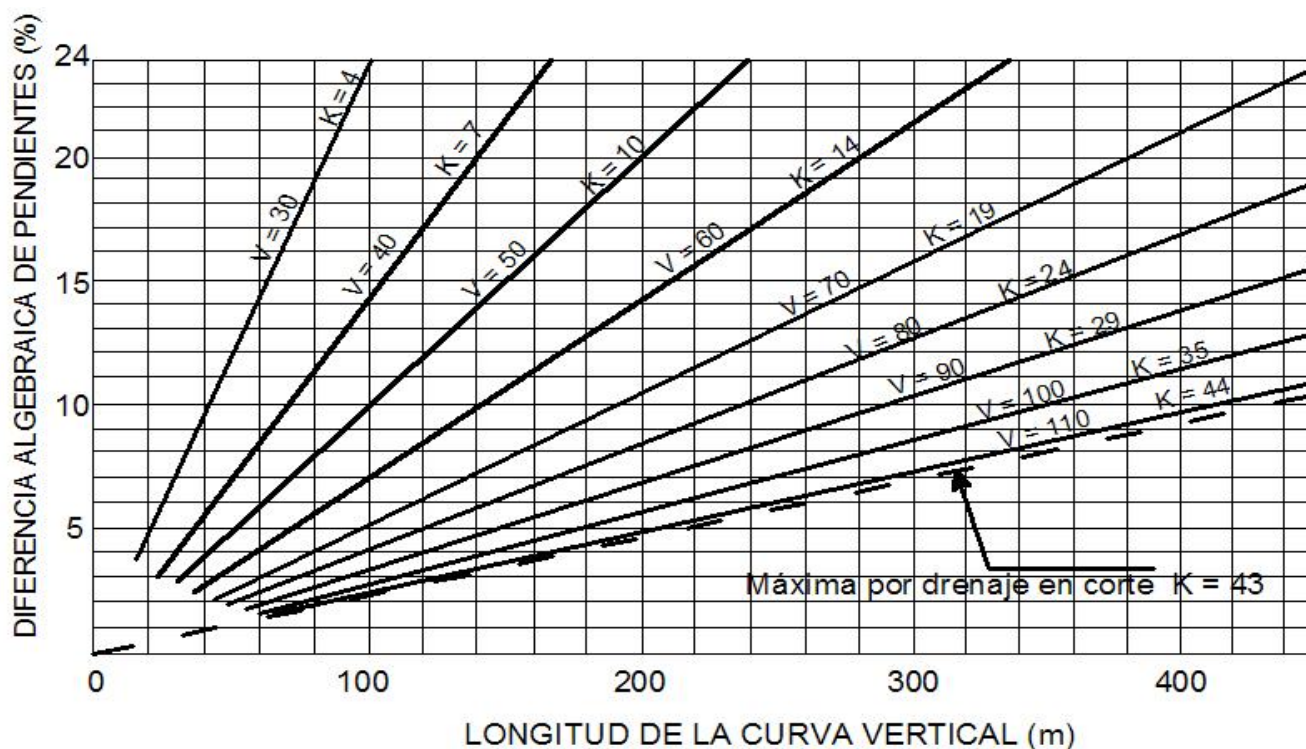


Fig. 6.7 Longitud de curvas verticales en columpio para cumplir con la distancia de visibilidad de parada⁴

2. Pendiente en un punto cualquiera de la curva. Para determinar esta pendiente P, se parte de la propiedad de la parábola de que la variación de pendiente a lo largo de ella respecto a su longitud, es uniforme.

Puede establecerse la siguiente proporción:

$$\frac{(P_1 - P_2)}{L} = \frac{(P_1 - P)}{l} \quad \therefore \quad A/L = (P_1 - P)/l \quad \therefore \quad P = P_1 - (Al/L)$$

En donde:

P, P₁, P₂ y A están expresados en porciento y l y L en metros.

3. Pendiente de la cuerda a un punto cualquiera. Para determinar esta pendiente simbolizada como P' se hace uso de la propiedad de la parábola de que la pendiente de una cuerda es el promedio de las pendientes de las tangentes a la parábola en los puntos extremos de la cuerda.

Esto es: $P' = (P_1 + P) / 2$

Y teniendo en cuenta que:

$$P = P_1 - (Al/L) \quad P' = P_1 / 2 + \frac{1}{2} (P_1 - A/L)$$

De donde:

$$P' = P_1 - A/2L$$

(4) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 363



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4. Desviación respecto a la tangente. Es la diferencia de ordenadas entre la prolongación de la tangente y la curva, llamada t ; para determinarla se aprovecha la propiedad de la parábola que establece:

$$t = al^2 \quad \text{pero en el PTV :} \quad t' = aL^2$$

$$y : \quad t' = P1L / 200 + P2l / 200 = L/200 (P1+P2) = AL/200$$

$$AL/200 = al^2 \quad \text{de donde} \quad a = A / 200L$$

Y finalmente $t = (A / 200L) l^2$

5. Externa. Es la distancia entre el PIV y la curva, medida verticalmente, se expresa como E .

De la ecuación anterior:

$$E = A/200L (L/2)^2 \qquad E = AL/800$$

6. Flecha.- Es la distancia entre la curva y la cuerda PCV – PTV, medida verticalmente, se representa como f .

$$f = P2L / 200 - E - c = P2L/200 - AL/800 - c$$

Siendo la distancia e la pendiente de la cuerda PTV – PCV multiplicada por $L/2$, o sea que aplicando la ecuación:

$$P' = P1 - Al / 2L$$

Se tendrá:

$$c = - (P1/100 - A/200L \cdot L) L/2 = - P1L/200 + AL/400$$

Donde:

$$f = P2L/200 - AL/800 + P1L/200 - AL/400$$

$$f = P1+P2/200 L - 3AL/800$$

$$f = (1/200 - 3/800) AL$$

$$f = AL / 800$$

Puede observarse que $f = E$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



7. Elevación de un punto cualquiera de la curva Zn

$$Z_n = Z_o + P1l/100 - t$$

Substituyendo el valor de t y agrupando:

$$Z_n = Z_o + (P1/100 - AL/200L) l$$

Y expresando a l y L en estaciones de 20 m. y llamando a n y N a las longitudes l y L en estaciones, se tendrá:

$$Z_n = Z_o + (P1/5 - An/10N) n$$

Esta expresión se emplea para calcular las elevaciones de la curva vertical. El calculo con esta formula tiene la ventaja de su simplicidad, pero la desventaja de que no es autocomprobante, puesto que un error en una elevación intermedia no se refleja en la elevación del punto final. Un artificio para hacer el cálculo comprobable es el siguiente:

Puede establecerse:

$$Z_{n-1} = Z_o + [P1/5 - A/10N (n-1)] (n-1)$$

Restando esta ecuación de la ecuación para el punto n :

$$Z_n - Z_{n-1} = (P1/5 - An/10N) n - [P1/5 - A/10N (n-1)] (n-1)$$

Y efectuando operaciones y simplificando

$$Z_n = Z_{n-1} + P1/5 - A/10N (2n-1)$$

Expresión que permite hacer un calculo autocomprobable.⁵

(5) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Pg. 364-365



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



“SECCION DE CONSTRUCCION”⁶

La sección de construcción de un camino en un punto cualquiera de este 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 la integran y definen son:

- la corona
- la subcorona
- las cunetas
- contracunetas
- los taludes
- partes complementarias

La corona: es la superficie del camino terminado que queda comprendido entre los hombros del camino, los elementos que definen la corona son:

- a) Rasante
- b) Pendiente transversal.- es la pendiente que se da a la corona normal a su eje de acuerdo a:
 - Bombeo
 - Sobreelevación
 - Transición del bombeo a la sobreelevación
- c) Calzada
- d) Acotamientos

BOMBEO

Es la pendiente que se le 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. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente.

Tipo de superficie de rodamiento		bombeo
Muy buena	Superficie de concreto hidráulico	0.010 a 0.020
Buena	Superficie de mezcla asfáltica, Carpeta de riegos	0.015 a 0.030
Regular a mala	Superficie de tierra o grava	0.020 a 0.040

SOBREELEVACION

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. La ecuación empleada para el cálculo es:

$$S = \frac{0.00785}{R} - \mu$$

En donde:

S = Sobreelevación, en valor absoluto

V = velocidad del vehículo, en km/h

R = Radio de la curva en m.

μ = Coeficiente de fricción lateral

(6) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 367-372



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Con esta expresión se calcula la sobreelevación necesaria para que no se deslice un vehículo que circule por la curva a una velocidad dada; debido a condiciones de operación y conservación se han fijado 4 valores de sobreelevación máxima:

Tipo de zona	% de transito pesado	Sobreelevación máxima
No existan heladas ni nevadas	Mínimo	12 %
No exista nieve o hielo	Alto	10 %
Heladas o nevadas frecuentes	-	8 %
Zonas urbanas	-	6 %

Una vez fijada la sobreelevación máxima el grado de curvatura máximo queda determinado como:

$$G \text{ max.} = \frac{146\,000 (\mu + S \text{ max.})}{V^2}$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

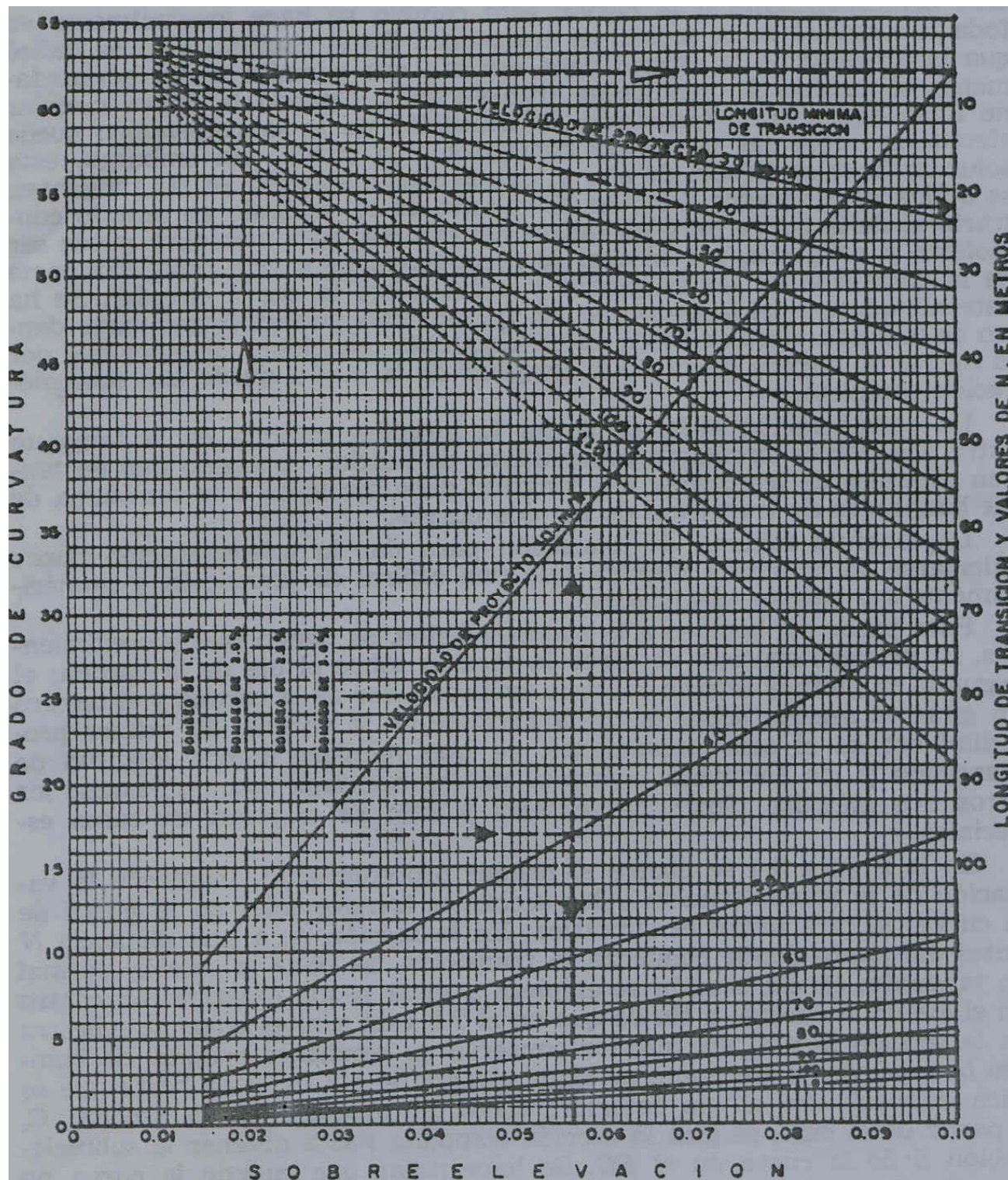


Fig. 6.8



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Para determinar la sobreelevación para cada grado de curvatura y velocidad de proyecto se utiliza la grafica de sobreelevaciones y longitudes de transición. (Fig. 6.8)

Se necesita conocer el grado de curvatura y la velocidad del proyecto, para interceptar dichos valores, y poder conocer la sobreelevación, la longitud mínima de transición y el valor de N.

“TRANSICIÓN DEL BOMBEO A LA SOBREELEVACION”⁷

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, este cambio se realiza sobre la longitud de la espiral o en las tangentes continuas a la curva cuando esta no tiene espirales de transición.

Las transiciones se pueden introducir hasta un 50% dentro de la curva siempre que la tercera parte de la longitud de la curva quede con la sobreelevación completa.

La longitud mínima de la tangente entre dos curvas circulares de sentido contrario sin espirales de transición debe ser igual a la semisuma de las longitudes de transición de las dos curvas.

Para pasar del bombeo a la sobreelevación existen tres procedimientos.

- La sección gira sobre el eje de la corona
- La sección gira sobre la orilla interior de la corona
- La sección gira sobre el exterior de la corona

En el primer procedimiento se indica la variación de la sobreelevación y las secciones transversales hasta la mitad de la curva debido a que la otra mitad es simétrica, se observa en la sección AA a una distancia N antes del punto donde comienza la transición una sección en tangente.

Apartir de la cual se empieza a girar el ala exterior con centro en el eje de la corona a fin de que el TE este a nivel como se muestra en la sección BB y el ala interior conserve su pendiente original de bombeo.

Apartir de ese punto se sigue girando el ala exterior hasta que se hace colineal con el ala interior, como se muestra en la sección CC

Apartir de la cual, se gira la sección completa hasta obtener la sobreelevación S de la curva en el EC.

Cuando la curva circular no tiene espirales de transición y se introduce la transición de la sobreelevación dentro de la curva circular la sobreelevación en el Pc es menor debido a que el vehículo no puede cambiar de radio de giro instantáneamente, por lo que en el PC tendrá necesariamente un radio de giro mayor y por lo tanto se requiere una sobreelevación menor.

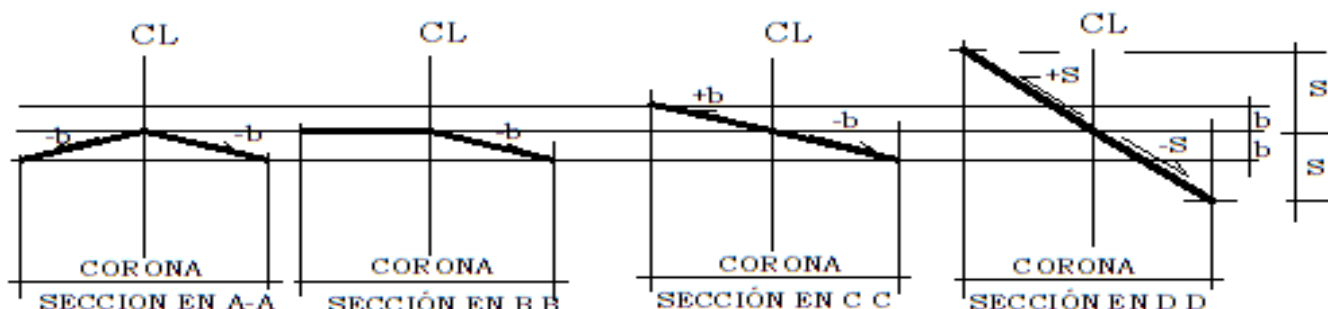
(7) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 374



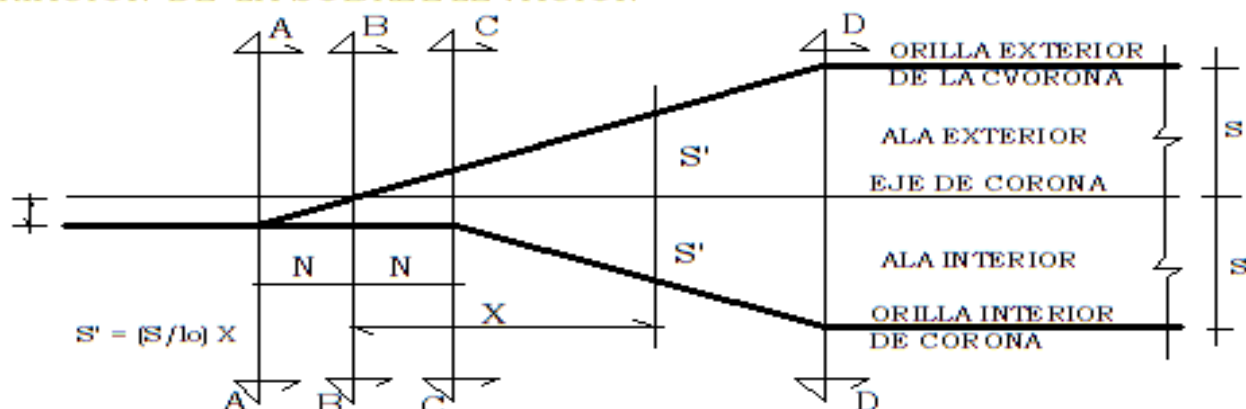
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



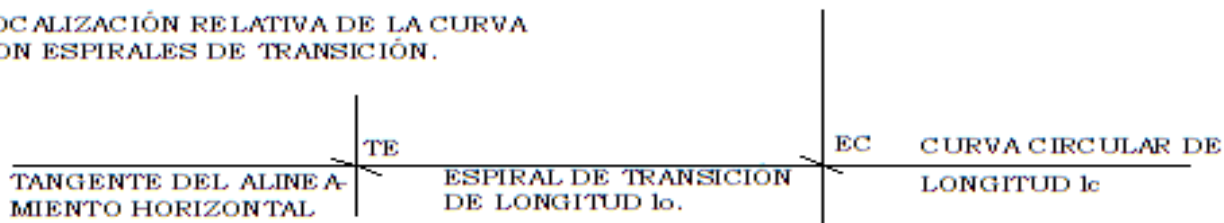
SECCIONES TRANSVERSALES



VARIACIÓN DE LA SOBREELEVACIÓN



LOCALIZACIÓN RELATIVA DE LA CURVA
CON ESPIRALES DE TRANSICIÓN.



LOCALIZACIÓN RELATIVA DE LA CURVA
CIRCULAR SIMPLE

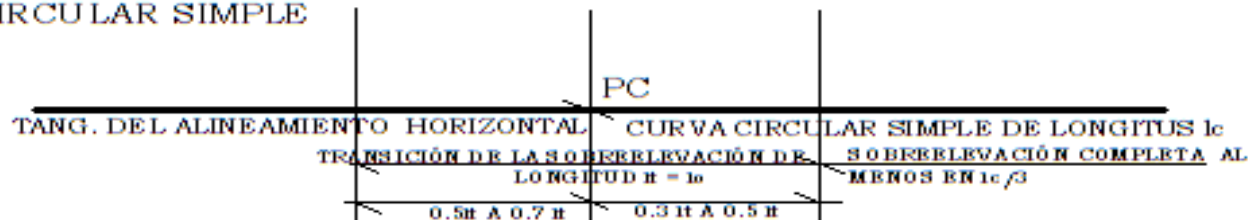


Fig. 6.9: Transición de la sección en tangente a la sección en curva girando sobre el eje de corona.⁸

(8) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 375



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



“CALZADA”⁹

Es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

Este ancho es variable a lo largo del camino dependiendo de la localización de la sección. Cuando un vehículo circula por una curva del alineamiento horizontal, ocupa un ancho mayor que cuando circula sobre una tangente, por lo tanto hace necesario dar un ancho adicional a la calzada respecto al ancho en tangente. A este sobreancho se llama ampliación, la cual debe darse tanto a la calzada como a la corona.

Para caminos de dos carriles, el ancho de calzada en curva se calcula sumando el ancho definido por la distancia entre huellas externas U de dos vehículos que circulan por la curva; la distancia libre lateral C entre los vehículos y entre estos y la orilla de la calzada; el sobreancho FA debido a la proyección del vuelo delantero del vehículo que circula por el lado interior de la curva; y el ancho adicional Z que toma en cuenta la dificultad de maniobra en la curva.

Para fines de proyecto no se consideran las ampliaciones que resulten menores de 20 cm. La ampliación de la calzada en las curvas se da en el lado interior la raya central se pinta posteriormente en el centro de la calzada ampliada. Para pasar del ancho de calzada en tangente al ancho de calzada en curva, se aprovecha la longitud de transición requerida para dar la sobreelevación, de manera que la orilla interior de la calzada forme una curva suave sin quiebres bruscos a lo largo de ella.

En curvas circulares con espirales, la ampliación en la transición puede darse proporcionalmente a la longitud de la espiral, esto es:

$$A' = \frac{A}{l_e} l$$

En donde:

A' = Ampliación en una sección que está a l metros del TE,

l_e = Longitud de la espiral

A = es la ampliación de la curva

Obteniéndose una ampliación nula en TE, ampliación total en EC.

(9) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 376-378

SÍMBOLOS

- a - Ancho de calzada en tangente
- a_c - Ancho de calzada en curva
- A - Ampliación en curva
- V_t - Vuelo trasero
- V_d - Vuelo delantero
- DE - Distancia entre ejes
- EV - Entrevía (en este caso igual al ancho total del vehículo)
- C - Distancia libre entre vehículos
- U - Distancia entre huellas externas
- F_A - Proyección del vuelo delantero
- Z - Sobre ancho por dificultad de maniobra

NOTA- Todas las medidas en metros y normales al alineamiento horizontal.

EXPRESIONES PARA EL CALCULO

$$A = a_c - a$$

$$a_c = 2U + 2C + F_A + Z$$

$$U = \sqrt{EV + R^2 - DE^2}$$

$$F_A = \sqrt{R^2 + V_d(2DE + V_d)^2} - R$$

$$Z = 0.1 \sqrt{\frac{V}{V_t}}$$

ANCHO DE CALZADA (a) en Metros	VALOR DE (Z) en Metros
5.50	0.45
6.10	0.60
6.70	0.75
7.30	0.90

Para caminos con $a=5.50$ en donde se espera bajo volumen de tránsito puede considerarse que $Z=0$

GRÁFICAS DE CALCULO

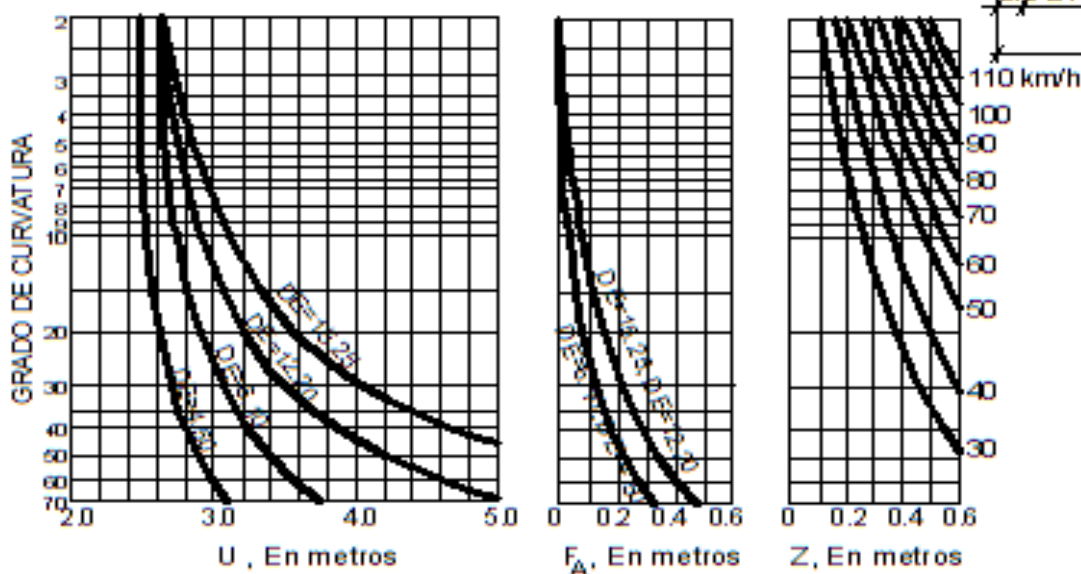


Fig. 6.10



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



“ACOTAMIENTOS”¹⁰

Son las fajas continuas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino. Sus características son:

- Dar seguridad al usuario, al proporcionarle un ancho adicional fuera de la calzada.
- Proteger contra la humedad y erosiones a la calzada
- Mejorar la visibilidad en curvas.
- Facilita los trabajos de conservación
- Dar una mejor apariencia al camino

SUBCORONA

La subcorona es la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas del pavimento, la diferencia entre el terreno natural y la subcorona define los espesores de corte o terraplén, a los puntos intermedios en donde esa diferencia es nula se llama puntos de paso. A los puntos extremos de la sección donde los taludes cortan al terreno natural se les llama ceros.

Elementos que la definen son:

- Subrasante
- Pendiente transversal.- Es la misma pendiente de la corona logrando mantener uniforme el espesor del pavimento
- Ancho.- Es la distancia comprendida entre los puntos de intersección con los taludes y esta en función de la corona y del ensanche.
- Ampliación y sobreelevación en transiciones

El ancho de la subcorona se calcula con la expresión:

$$As = C + e1 + e2 + A$$

Donde:

As = Ancho de la subcorona en m.

C = Ancho de la corona en tangente en m.

E1, e2 = Ensanche, a cada lado del camino en m.

A = Ampliación de la calzada

El ensanche es el sobreancho que se da a cada lado de la subcorona para que, con los taludes de proyecto, pueda obtenerse el ancho de corona después de construir las capas de base y sub-base; esta en función del espesor de estas capas, de la pendiente transversal, y de los taludes.

Cuando el camino va en corte y se proyecta cuneta provisional, el ensanche es nulo.

(10) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 379-383



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

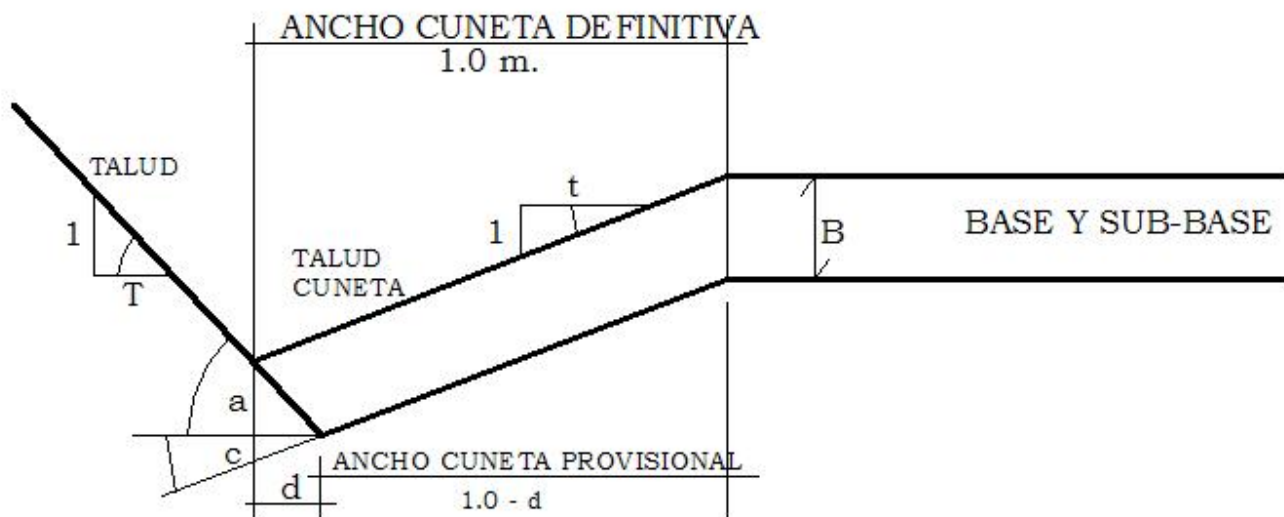


Fig. 6.10a

Pero cuando el camino va a pavimentarse inmediatamente después el ensanche de la subcorona se calcula como sigue:

$$A = B + C; \quad B = A - C \quad A = e \tan \alpha; \quad c = e \tan \theta \quad B = e (\tan \alpha - \tan \theta)$$

$$\tan \alpha = 1 / t; \quad \tan \theta = -S \quad B = e [1 / t - (-S)]$$

$$e = \frac{B \dots}{(1/t) + S}$$

En donde :

e = Ensanche, en m.

B = Espesor de base y sub- base en m.

t = Talud de la cuneta

S = Sobreelevación o pendiente transversal de la corona y la subcorona, con su signo

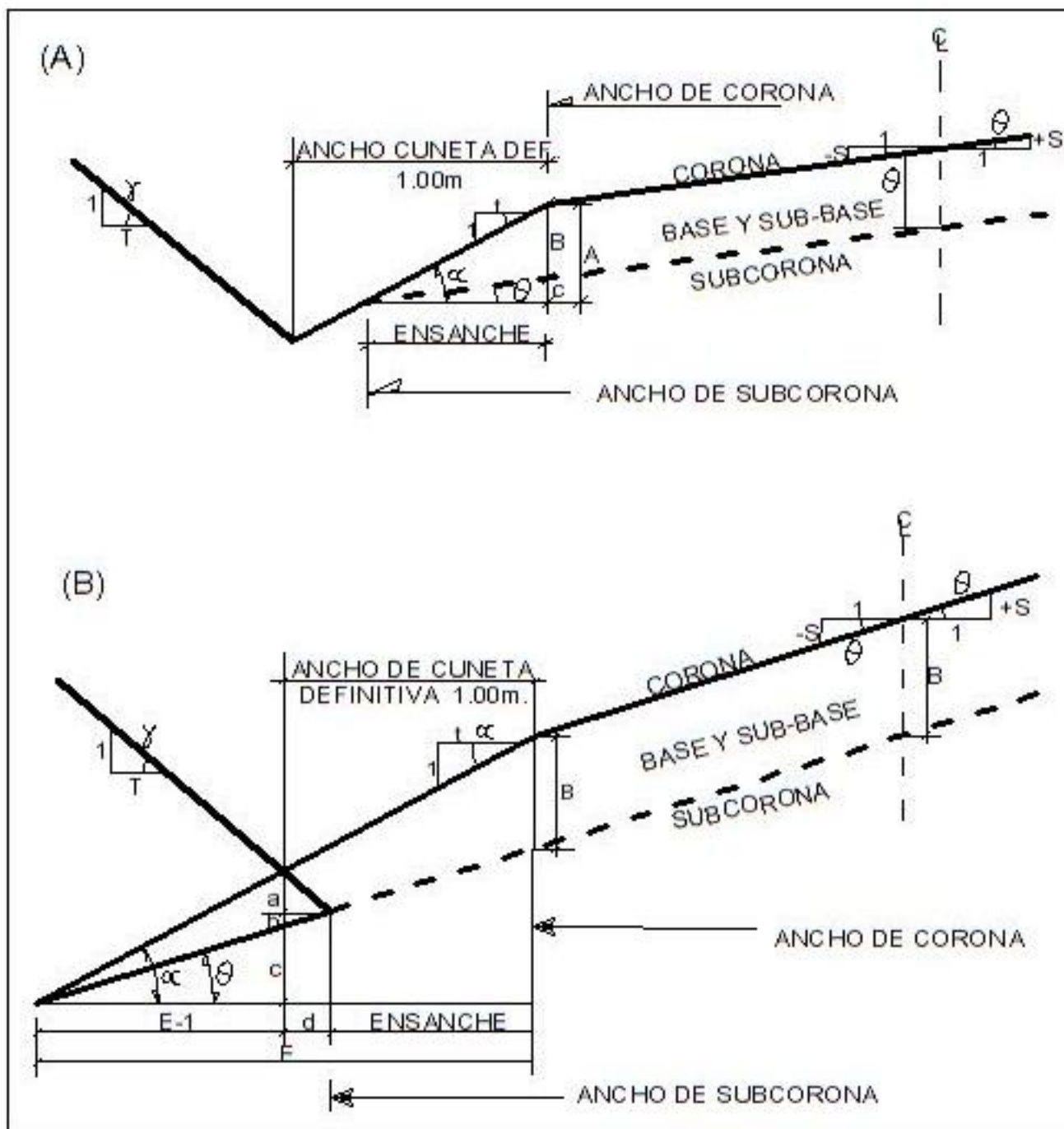


Fig. 6.11

Cuando el espesor del pavimento y la pendiente transversal tienen valores altos, la subcorona corta primero al talud al talud del corte que al talud de la cuneta, por lo que el ensanche se calcula como:



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



$$e = \frac{\frac{1}{T} + \frac{1}{t} - B}{\frac{1}{T} - S}$$

En donde:

e. = Ensanche en m.

B = Espesor de base y sub-base

T= Talud del corte

t. = Talud de la cuneta

S = Sobreelevación o pendiente transversal de la corona y la subcorona, con su signo.

“AMPLIACION Y SOBREELEVACION EN TRANSICIONES” ¹¹

Se establece una metodología que facilita el cálculo, con el uso de la tabla de elevaciones, ampliaciones y ensanches de la subcorona.

En la parte superior hay cinco columnas de datos:

- En la primera se anotan los nombres del camino, tramo y subtramo a que pertenece la curva.
- En la segunda columna se anotan las especificaciones generales de proyecto geométrico pertinentes tales como la velocidad del proyecto V, la sobreelevación máxima (Smax) el grado máximo de curvatura (Gmax), el ancho de coronas en tangente C y el bombeo en tangente b.
- En la tercera columna se anotan los datos específicos de la curva que se esta analizando tales como el grado y el sentido de la deflexión (G=2° Der), la sobreelevación de la curva S, la longitud de transición le, la distancia N y la ampliación de la curva A.
- En la cuarta columna se anota el cadenamiento de los puntos que definen la curva circular y sus transiciones.
- En la quinta columna se efectúa el calculo de los parámetros que definen la variación de la sobreelevación DS y de la ampliación DA. Como esta variación es lineal se tendrá:

$$DS = \frac{S}{le}$$

$$DA = \frac{A}{le}$$

Una vez completa la parte superior de la forma se procede a llenar las columnas y renglones de la tabla propiamente dicha.

En las columnas (1) se anota el cadenamiento de los puntos en donde se van a calcular sobreelevaciones y ampliaciones. Estos puntos son las estaciones cerradas de 20 m, los puntos que definen la curva y sus transiciones y los puntos que se encuentren a una distancia N del principio o fin de la transición.

En las columnas (2) se anotan las distancias d entre el principio o final de la transición y la sección en donde se requiere calcular la ampliación o la sobreelevación.

En las columnas (3) se anotan las sobreelevaciones de las alas del camino. Se anotan primero las sobreelevaciones conocidas que son las de aquellos puntos que definen a la curva y sus transiciones. Las sobreelevaciones restantes se calculan multiplicando la distancia d por el parámetro DS.

(11) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 384-386



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



En las columnas (4) se anotan las ampliaciones de la curva y se complementa con la anotación Izq. o Der. Según sea el sentido.

En las columnas (5) se anotan los valores recomendados para los taludes de del corte y de la cuneta o terraplén en cada estación. Si los taludes son de corte, se acostumbra escribirlos como quebrado, siendo la unidad el denominador y si son de terraplén o cuneta, se escribe el valor del talud.

En las columnas (6) se anotan los ensanches calculados, limitados por los taludes del corte, cuneta o terraplén, cuando se tengan cunetas provisionales el ensanche será nulo.

En las columnas (7) se anotan los semianchos de la subcorona para proyecto, que están integrados por la suma de la semicorona en tangente horizontal, el ensanche y la ampliación.

Mexico - Tuxpan
 Km 176+000 - Km 183+000
 Entronque Ecatepec - Tihuatlan

V=110 km/h
 Smax= 10 %
 Gmax=5.00°
 C = 9.0 m
 b = 2 %
 B =0.3 m
 a = 7.30

G= 2° Der
 S = 6.2
 Le = 50 m
 N = 16.12
 A = 0.16 m

TE -180+530.45
 EC - 180+580.45
 CE - 180+630.45
 ET - 180+680.45

DS = 0.124
 DA = 0.0032

Estacion	d	Sobreelevación		Ampliación	Taludes		Ensanche		Semianchos para proyectos	
		Izquierdo	Derecho		Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho
1	2	3		4	5		6		7	
180+514.33 TE - N		-2.00	-2.0	0.00	3	3	0.97	0.97	5.47	5.47
180+520	10.45	-1.20	-2.0	0.00	3	3	0.95	0.97	5.45	5.47
180+530.45 TE	0.00	0.00	-2.0	0.00	3	3	0.91	0.97	5.41	5.47
180+540	9.55	+ 1.2	-2.0	0.30	3	3	0.87	0.97	5.37	5.56
180+546.57 TE + N	16.12	+ 2.0	-2.0	0.05	3	3	0.85	0.97	5.35	5.63
180+560	29.55	+ 3.7	-3.7	0.10	3	0.25/1	0.81	1.00	5.31	5.80
180+580	49.55	+ 6.1	-6.1	0.16	1.5	0.25/1	0.41	0.99	4.91	5.99
180+580.45 EC		+ 6.2	-6.2	0.16	1.5	0.25/1	0.41	0.99	4.91	5.99
180+600		+ 6.2	-6.2	0.16	1.5	1.5	0.41	0.49	4.91	5.49
180+620		+ 6.2	-6.2	0.16	1.5	1.5	0.41	0.49	4.91	5.49
180+630.45 CE		+ 6.2	-6.2	0.16	1.5	1.5	0.41	0.49	4.91	5.49
180+640	40.45	+ 5.0	-5.0	0.13	1.5	1.5	0.42	0.48	4.92	5.38
180+660	20.45	+ 2.5	-2.5	0.07	3	1.5	0.84	0.48	5.34	5.18
180+664.33 ET - N	16.12	+ 2.0	-2.0	0.05	3	1.5	0.85	0.46	5.35	5.12
180+680	0.45	+ 0.1	-2.0	0.00	3	1.5	0.90	0.46	5.40	4.96
180+680.45 ET	0.00	0.00	-2.0	0.00	3	1.5	0.90	0.46	5.41	4.96
180+696.57 ET + N		-2.00	-2.0	0.00	3	1.5	0.96	0.46	5.47	4.96

“CUNETAS Y CONTRACUNETAS”¹²

Las cunetas y contracunetas son obras de drenaje que por su naturaleza quedan incluidas en la sección transversal.

Las cunetas son zanjas que se construyen en los tramos en corte a uno o a ambos lados de la corona contiguas a los hombros con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes del corte.

Contracunetas son zanjas de sección trapezoidal, que se excavan arriba de la línea de ceros de un corte, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural.

(12) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 387



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



“TALUDES” ¹³

Es la inclinación del paramento de los cortes o de los terraplenes, expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente. (fig. 11a)

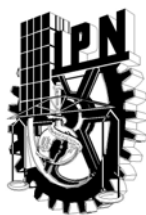
En terraplenes el valor común empleado es de 1.5. En cortes debido al tipo de material es indispensable un estudio.

Dada la experiencia de estudios efectuados a los diversos materiales se tiene los siguientes taludes.



Fig. 11a: Construcción de taludes

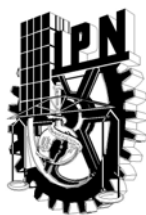
(13) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 388 - 391



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



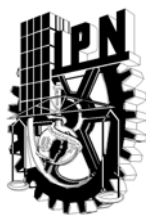
Tipo de Material	Talud Recomendable		Observaciones
	Hasta 8 m.	De 8 m. A 16 m.	
Granito sano y masivo	1/4 : 1	1/4 : 1	Descopetar a 3/4 :1 la parte intemperizada si la hay.
Granito sano, en bloque	1/2 : 1	3/4 : 1	Amacizar taludes según la disposición de los bloques.
Granito sano, fracturado	1/2 : 1	1/2 : 1	No se considera recomendable la construcción de berma en el cambio de talud. El talud recomendable variará de acuerdo con las disposición relativa de las diaclasas respecto al talud.
Granito fracturado y poco alterado.	1/2 : 1	1/2 : 1	Si el fracturamiento es uniforme y favorable
	3/4 : 1	3/4 : 1	Si no es favorable
	1/2 : 1	3/4 : 1	Si el fracturamiento es más intenso en la superior del corte.
Granito totalmente intemperizado (tucuruquay)	1/2 : 1	3/4 : 1	Si el producto de intemperización del granito es arena gruesa bien cementada y compacta
	3/4 : 1	1. : 1	Si el producto de intemperización es arena limosa o arcillosa con poca cementación y compacidad.
Dioritas			Mismo comportamiento que los granitos.
Riolitas fracturadas en grandes bloques con sistemas de fracturamiento principal. Horizontal y verticalmente (columnar)	1/4 : 1	1/2 : 1	No es adecuada la construcción de bermas.
Andesita fracturada en grandes bloques	1/4 : 1	1/4 . 1	Si las fracturas no contiene arcilla
	1/2 : 1	3/4 : 1	Si las fracturas contienen arcilla Estas recomendaciones pueden variar notablemente dependiendo de la posición relativa de los planos de adiacasamiento respecto al talud.
Andesita Fracturada y poco alterada	1/4 : 1	1/2 :1	
Andesita Fracturada y muy intemperizada	1/2 : 1	3/4 . 1	



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Tipo de Material	Talud Recomendable		Observaciones
	Hasta 8 m.	De 8 m. A 16 m.	
Diabasa sana, poco fracturada.	1/8 : 1	1/4 : 1	El que den las columnas generalmente es vertical Si el sistema de fracturamiento es favorable al talud Descopetar a 1/2 : 1 la parte superior del corte si el fracturamiento es muy intenso. Estas recomendaciones pueden variar notablemente dependiendo de la posición relativa de los planos de adiacasamiento respecto al talud.
Basalto columnar	1/8 : 1	1/4 : 1	
Basalto fracturado, sano	1/4 : 1	1/4 : 1	
Basalto fracturado en bloque de todos los tamaños (mal país)	1/2 : 1 3/4 : 1	3/4 : 1 3/4 : 1	Si esta empacado en arcillas
Basalto muy fracturado y alterado	1/2 : 1	1/2 : 1	
Derrames basalticos intercalados con piroclasticas y tezontles	3/4 : 1	1. : 1	Conviene la construcción de banquetta de 4m al pie de talud para recibir desprendimientos.
Tezontle suave bien cementado	1/4 : 1	1/2 : 1	
Tezontle sano fragmentario	3/4 : 1	1. : 1	
Tezontle intemperizado	3/4 : 1	3/4 : 1	
Tobas andesiticas, rioliticas o basalticas, sanas y fuertemente cementadas.	1/4 : 1	1/4 : 1	Si presentan fracturamiento columnar deberá darse la inclinación de dichas columnas. Deberá tenerse especial cuidado para no usar explosivos en exceso.
	1/4 : 1	3/4 : 1	Si esta intemperizadas en la parte superior del corte.
Tobas brechoides medianamente cementadas	1/4 : 1	1/4 : 1	Un solo talud para cortes menores de 16 m.
Tobas debilmente cementadas	3/4 : 1	1. : 1	
Lutita dura y resistente, con echado casi horizontal, poco fracturada.	1/4 : 1	1/4 : 1	Construir contracunetas impermeables si se requiriesen. Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de planos de sedimentación respecto al plano del talud.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Tipo de Material	Talud Recomendable		Observaciones
	Hasta 8 m.	De 8 m. A 16 m.	
	1/4 : 1	1/2 : 1	Si la parte superior del corte se encuentra más fracturada. requieriesen. Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de planos de sedimentación respecto al plano del talud.
Areniscas fuertemente cementadas	1/8 : 1	1/8 : 1	
Areniscas debilmente cementadas	1/2 : 1	3/4 : 1	
Conglomerado brechoide bien cementado con matriz silicosa	1/8 : 1	1/8 : 1	
Conglomerados cementados con matriz calcica	1/4 : 1	1/4 : 1	
Conglomerado pobremente cementado o con matriz arcillosa	1/2 : 1	3/4 : 1	
Caliza fracturada con echados casi horizontales	1/8 : 1	1/8 : 1	Descopetar a 1/2 : 1 la parte superior del corte si el fracturamiento es muy intenso. Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de planos de sedimentación respecto al plano del talud.
Caliza muy fracturada, cavervosa y poca alterada	1/2 : 1	3/4 : 1	
Pizarras con planos de apizarramiento de 5 a 10 cm de separación, con echados casi horizontales	1/4 : 1	1/2 : 1	Se aconseja la construcción de contracunetas impermeables si estas son necesarias
Aglomerados mediante compactos	3/4 : 1	3/4 : 1	
Arenas limosas pumiticas y vidrios volcanicos (jales)	3/4 : 1	1. : 1	Protección de taludes inmediata "tepes", cunetas y contracunetas impermeabilizadas.
Limos arenosos muy compactos (tepetates)	1/4 : 1	1/2 : 1	
Arcillas pocas arenosas firmes (homogéneas)	1/2 : 1	1/2 : 1 a 3/4 : 1	
Arcillas muy suaves expansivas y compresibles.	1. : 1	1.5 : 1	Si existe nivel freático se requerirá buen subdrenaje.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Caolín producto de alteración
de dioritas.

1. : 1

Cubrir con "tepes" el talud. Altura máxima de
corte 8 m. Si existe nivel freático se requerirá
buen subdrenaje.

PARTES COMPLEMENTARIAS

Son aquellos elementos con los cuales se trata de mejorar la operación y conservación del camino.
Estos elementos son:

- Guarniciones
- Bordillos
- Banquetas
- Fajas separadoras
- Las defensas
- Dispositivos para el control del tránsito.

6.2.- ELEMENTOS QUE DEFINEN EL PROYECTO DE LA SUB-RASANTE

Los elementos que definen el proyecto de la sub-rasante, son los siguientes:

- A).- Condiciones Topográficas.
- B).- Condiciones geotécnicas.
- C).- Sub-rasante mínima.
- D).- Costo de terracerías.

6.3.- CONDICIONES TOPOGRAFICAS Y GEOTECNICAS.

6.3.1.- CONDICIONES TOPOGRAFICAS”¹⁴

De acuerdo a la configuración del terreno este se considera en los siguientes tipos:

- Plano
- Lomerío
- Montañoso.

Estos conceptos están íntimamente ligados 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.

(14) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
Pg. 396



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



TERRENO PLANO:

Se considera terreno plano, aquel cuyo perfil acusa pendientes longitudinales uniformes y de corta magnitud, con pendiente transversal escasa o nula.

En terreno plano el proyecto de la sub-rasante será generalmente en terraplén, sensiblemente paralelo al terreno, con una altura suficiente para quedar a salvo de la humedad propia del suelo y de los escurrimiento laminares en él, así como para dar cabida a las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel. El proyecto de tramos con visibilidad de rebase generalmente no presentan ninguna dificultad, tanto por lo que respecta al alineamiento horizontal como al vertical.

TERRENO EN LOMERIO

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

En un terreno considerado como lomerío, el proyectista estudiará la subrasante combinando las pendientes especificadas, obteniendo un alineamiento vertical ondulado, que en general permitirá aprovechar el material producto de los cortes, para formar los terraplenes continuos. El proyecto de la subrasante en este tipo de suelo tiene como características:

- Proyecto de la subrasante a base de contra pendientes.
- Compensación longitudinal de las terracerías en tramos de longitud considerable.
- No presentar problemas para dejar el espacio vertical necesario para alojar las alcantarillas, los pasos a desnivel y puentes.

TERRENO MONTAÑOSO.

Este tipo de terreno se caracteriza por tener pendientes transversales mayores de 25° , así como accidente topográficos notables y cuyo perfil obliga a fuertes movimientos de tierra.

En el 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 firme la corona del camino, la elevación de la subrasante debe estudiarse considerando la construcción de muros de contención o de viaductos, con el objeto de obtener el menor costo del tramo. En ocasiones, el proyecto de un túnel puede ser la solución conveniente.

Son características del terreno montañoso:

- El empleo frecuente de las especificaciones máximas, tanto en el alineamiento horizontal como en el vertical.
- La facilidad de disponer del espacio libre para dar cabida a alcantarillas y puentes
- La presencia en el diagrama de masas una serie de desperdicios interrumpidos por pequeños tramos compensados.
- La frecuencia de zonas críticas
- Los grandes volúmenes de tierra a mover
- La necesidad de proyectar alcantarillas de alivio
- Alto costo de construcción resultante, si se quiere considerar en el proyecto la visibilidad de rebase.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Dada la íntima liga que existe entre los alineamientos horizontal y vertical en todos los casos descritos, especialmente en el último, es necesario que al proyectar el alineamiento horizontal se tome en cuenta los problemas que afecta el estudio económico de la subrasante.

“6.3.2.- CONDICIONES GEOTECNICAS”¹⁵

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.

Las especificaciones generales de construcción de la Secretaría de Obras Públicas (S.O.P.) clasifica a los materiales de acuerdo a:

- Dificultad que ofrecen a su ataque.
- La Compactación.

6.4.- SUB-RASANTE MINIMA.¹⁵

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:

- Obras menores
- Puentes
- Zonas de inundación
- Intersecciones

OBRAS MENORES

Para lograr la economía deseada y no alterar el buen funcionamiento del drenaje, es necesario que el estudio de la subrasante respete la elevación mínima que requiere el proyecto de las alcantarillas. Esto es determinante en terrenos planos, pues en terrenos considerados como de lomerío y montañosos, solamente en casos aislados habrá que tomar en cuenta la elevación mínima, ya que el proyecto de la subrasante estará obligado por las condiciones que este tipo de configuración topográfica impone y generalmente habrá espacio vertical suficiente para dar cabida a las obras menores.

PUENTES

Aun cuando en los cruces de corrientes que hacen necesaria la construcción de puentes, la elevación definitiva de la subrasante no será conocida hasta que se proyecte la estructura, es necesario tomar en consideración los elementos que intervienen para definir la elevación mínima, con el objeto de que el proyecto del alineamiento vertical se aproxime lo más posible a la cota que se requiere.

Para lograr lo anterior se debe contar con los siguientes datos:

(15) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 398



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- Elevación del nivel de aguas máximas extraordinarias.
- Sobre elevación de las aguas ocasionada por el estrechamiento que origina el puente en el cauce.
- Espacio libre vertical necesario para dar paso a cuerpos flotantes.
- Peralte de la superestructura.

La suma de los valores de estos elementos determina la elevación mínima de rasante necesaria para alojar el puente, de la cual habrá que deducir el espesor de pavimento para obtener la elevación de la subrasante.

ZONAS DE INUNDACION.

El paso de un camino por zonas de inundación obliga a guardar cierta elevación de la subrasante que se fija de acuerdo con el nivel de aguas máximas extraordinarias, con la sobre elevación de las aguas producida por el obstáculo que a su paso presentará el camino y con la necesidad de asegurar la estabilidad de las terracerías y del pavimento.

En estos casos se recomienda que la elevación de la subrasante sea como mínimo un metro arriba del nivel de aguas máximas extraordinarias.

INTERSECCIONES

Los cruces que un camino tiene con otras vías de comunicaciones terrestres, ya sean en proyecto o existentes, dan lugar a intersecciones que pueden ser a nivel o a desnivel. En este caso el proyecto de la subrasante deberá considerar la vía terrestre que se cruce.

6.5.- LIGA DE SUB-RASANTES

Un punto muy importante en un proyecto de un camino, es la liga de rasantes del proyecto en estudio con el cruce de los caminos existentes, intersecciones con vías secundarias o cualquier libramiento. Esta consiste básicamente en conocer la elevación de las rasantes en el punto de intersección para poder unirlos sin alterar las condiciones de velocidad tanto del nuevo camino como del camino ya existente y tener incorporaciones viales de manera eficiente y segura.

La podemos dividir en dos:

La liga de subrasante en puntos intermedios: se presenta regularmente por accidentes topográficos, obras de drenaje y lugares donde se modifico su rasante inicial.

La liga de rasante en puntos obligados de origen y final de camino: son generalmente intersecciones que se presenta en el camino principal con caminos secundarios.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Fig. 6.12.- liga de rasantes

DATOS GENERALES DEL PROYECTO TOMADOS EN EL ESTUDIO DE LA SUBRASANTE:

Carretera: México – Tuxpan Km. 183+000 al Km. 190+000
Tramo: Entronque Ecatepec – Tihuatlan.

DATOS GEOMETRICOS DEL PROYECTO:

Carretera tipo A-2	Velocidad 110 Km./hr
Corona longitud 12 m.	Ancho de carpeta 7 m.
Base y Sub-base 0.40 m de espesor.	Curva máxima 2°45'
Pendiente máxima 6.00 %	

TIPOS DE CURVAS VERTICALES EXISTENTES EN PROYECTO:

Cresta:

- Pendiente de entrada = 5.50 %
- PCV = km 189+100 Elevación 482.25
- PIV = km 189+200 Elevación 476.75
- PTV = km 189+300 Elevación 470.75
- Pendiente de salida = -6.00%

Columpio:

- Pendiente de entrada = -6.00 %
- PCV.- km 189+420 Elevación 463.55
- PIV .-km 189+660 Elevación 449.15
- PTV .- km 189+900 Elevación 457.79
- Pendiente de salida = 3.60 %



6.6.- CÁLCULO TRADICIONAL Y ELECTRONICO.

6.6.1 CALCULO TRADICIONAL.

Para lograr la aproximación debida en el cálculo de los volúmenes de tierra, es necesario obtener la elevación de la subrasante tanto en estaciones cerradas como en las intermedias en que se acusan cambios en la pendiente del terreno. Así mismo, es conveniente calcular la elevación de los puntos principales de las curvas horizontales, en los que la sección transversal sufre un cambio motivado por la sobre elevación y la ampliación.

Obtenida la elevación de la subrasante para cada una de las estaciones consideradas en el proyecto, se determina el espesor correspondiente dado por la diferencia que existe entre las elevaciones del terreno y de la subrasante. Este espesor se considera en la sección transversal del terreno previamente dibujada, procediéndose al proyecto de la sección de construcción.

El cálculo de los volúmenes se hace con base en las áreas medidas en las secciones de construcción y los movimientos de los materiales se analizan mediante un diagrama llamado curva masa.

SECCIONES DE CONSTRUCCIÓN

Se llama así a la representación grafica de las secciones transversales que contienen tanto los datos propios del diseño geométrico, como los correspondientes al empleo y tratamiento de los materiales que forman las terracerías:

Los elementos y conceptos que determinan el proyecto de una sección de construcción, pueden separarse en dos grupos claramente definidos:

- A. Los propios del diseño geométrico
- B. Los impuestos por el procedimiento a que debe sujetarse la construcción de las terracerías

Elementos del diseño geométrico (fig. 6.13):

- Espesor de corte o de terraplén
- Ancho de corona
- Ancho de calzada
- Ancho de acotamiento
- Pendiente transversal
- Ampliacion en curvas
- Longitud de transición
- Espesor de pavimento
- Ancho de subcorona
- Talud de corte o de terraplén
- Dimensiones de las cunetas

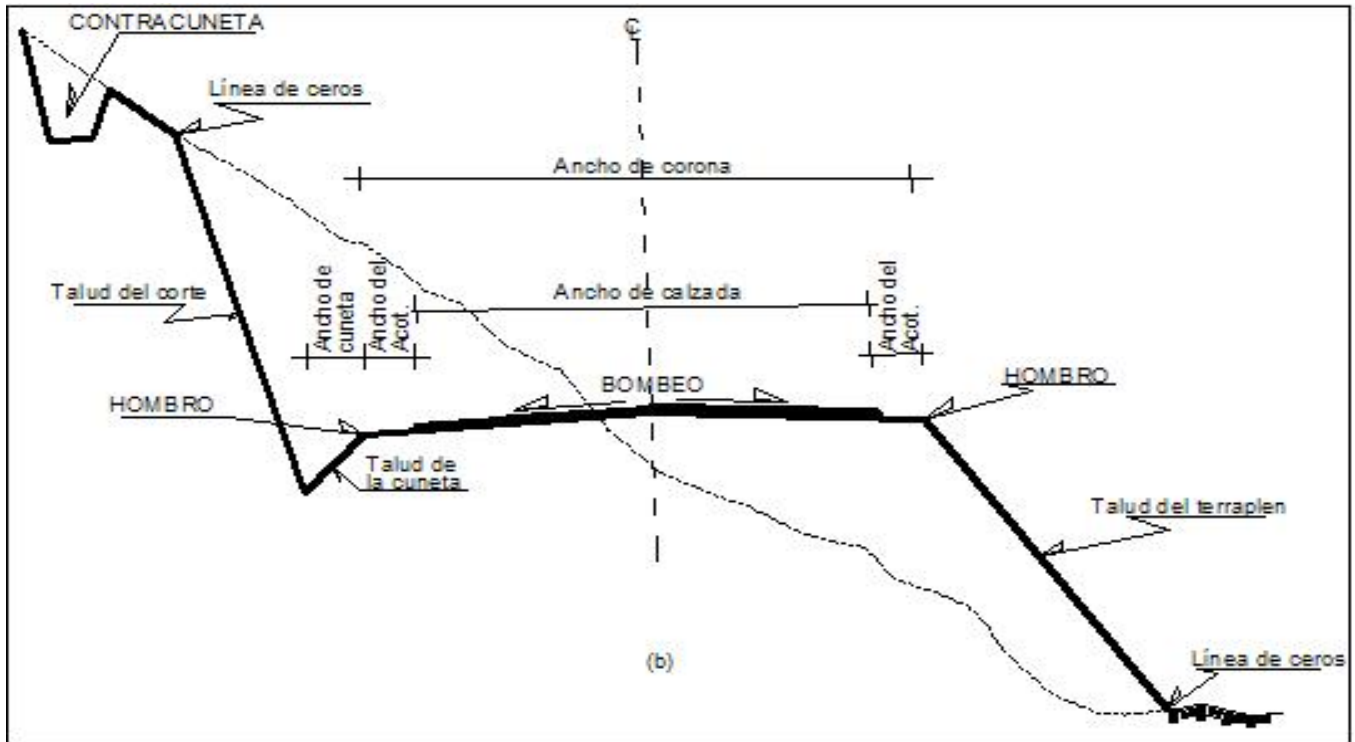


Fig. 6.13

Elementos impuestos por el procedimiento a que debe sujetarse la construcción de las terracerías: ¹⁶

- Despalme.
- Compactación del terreno natural.
- Escalón de liga.
- Cuerpo del terraplen.
- Capa subrasante.
- Cuña de afinamiento.
- Muro de retención.
- Berma.
- Estratos en corte.
- Caja en corte.

DESPALME.-

Es la remoción de la capa superficial del terreno natural que, por sus características no es adecuada para la construcción

COMPACTACIÓN DEL TERRENO NATURAL.-

Es la que se da al material del terreno sobre el que se desplantará un terraplén o al que quede debajo de la capa subrasante en un corte, para proporcionarle a ese material el peso volumétrico requerido.

(16) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de carreteras 4ta. Reimpresión, México Secretaría de Comunicaciones y Transportes Pp 400-403



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



ESCALÓN DE LIGA.-

Es el que se forma en el área de desplante de un terraplén, cuando la pendiente transversal del terreno es poco menor que la inclinación del talud 1.5:1, a fin de obtener una liga adecuada entre ellos y evitar un deslizamiento del terraplén. También se proyecta en casos de ampliación o reconstrucción de caminos existentes, cuando la distancia horizontal entre taludes, es menor que el ancho del equipo de construcción, para lo cual hay que recortar el terraplén existente, hasta obtener la distancia mínima necesaria. Las dimensiones de los escalones de liga se fijan de acuerdo con las características de los materiales y del equipo de construcción.

CUERPO DEL TERRAPLÉN.-

Se llama así a la parte del terraplén que se queda debajo de la subcorona. Está formado por una o más porciones según sea la elevación del terraplén, las características de los materiales y el tratamiento que se les dé.

CAPA SUBYASENTE.-

Es también llamada capa de transición y es la porción entre el cuerpo de terraplén y la capa subrasante, su espesor generalmente es de 50 cm. formada por materiales seleccionados de acuerdo con los estudios de geotecnia

CAPA SUBRASANTE.-

Es la porción final del cuerpo de terraplén, tanto en corte como en terraplén. Su espesor es comúnmente de 30 cm. y está formada por suelos seleccionados para soportar las cargas que le transmite el pavimento.

CUÑA DE AFINAMIENTO

Es el aumento lateral que se da a un talud de terraplén, para lograr la compactación debida. Es de forma triangular, comúnmente de 20 cm. De ancho en su parte superior al nivel del hombro de la subcorona y termina en la línea de ceros del talud o en el lecho superior de la porción inferior, si está es de material no compactable. Esta cuña debe recortarse en el afinamiento final.

MURO DE RETENCIÓN.-

Cuando la línea de ceros del terraplén no llega al terreno natural es necesario construir muros de retención, cuya ubicación y altura estarán dadas como resultado de un estudio económico.

BERMA.-

En un terraplén, está formada por el material que se coloca adosado a su talud, a fin de darle mayor estabilidad al terraplén. En corte, es un escalón que se hace recortando el talud, con el objeto de mayor estabilidad y de detener en él al material que se pueda desprender, evitando así que llegue hasta la corona del camino.

ESTRATOS EN CORTES.-

Así se designan a las diferentes capas que aparecen en un corte, cuando cada una de ellas está formada por material de distintas características de las demás. En una sección en corte se observa lo siguiente:



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- La capa superficial del terreno o estrato.- En general está formada por materiales finos, si es aprovechable por su calidad para formar el terraplén, se considera como tal; si por el contrario es inadecuado para ese empleo, viene a ser el despalme descrito.
- Las siguientes porciones representan dos estratos formados por material adecuado para la formación de terracerías, pero cuyas características son distintas entre si.

CAJA EN CORTE.-

Es la excavación del material subyacente a la subcorona, inadecuado para formar la capa subrasante. Este material debe ser sustituido por otro de características apropiadas. (fig. 6.14)

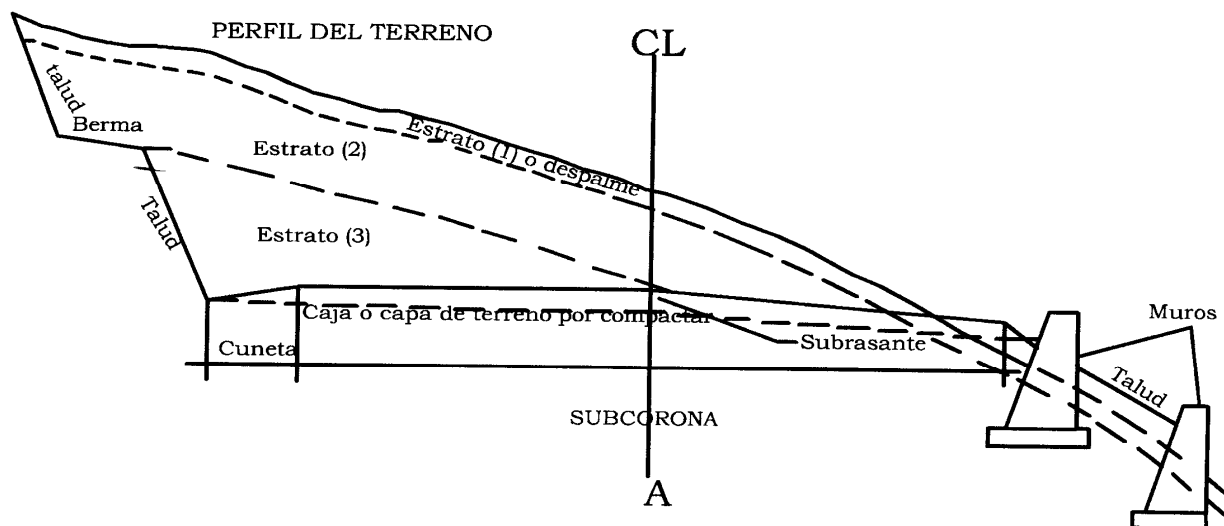


Fig. 6.14

DETERMINACION DE ÁREAS. ¹⁷

Para fines de presupuesto y pago de la obra es preciso determinar volúmenes de corte como de terraplén, por lo tanto es necesario el cálculo de las áreas consideradas en el proyecto de la sección de construcción.

Dentro de los distintos procedimientos empleados para este fin los siguientes tres son los más comunes

- a) Método analítico.
- b) Método gráfico.
- c) Método del planímetro.

Método Analítico. Este método se basa en la descomposición de la sección en figuras regulares obtenidas al trazar líneas verticales por los puntos de quiebre del terreno y de la sección de construcción. Si se considera una sección en corte como la mostrada en la figura, referida a un sistema de ejes cartesianos; el área de la sección es la suma de las áreas de los trapecios: A23CA, C34DC Y D45FD, menos la suma de las áreas de los trapecios A21BA, B16EB Y E65FE. Puesto que el área de un trapecio es la semisuma de las bases por la altura. (fig. 6.15)

(17) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de carreteras 4ta. Reimpresión, México Secretaría de Comunicaciones y Transportes Pp 400-412

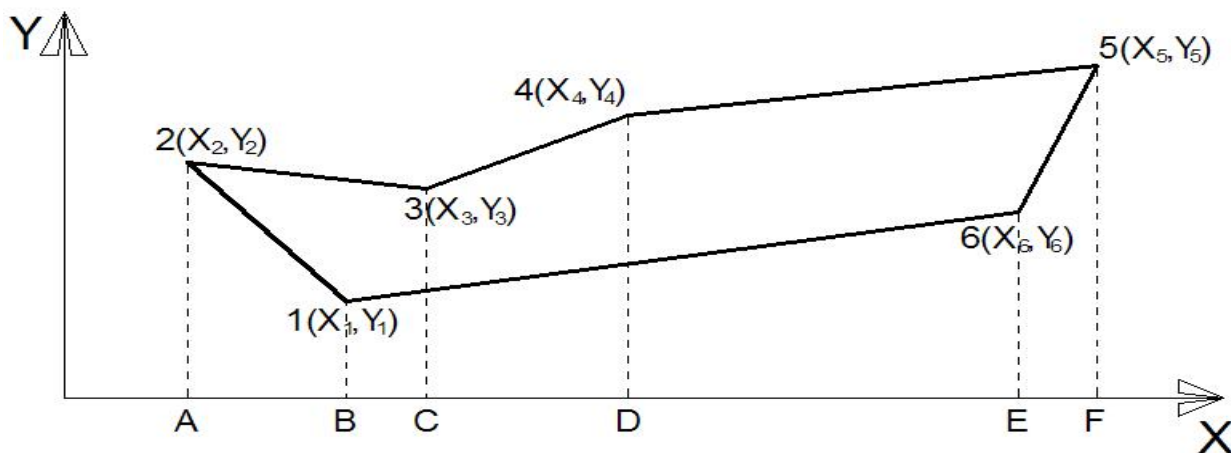


Fig. 6.15

Método gráfico. En la figura, la sección en terraplén mostrada se divide en trapecios y dos triángulos extremos mediante líneas verticales a una separación constante. El área de la sección es igual a la suma de las áreas parciales. Para que esta expresión fuera exacta se necesitaría que las líneas verticales coincidieran en todos los casos con los puntos de cambio dependiente del terreno, con los ceros, hombros y centro de la línea de la sección, lo que no siempre sucede; el error que se origina es función de la equidistancia y lógicamente será menor conforme esta sea más pequeña.

La aplicación del método gráfico, basado en esta expresión, consiste en acumular las distancias verticales aa' , bb' , cc' , dd' , marcándolas en una tirilla de papel; una vez efectuada la operación en toda la sección, la distancia entre las marcas extremas de la tirilla multiplicada por la equidistancia S , se define el área total de la sección. (fig. 6.16)

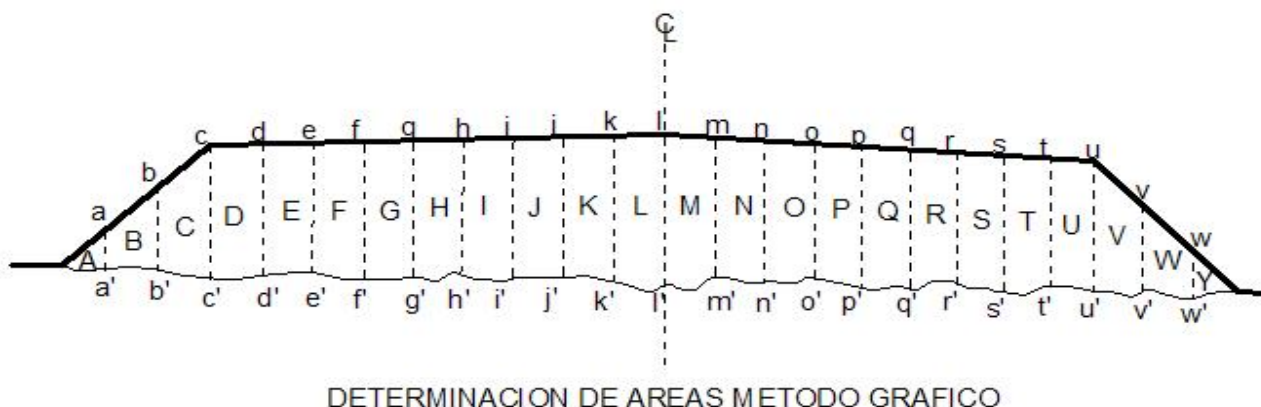


Fig. 6.16

Método del planímetro. Por la rapidez en su operación y por la precisión que proporciona el planímetro es el instrumento que más se presta para la determinación de las áreas. De los distintos tipos que existen, el polar de brazo ajustable es el más usado.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



CALCULO DE VOLUMENES.

Una vez que se han determinado las áreas de las secciones de construcción, se procede al cálculo de los volúmenes de tierra. Para ello es necesario suponer que el camino está formado por una serie de prismoides tanto en corte como en terraplén. Cada uno de estos prismoides está limitado en sus extremos por dos superficies paralelas verticales representadas por las secciones de construcción y lateralmente por los planos de los taludes, de la subcorona y del terreno natural.

6.6.2.- CÁLCULO ELECTRONICO

GENERALIDADES

Los datos utilizables en el programa “proyecto de curva masa”, están agrupados en 14 bloques de datos, y son los siguientes:

- 1) .-DATOS GENERALES
- 2) .-SECCIONES TRASVERSALES DE TERRENO
- 3) .-ALINEAMIENTO VERTICAL
- 4) .-SOBREELEVACIONES
- 5) .- GEOMETRÍA
- 6) .- DATOS DE TERRAPLEN
- 7) .- ESPESORES Y TRATAMIENTOS
- 8) .- ESPECIFICACIONES PARA CORTES
- 9) .- MUROS
- 10).- SUPRESIÓN DE VOLÚMENES
- 11).- BERMAS
- 12).- DATOS ADICIONALES DE AMPLIACIONES Y SOBREELEVACIONES PARA ENTRONQUES
- 13).- DOCUMENTACION
- 14).- ZONAS DE PRECIOS DEL TABULADOR

Los seis últimos, supresiones, muros, bermas, sobreelevaciones para entronques, documentación y tabulador, son opcionales, según lo requiera el proyecto.

6.6.2.1 CODIFICACION PARA EL PROCESO ELECTRONICO ¹⁸

Para proporcionar los datos, de los bloques anteriores se cuenta con doce formas de codificación. A continuación indicamos la manera de llenarlas.

APEGARSE A LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES PARA EL LLENADO DE LAS HOJAS DE CODIFICACIÓN.

- a) Respetar los espacios asignados para cada uno de los campos.
- b) Anotar claramente el nombre del archivo en cada forma.
- c) Llenar las hojas de codificación con tinta y letra clara.

(18) SCT (1991) Manual de procedimiento electrónico 2ª reimpresión México 2000



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- d) En todas las formas el primer cadenamiento a codificar, debe corresponder al cadenamiento de la primera sección transversal a procesar.
- e) El último cadenamiento especificado en todas las hojas de codificación debe ser mayor a la última sección transversal a procesar, en ningún caso terminara con un cadenamiento menor o igual.
- f) Respetar siempre la posición del punto decimal, marcado con un pequeño triángulo invertido en el encabezado de las formas, considere las unidades correspondientes.
- g) Es necesario tener definida una sección transversal de terreno donde cambien los datos de cualquiera de los bloques antes definidos con excepción de los datos generales, alineamiento vertical y secciones transversales de terreno, de lo contrario no se efectuarán dichos cambios.
- h) Los cadenamientos están en metros y tiene aproximación al centímetro.

1.- DATOS GENERALES

En esta forma se especifican los datos generales del tramo a procesar, estos son:

CAMINO	Nombre del camino.
TRAMO	Nombre del tramo del camino.
ALTERNATIVA	Nombre de la alternativa.
ORIGEN	Origen del camino
PROYECTISTA	Nombre del proyectista o compañía encargada en realizar el proyecto de terracerías.
CADENAMIENTO INICIAL	Cadenamiento inicial del tramo.
CADENAMIENTO FINAL	Cadenamiento final del tramo.
TIPO DE CAMINO	Tipo de camino, según especificaciones de proyectos (A4S, A4 , A2 , BC , C , D , E).

Estos datos serán empleados para identificar el proyecto, no serán involucrados en el proceso, los siguientes datos, si son utilizados para el cálculo:

CUNETAS	Esta puede ser provisional o definitiva, para especificarlo se debe especificarlo, se debe subrayar la opción.
ESPESOR DE SUBBASE + BASE	Este es el espesor de revestimiento y debe especificarse en metros con aproximación al centímetro.
PRECIOS UNITARIOS ZONA	Zona de tabulador para utilizar los precios, correspondientes a las cantidades de obras generadas en el proceso. Se codifican hasta los caracteres (1, 1M, 2, 3, 4S, 4T, etc.).
FECHA	Fecha de actualización de los precios unitarios.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



2.- SECCIONES TRAVERSALES DEL TERRENO

Las secciones transversales del terreno se suponen contenidas en un plano vertical normal al eje y definidas por puntos del seccionamiento entre los cuales existe variación lineal del terreno.

Por cada sección del terreno que se reporte se proyectara la correspondiente sección de construcción, por lo que la primera y última sección determinan los límites del tramo de cálculo.

Se considerará que el eje de proyecto es el origen del sistema de referencia, se toman distancias y desniveles a cada lado del eje, tomando como negativas las distancias a la izquierda y positivas a la derecha; para desniveles, serán negativos los que se encuentren por debajo del eje de proyecto y positivos los que estén por arriba.

Se especificaran:

Para cada sección:

CADENAMIENTO DE LA SECCION

ELEVACIÓN DEL TERRENO (En metros con aproximación al centímetro)

Para cada punto;

DISTANCIA (En metros con aproximación al centímetro)

DESNIVEL (En metros con aproximación al centímetro).

3.- ALINEAMIENTO VERTICAL

En esta forma se describe el alineamiento vertical por medio de los puntos de inflexión vertical y longitudes de las curvas, el proyectista debe haber verificado la constancia de estos datos, los cuales deben cubrir todo el tramo de cálculo.

Cada punto de inflexión vertical (PIV) se describirá con los siguientes datos

CADENAMIENTO DEL PIV

ELEVACIÓN DEL PIV En metros con aproximación al centímetro.

LONGITUD DE CURVA VERTICAL En metros con aproximación al centímetro

Restricciones: El principio y final del alineamiento vertical deberán contar con PIV sin curva(longitud de curva =0).

4.- SOBREELEVACIONES Y AMPLIACIONES

Para sobreelevaciones y ampliaciones, se deben codificar los siguientes datos:

CADENAMIENTO Cadenamiento donde hay alguna variación en los valores de



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Ampliaciones y sobreelevaciones.

SOBREELEVACION IZQUIERDA	Valor de la sobreelevación izquierda que tendrá a partir de este cadenamiento.
SOBREELEVACION DERECHA	Valor de la sobreelevación derecha que tendrá a partir de este cadenamiento.
AMPLIACIÓN IZQUIERDA	Valor de la ampliación izquierda que tendrá a partir de este cadenamiento.
AMPLIACIÓN DERECHA	Valor de la ampliación derecha que tendrá a partir de este cadenamiento.

La sobreelevaciones están dadas en porcentaje, por ejemplo si se codifica – 2.00 significa una sobreelevación del –2%

Las ampliaciones están dadas en metros con aproximación al centímetro.

5.- DATOS GEOMÉTRICOS

Estos datos se refieren a la geometría de la sección de construcción y es necesario especificar los cadenamientos en los que observan cambios en los datos geométricos.

A continuación se explican los datos geométricos comprendidos en este bloque y las consideraciones para su codificación.

CADENAMIENTO	Estación donde se localiza la sección a partir de la cual se Desea un cambio geométrico.
ANCHO DE CUNETA	Izquierda y derecha. En metros con aproximación al centímetro
TALUD DE CUNETA	Izquierda y derecha en metros con aproximación al centímetro.
ALTURA DE QUIEBRE	Izquierda y derecha. En metros con aproximación al centímetro.
CUÑA DE AFINAMIENTO	En esta clave se indicara un 1 si se proyecta con la sección en Terraplén cuña de afinamiento o un 0 si no.

6.- DATOS DE TERRAPLEN

Estos datos se relacionan con las secciones proyectadas en terraplén y con los diagramas de masas.

Para el terraplén en las secciones, los datos utilizados son:

CADENAMIENTO	Para cambiar los datos de terraplenes y/o OCM.
--------------	--



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



ESPESOR DE COMPACTACIÓN DEL TERRENO NATURAL En metros con aproximación al centímetro.

TALUD DE TERRAPLEN Izquierdo y derecho.

En relación a los diagramas de masas se tiene:

O C M DE LOS DIAGRAMAS Ordenadas de curva masa 1, 2 y inicia – 3 iniciales. En Metros cúbicos con aproximación al entero, cuya Especificación normalmente es al inicio de tramo de Cálculo, pero puede redefinirse a lo largo del mismo.

Los límites del tramo de datos de terraplén deben de cubrir todo el tramo de cálculo.

7.- DATOS DE ESPESORES Y TRATAMIENTOS.

En esta forma se describen los espesores de las capas subrasante y subyacente de la sección de construcción y el tipo de tratamiento de las mismas en función de su localización en los tratamientos a emplear.

Los datos utilizados son:
Para espesores:

CADENAMIENTO	Estación donde cambian los espesores y/o tratamiento .
SBR	Espesor de subrasante (En metros) con aproximación al Centímetro
SBY	Espesor de subyacente de corte y terraplén (en metros).Con Aproximación al centímetro.

Para tratamientos:

Tanto para trato 2 como 3, Subyacente y subrasante, se codifica según las siguientes claves:

CLAVE

1 Caja	El material no sirve y es necesario hacer una caja (se deben generar al menos dos ordenadas de curva masa).
2 Exacteco	El material sirve, se excava, acamellona, tiene y compacta.
3 C .C. C	El material sirve, compactación de la cama de los cortes.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4 Sin tratamiento El material sirve y no es necesario cortar ni compactar.

Los límites del tramo de datos de espesores y tratamientos deben de cubrir todo el tramo de cálculo.

8.- DATOS DE CORTES

En esta forma se describen las especificaciones para cortes, resultado de los estudios geotécnicos, efectuados sobre el despalme y dos estratos. Los datos utilizados son:

CADENAMIENTO Lugar en donde indicamos los cambios de datos en los estratos.

ESPESOR DE DESPALME En metros con aproximación al centímetro.

ESPESOR DEL ESTRATO 2 En metros con aproximación al centímetro.

CLASIFICACIÓN Se refiere a la clasificación por tipo de material (A, B, o C), se Debe dar en porcentaje, por ejemplo:

CLASIFICACIÓN

A	B	C
80	20	0

Significa que hay un 80% de material A y 20% de material B en el estrato.

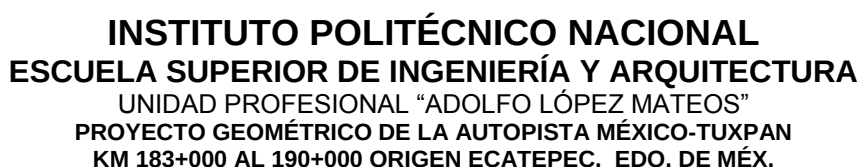
TALUD Talud de corte izquierdo y derecho que se recomienda para el estrato. Sin Unidades con aproximación al centésimo.

CVV Coeficiente de variabilidad volumétrica para el estrato. Se determina en Base a las características de los cortes y terraplenes en el tramo. (Geotécnica y altura de terraplenes). Sin unidades con aproximación al centésimo.

CLAVE DE CAJA Se refiere al material que se requiere cortar, en terraplenes, para Completar los espesores definitivos para subrasantes y subyacentes. La clave es para indicar si dicho material se desperdicia lateralmente O si se refleja en ordenada de curva masa longitudinal, se codifica 1 Si se desperdicia lateralmente y o si se refleja en la ordenada de Curva masa.

CLAVE DE OCM Clave para definir el número de ordenadas de curva masa que Se requieren en el tramo, y se codificara de la siguiente forma

CLAVE	No. DE ORDENADAS	DESCRIPCIÓN
-------	------------------	-------------



Los límites del tramo de datos de cortes deben cubrir todo el tramo de cálculo.

En este bloque de datos se especifican los cadenamamientos en donde se desea ubicar muro en la sección transversal, para esto se deben especificar los siguientes datos:

En el caso que la sección proyectada este en terraplén; Se limita con el muro; si esta en corte de sección 3; se efectuara un abatimiento de talud.

Aquí se especifican los cadenamamientos entre los cuales se deberán suprimir los volúmenes, se deben especificar de la siguiente manera:

CADENAMIENTO INICIAL. Cadenamiento a partir del cual se suprimen volúmenes.

CADENAMIENTO FINAL. Cadenamiento en el que termina la supresión

NOMBRE DE LA SUPRESIÓN. Este es de carácter informativo, y aparecerá en los listados correspondientes, indicaremos aquí el nombre de la supresión sea puente, viaducto o túnel, NO DEBERA DEJARSE EN BLANCO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Si en la codificación define un cadenamiento inicial X

ESTACION	X	ESTACION
X-1	:	X+1
:		
:	CADENAMIENTO	
	INICIAL	

Los volúmenes que aparecen en la sección X son generados entre X-1 y X por lo cual los volúmenes suprimidos inician en la ESTACIÓN X-1.

Tomando a X como el cadenamiento final.

ESTACION	ESTACIÓN	ESTACIÓN
X-1	X	X+1
:	:	:
:	CADENAMIENTO	
	FINAL	

Los volúmenes suprimidos terminan en la estación X.

11.- BERMAS

Si se desean proyectar secciones en corte con bermas, es necesario incluir esta forma. Los cortes deberán ser grandes para necesitar bermas.

El programa considera hasta tres bermas por lado, para cada uno es necesario proporcionar los siguientes datos:

CADENAMIENTO	Estación donde se proyecta sección de corte con bermas.
ANCHO DE BERMA	Para cada lado (izquierdo y derecho) en metros con aproximación al centímetro.
ALTURA BERMA	Para cada lado (izquierdo derecho) En metros con aproximación al centímetro.

Y para todos los correspondientes

CADENAMIENTO	Estación donde proyecta sección de corte con bermas.
PENDIENTE	Pendiente de la berma, se proporciona en porcentaje.

Los límites del tramo de datos de bermas deben de cubrir todo el tramo de cálculo.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



12.- DATOS DE SOBREELEVACIONES Y AMPLIACIONES ADICIONALES PARA ENTRONQUE.

En secciones que se proyectan dentro de un entronque se puede utilizar ampliaciones y sobreelevaciones adicionales para las transiciones en la corona. Estos sólo modifican el proyecto terminado. En esta forma se incluyen los siguientes datos.

CADENAMIENTO

SOBREELEVACION sobreelevación adicional para cada lado de la sección, dada en Porcentaje con aproximación a la centésima.

AMPLIACIÓN Ampliación adicional para cada lado de la sección, dada en Metros con aproximación al centímetro.

13.- ZONAS DE PRECIOS DEL TABULADOR

Los precios del tabulador son de uso para muchos programas, en este programa si se indica en los datos generales la utilización de los precios de alguna zona, se reportaran las cantidades de obra con dichos precio, sin que el usuario pueda variarlos.

14 .- DOCUMENTOS

Si se desea agregar alguna descripción o indicación en el reporte de curva masa, se deberá agregar una solicitud del proceso, dicha descripción o documentación. Esto no modifica los cálculos realizados y sirve, para otras cosas, generar historias de los criterios aplicados en el proyecto del trabajo.

6.7 OPERACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS ¹⁹

Existen 3 formas de realizar los cambios en los tramos de datos: interpretación lineal, escalonada y redefinida.

Interpolación lineal.- Se utiliza para estaciones intermedias en un tramo, calcula el valor de un dato Con un tramo de la siguiente manera:

$$\text{DAT} = \frac{\text{DATFIN} - \text{DATINI}}{\text{CADFIN} - \text{CADINI}} (\text{CAD} - \text{CADINI}) + \text{DATINI}$$

DONDE:

CADINI}
 } Cadenamiento inicial y final del tramo
CADFIN}

DATFIN }
 } Valor del dato al inicio y fin del tramo.
DATFIN}

(19) SCT (1991) Manual de procedimiento electrónico 2ª reimpresión México 2000



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



CAD Cadenamiento en el tramo.

DAT Valor del dato en el cadenamiento CAD

- Escalonamiento.- Al definirse el dato se mantiene constante hasta que se cambie su valor
- Los siguientes datos utilizan escalonamiento:
- Cuña de afinamiento
- Espesor de subrasante
- Espesor de subyacente
- Tratamientos
- Espesor de despalme
- Espesor de estratos
- Compactación de terreno natural

Redefinida.- Un dato definido puede ser actualizado en cualquier cadenamiento, estos se aplican en las ORDENADAS INICIALES para el diagrama de masa.

El cálculo de la ordenada de curva masa inicia a partir de la ordenada inicial definida, en un cadenamiento, es posible volver a definir una ordenada con la cual a partir de ese cadenamiento será tomada como inicial.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del programa de curva masa PC se divide en:

- Alternativo vertical.
- Geometría de secciones de construcción
- Volúmenes de construcción.
- Ordenadas de curva masa.
- Geometría de subrasante y subyacentes (opcional)
- Graficación de secciones de construcción (opcional)

ALINEAMIENTO VERTICAL

El alineamiento vertical describe los puntos de inflexión vertical procesada por medio de la siguiente forma.

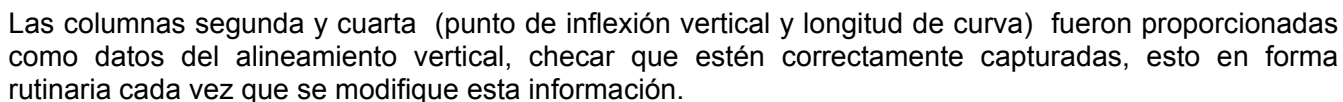
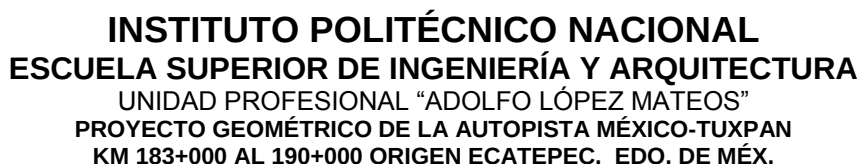
PCV	PIV	PTV	L. CURVA	PENDIENTE	TV	LIBRE
CAD/ELV	CAD/ELV	CAD/ELV		DE SALIDA		

Donde:

L. CURVA La longitud de la curva

CAD Cadenamiento

ELV Elevación



La primera y tercera columna representan PCV punto donde empieza y PTV punto donde termina la curva vertical, es evidente que se localizaran:

$$CPCV = CPIV - (LCV/2)$$

$$CPTV = CPIV + (LCV/2)$$

Donde:

LCV	Longitud de la curva
CPTV	Cadenamiento del PIV
PCV	Cadenamiento del PCV
CPTV	Cadenamiento del PTV

La elevación de los puntos PCV Y PTV dependerán del anterior y posterior PIV.

La quinta columna se refiere a la pendiente establecida en dos PIVs el actual y el siguiente.

La sexta columna se refiere a la distancia entre el PTV y el PCV de dos puntos de inflexión consecutivos, es decir, a la distancia sin afectación de ninguna curva vertical (tangente vertical libre).

GEOMETRÍA DE SECCIONES DE CONSTRUCCIÓN

En esta parte se describen los puntos clave de la geometría de la sección de construcción, identificando el tipo de sección (ver anexo “A”) y observaciones de las secciones. La forma en la cual se representan los datos es:

Para secciones con un máximo de una berma y sin sobreelevaciones y ampliaciones adicionales.

LADO IZQUIERDO LADO DERECHO

ESTACION EL-SB H E D C' C B A FRM A B C C' D E
SEC

La primera columna (estación) es el cadenamiento donde se localiza la sección de construcción y corresponde a la sección de terreno capturada.

En la segunda columna se imprime la elevación del terreno (EL-TH) y abajo la elevación de la subrasante (EL-SB) en la estación.

La tercera columna (H), es la diferencia entre las elevaciones la subrasante y el terreno natural para esta estación.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Los puntos A B C C' D E y para secciones con 2y3 bermas A B C C' D D' F F' E separados por cada lado de la sección de construcción y representa según el tipo de sección lo siguiente.

A0	Punto de quiebre sobre la corona.
A1	Punto de quiebre sobre la corona.
A	Hombro de la sección.
B	Fondo de cuneta (corte) y limite de capa subrasante (terraplén).
C	Inicio de berma (corte)
C'	Termino de berma (corte)
D	Punto de quiebre para sección en corte con quiebre. Cambio de extracto (2 a 3) , para sección en corte con una berma, inicio de berma 2, para sección en corte con dos o mas bermas.
D'	termino de berma 2 (corte) . Sección en corte con 2 o 3 bermas.
F	Inicio de berma 3. sección en corto con 3 bermas.
F'	Termino de berma 3. sección en corto con 3 bermas.
E	Intersección de la sección con el terreno natural.

Cada punto esta escrito por la distancia al eje y desnivel con respecto a la subrasante.

La columna marcada con FRM-SEC se refiere a la forma de la sección. Proyectada en ese cadenamiento.

Para determinar la forma de la selección se calcula el fondo de cuneta (ya sea provisional o definitiva) . Si se encuentra enterrado se proyecta la sección en corte, de lo contrario se procede a calcular el hombro para sección en terraplén, si esta enterrado se procesa como una sección especial y se identifica como una sección tipo 8 (ver anexo).

Para inicios terraplén tenemos dos tipos que son:

- | | |
|---|-------------------------|
| 1 | Con cuña de afinamiento |
| 2 | Sin cuña de afinamiento |

Para secciones en corte tenemos cinco tipos que son:



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



- 3 Básica de corte, sin bermas y sin quiebres.
- 4 Berma con talud de entrada y salida igual.
- 5 Con quiebre en el cambio del extracto 3 al 2
- 6 Con berma y quiebre en el cambio del extracto 3 al 2 si queda después de la berma.
- 7 Con quiebre a la altura especificada.
- 8 Sección con 2 bermas. La pendiente de entrada de la primera berma es obtenida con el talud del extracto 3 y la de la salida es obtenida con el talud del extracto 2, así como, la salida de la segunda berma.
- 10 Sección con tres bermas, las pendientes son iguales ala anterior, la pendiente de la tercera berma es igual a la de la entrada a la misma.

Para secciones especiales

- 8 Limita las capas hasta el hombro de la sección.

En el caso de que las sección presente una o dos sobreelevaciones y ampliaciones adicionales; si es un, el tipo de sección es a partir de once con las mismas características anteriores; si son dos, el tipo de sección es a partir de 21.

En algunos casos aparecerá cualquiera de los siguientes mensajes.

- 1 32040.00 SECCION INSUFICIENTE LADO IZQUIERDO.
Este es un mensaje de error que se puede solucionar ampliando la sección de terreno.
- 2 32040.00 MURO LADO IZQUIERDO 15.00 2.40
Esta indica la existencia de un muro de contención en la estación.
- 3 32040.00 SUPRESION DE CUÑA DE AFINAMINETO
Indica sección en terraplén con diferencia de desnivel entre el punto A y el E menor de 60cms. Por lo que se suprimió la cuña de afinamiento

VOLÚMENES DE CONSTRUCCIÓN

Para la generación de los volúmenes de construcción se admiten las siguientes áreas en la sección.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



1.- DESPALME EN EL CORTE

Al despaldar cuando la sección de construcción la línea de la subrasante se encuentra abajo del terreno, cuantifica con el espesor se despaldar multiplicando por la distancia donde la sección cumple lo anterior.

2.- DESPALME EN TERRAPLEN

A despaldar cuando en la sección de construcción la línea subrasante se encuentra arriba del terreno, se cuantifica donde la sección cumple lo anterior.

3.- CORTE DE ESTRATO 2

Corte correspondiente al extracto 2 que se intercepta con la sección de construcción. Se determina por las intersecciones del mismo con las líneas de la sección de construcción.

4.-CORTE DE ESTRATO 3

En corte correspondiente al estrato 3 que se intercepta con la sección de construcción. Se determina por las intersecciones del mismo con las líneas de las secciones de construcción.

5.-CORTE CAJA

Producida por terraplenes donde las líneas subrasante y/o subyacentes se encuentra enterradas y el material se requiere cortar pues no sirve. Se determina por medio de los desniveles del terreno y la línea subyacente.

6.-COMPACTACION DEL TERRENO NATURAL

Producida en terraplenes donde existe cuerpo de terraplén, es cuantificada mediante el espesor de C.T.N. proporcionado en la forma de terraplenes multiplicado por la distancia que cumple lo anterior.

7.-CAPACITACION EN LA CAMA DE CORTES

Generada cuando una sección de corte se le indica que el tratamiento para subrasante y/o Subyacente es la compactación del extracto donde se localicen.

8. -CUERPO DE TERRAPLEN

En terraplén comprendida entre la línea subyacente y el terreno despaldado. Cuando la línea subyacente no esta enterrada.

9.- CAPA SUBAYACENTE

En terraplén comprendida entre la línea paralela cuyo desnivel entre ambas en el codificado en la forma de espesores.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



10.- CAPA SUBRASANTE

En terraplén comprendido entre el revestimiento y la capa subyacente su espesor es el codificado en la forma de espesores. No está enterada.

11.-RELLENO CAJA

En cortes producida por no servir el material cortado por lo que se requiere la formación de la caja . Depende de los tratamientos indicados para subrasante y subyacente.

12.-Ex. Ac. Te. Co.

En cortes que se considera para las capas subrasantes y subyacente cuando el material sirve para la formación de las mismas.

Con la cuales se calculan los volúmenes entren dos estaciones; la actual y la anterior. Reportándose en la estación actual.

Además se proporciona los totales de materiales A, B y C por kilómetro producto de los cortes de los estratos 2 y 3 y dependientes de la clasificación proporcionada por tramos en los datos de cortes.

ORDENA DE CURVA MASA

Las ordenadas de curva masa se reportan mediante el siguiente formato:

ESTACION	VLM.G CR-E2	COEF ABND	VLM-A CR-E2	COEF ABUND	VLM-A CR-E3	CORTE COMPS	VOLUM TR-90
----------	----------------	--------------	----------------	---------------	----------------	----------------	----------------

ESTACION	Donde se calcularan los volúmenes.
----------	------------------------------------

VLM-G CR-E2	Volúmenes geométrico del corte en estrato 2
----------------	---

COEF ABND	Coeficiente de abundamiento del estrato.
--------------	--

VLM-A CR-E2	Volumen abundad del corte en el estrato 2
----------------	---

VLM-G CR-E3	Volumen geométrico del corte en el estrato 3
----------------	--

COEF ABND	Coeficiente de abundamiento del estrato 3
--------------	---

VLM-A CR-E3	Volumen abundado el corte en el estrato 3
----------------	---



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



CORTE	Suma de los volúmenes abundados de los cortes de los estratos 2 y 3								
VOLUM TR-90	Volumen del cuerpo de terraplén								
VOLUM TR-95	Volumen de la capa subyacente en terraplén								
VOLUM TR-100	Volumen de la capa subrasante sumada con el de la caja.								
TRRPL	La integración de este volumen depende de la clave de OCM si:								
	<table> <tr> <th>CLAVE</th><th>VOLUMEN DE TERRAMPLEN A COMPENSAR</th></tr> <tr> <td>1</td><td>Volumen de la capa subrasante, subyacente, cuerpo terraplén y relleno caja.</td></tr> <tr> <td>2</td><td>Volumen de subyacente y cuerpo de terraplén.</td></tr> <tr> <td>3y4</td><td>Volumen de cuerpo de terraplén.</td></tr> </table>	CLAVE	VOLUMEN DE TERRAMPLEN A COMPENSAR	1	Volumen de la capa subrasante, subyacente, cuerpo terraplén y relleno caja.	2	Volumen de subyacente y cuerpo de terraplén.	3y4	Volumen de cuerpo de terraplén.
CLAVE	VOLUMEN DE TERRAMPLEN A COMPENSAR								
1	Volumen de la capa subrasante, subyacente, cuerpo terraplén y relleno caja.								
2	Volumen de subyacente y cuerpo de terraplén.								
3y4	Volumen de cuerpo de terraplén.								
CURVA MASA	Representa la ordenada de curva masa, (la primera es para compensación) y se ven afectadas por diversos volúmenes. Parten de un valor fijado en la forma de terraplenes y ordenadas de curva masa. Los volúmenes que las afectan dependen:								

a) De la clave de OCM.

CLAVE	VOLÚMENES QUE AFECTAN LA OCM		
	OCM1	OCM2	OCM3
1	Corte a compensar Subrasante Subyacente Cuerpo de terraplén Relleno caja	ninguna	ninguna
2	Corte a compensar corte de terraplén subyacente	subrasante relleno caja	ninguna
3	Corte a compensar Cuerpo de terraplén subyacente	subrasante relleno caja	ninguna
4	Corte a compensar	subyacente	subrasante rellenos caja



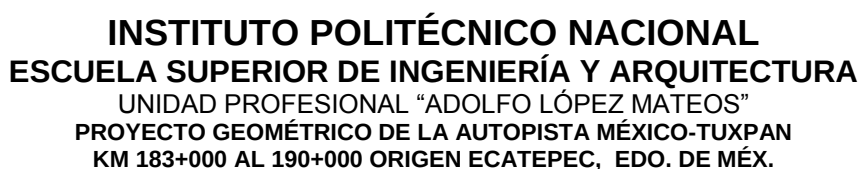
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

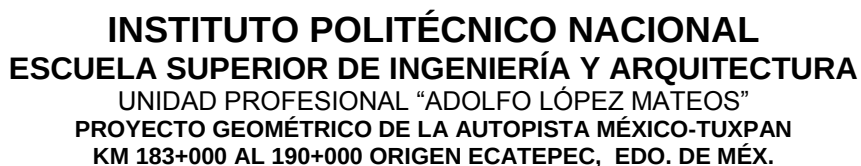


b) De la clave de caja

Para la ordenada OCM1 se incrementa con el volumen de caja de terraplén.

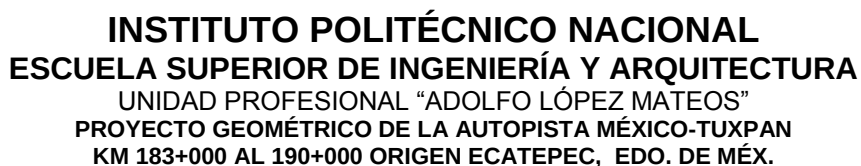
Además, se proporcionan la suma de los volúmenes por hoja

276



								.	V	E	R
--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---

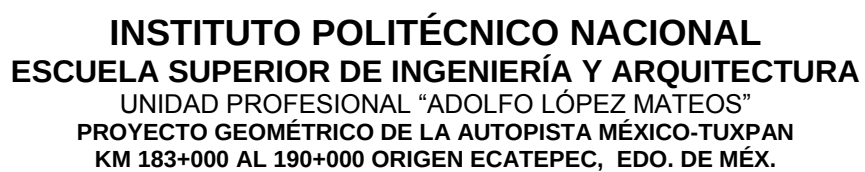
[illegible]



DATOS GEOMETRICOS

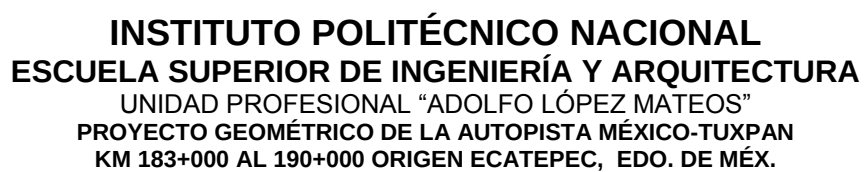
[illegible][illegible]

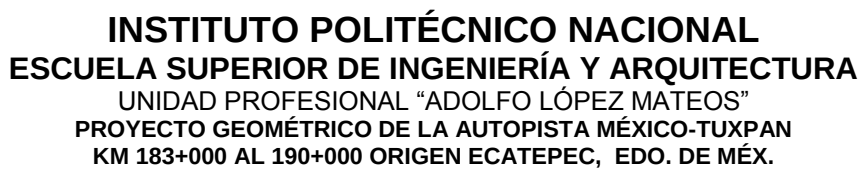
[illegible]



CALCULO DE TERRACERIAS / PC HOJA DE CODIFICACION.
DESCRIPCION DE MUROS.

[illegible][illegible][illegible]

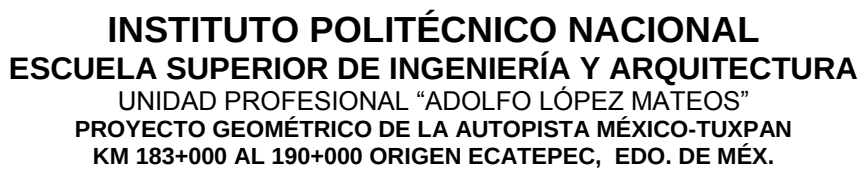
[illegible][illegible]



6546	.						
------	---	--	--	--	--	--	--

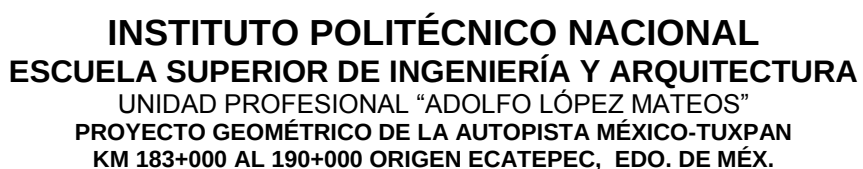
DATOS DE BERMA

[illegible]



DATOS DE SOBREELEVACIONES Y AMPLIACIONES PARAR ENTRONQUES

[illegible][illegible]



DATOS DE SOBREELEVACIONES Y APLICACIONES ADICIONALES PARA ENTRONQUES

[illegible][illegible]

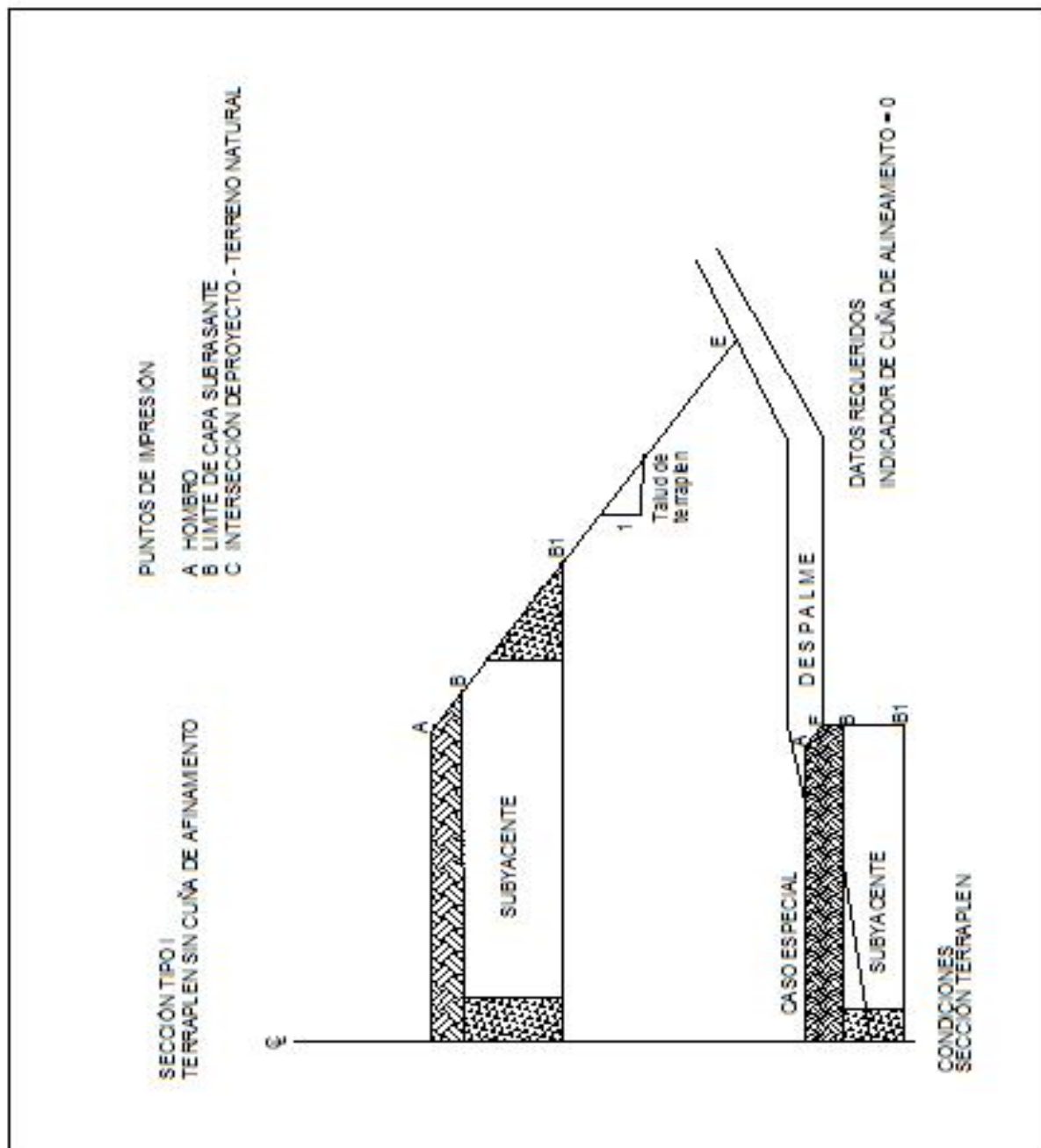


FIG. 6.17

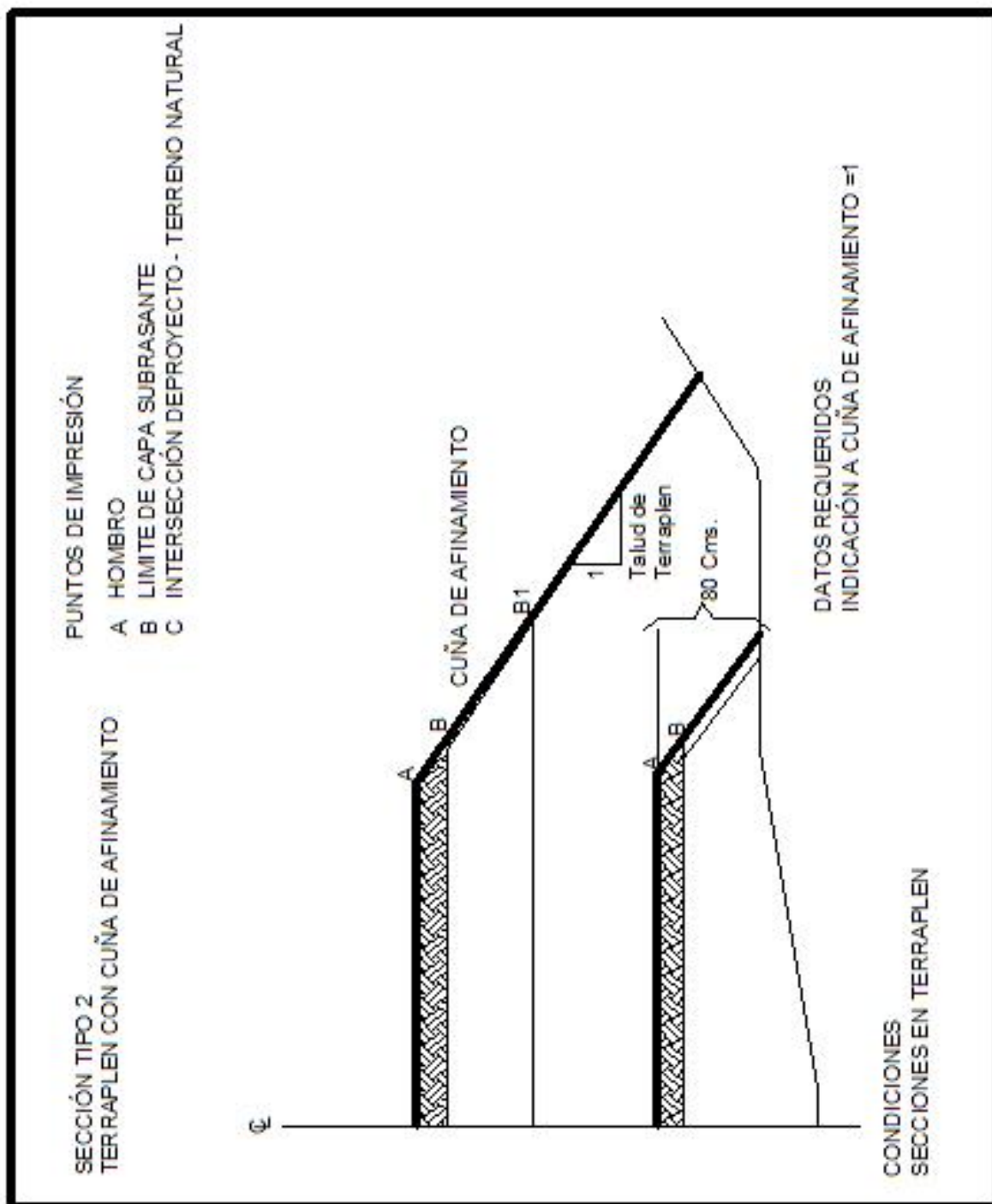


FIG. 6.18

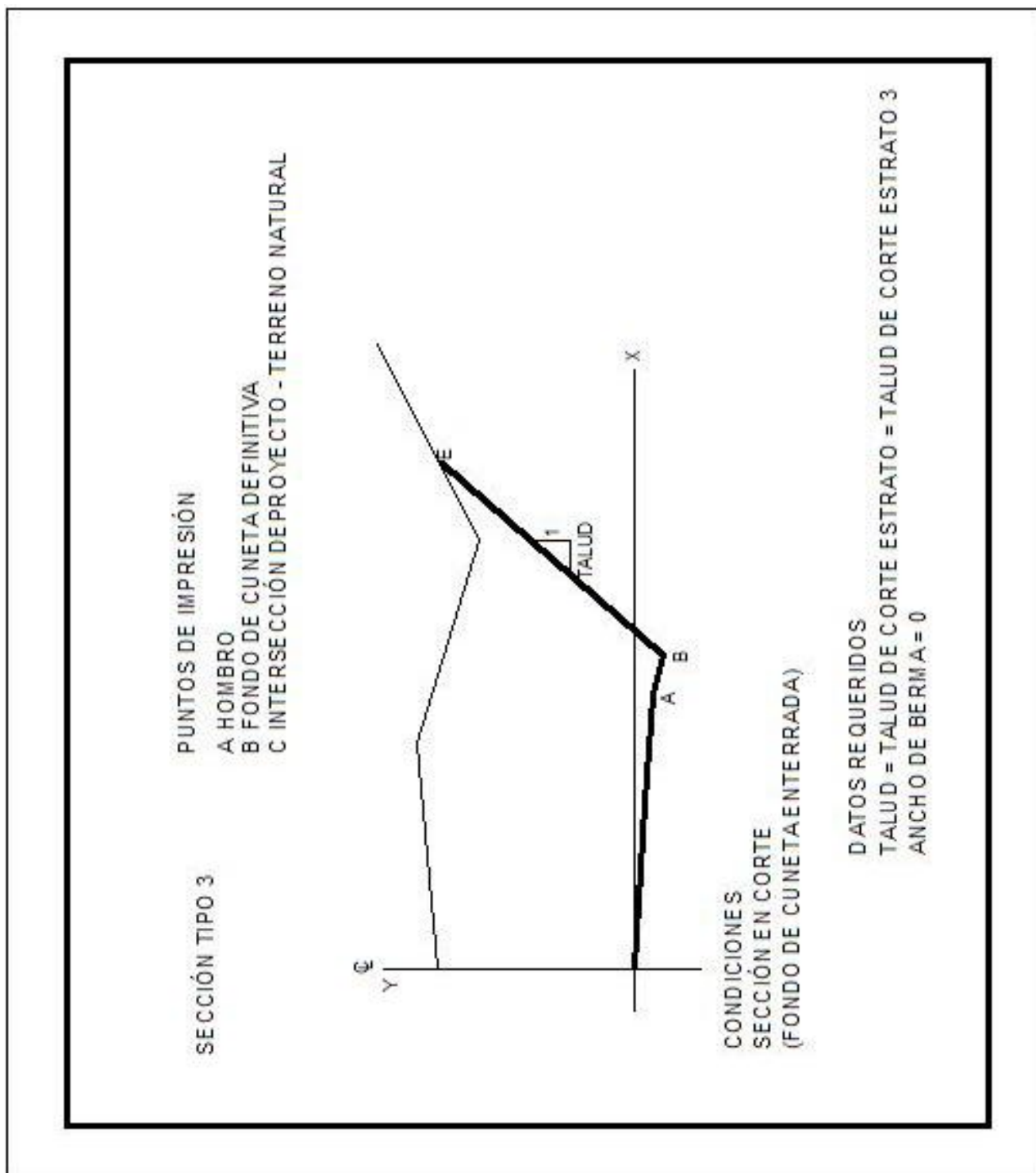


FIG. 6.19

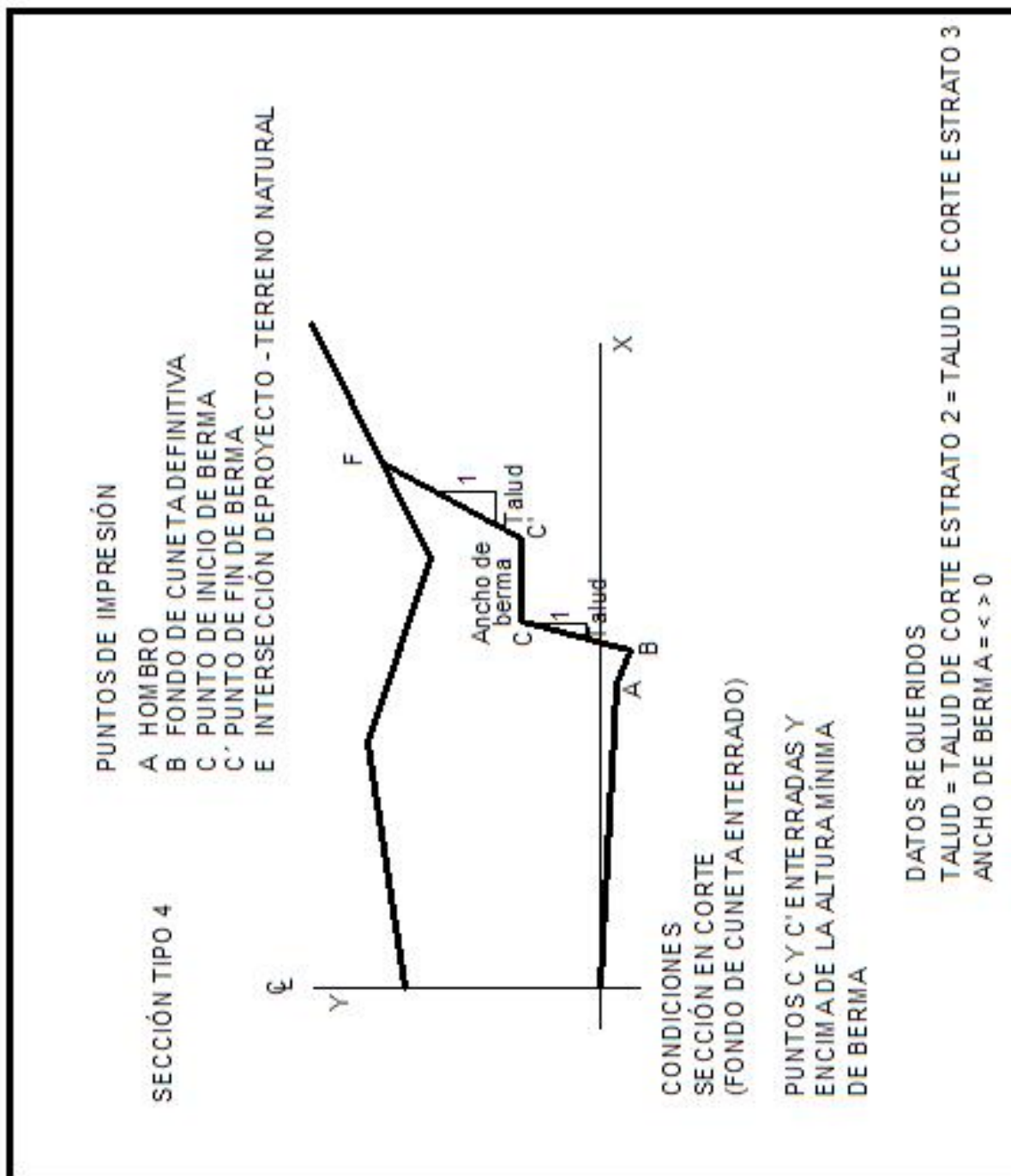


FIG. 6.20

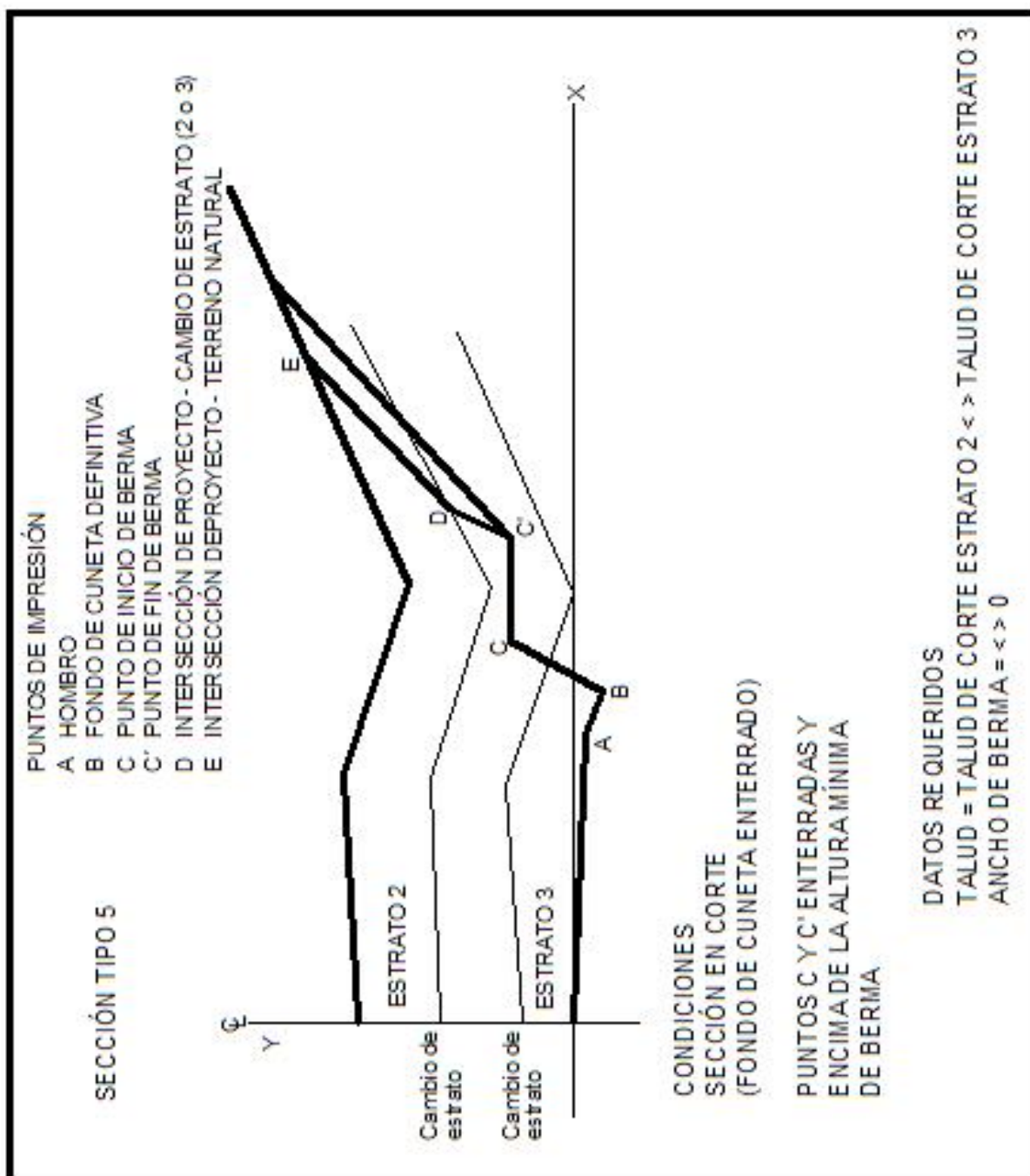


FIG. 6.21

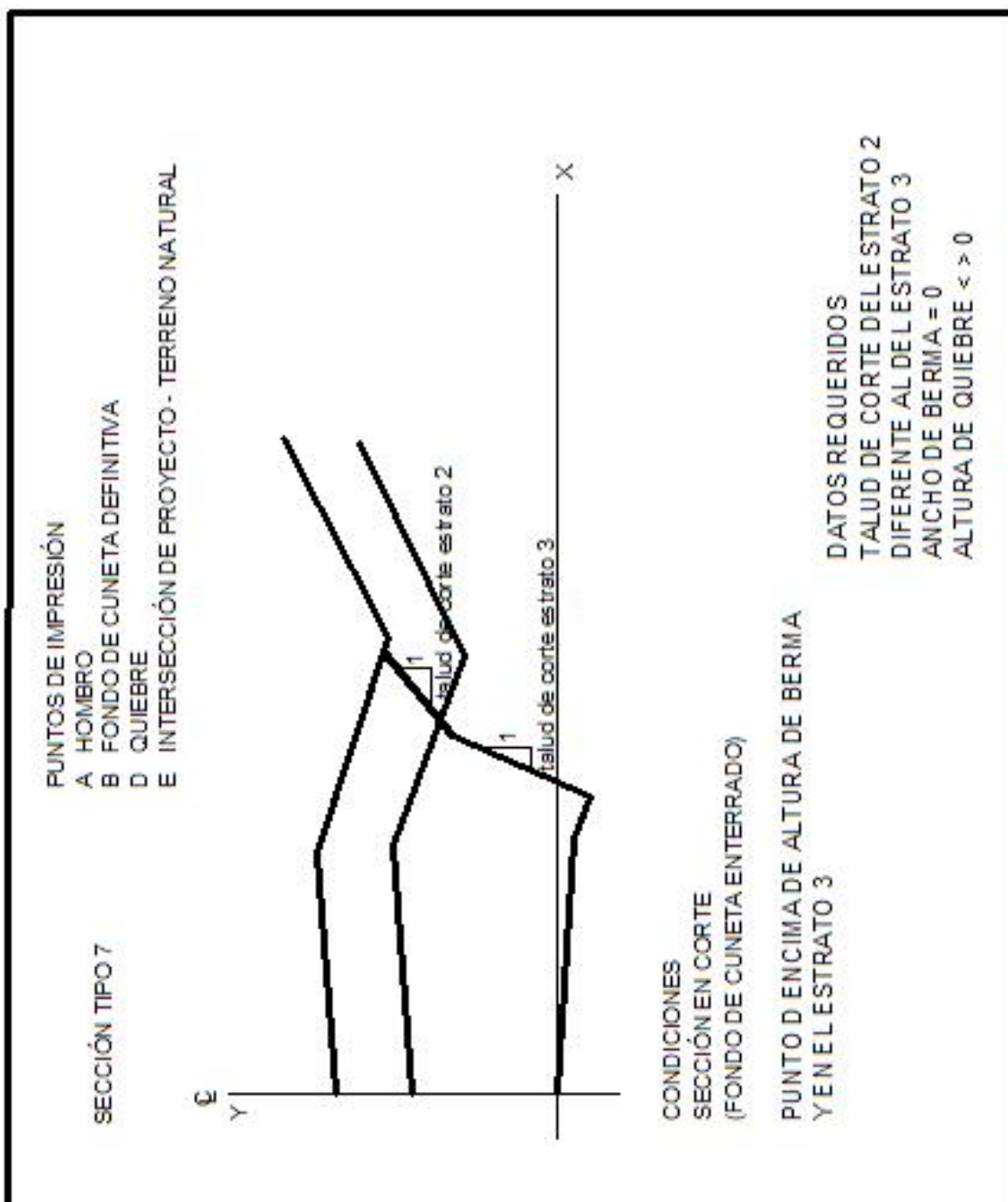


FIG. 6.22

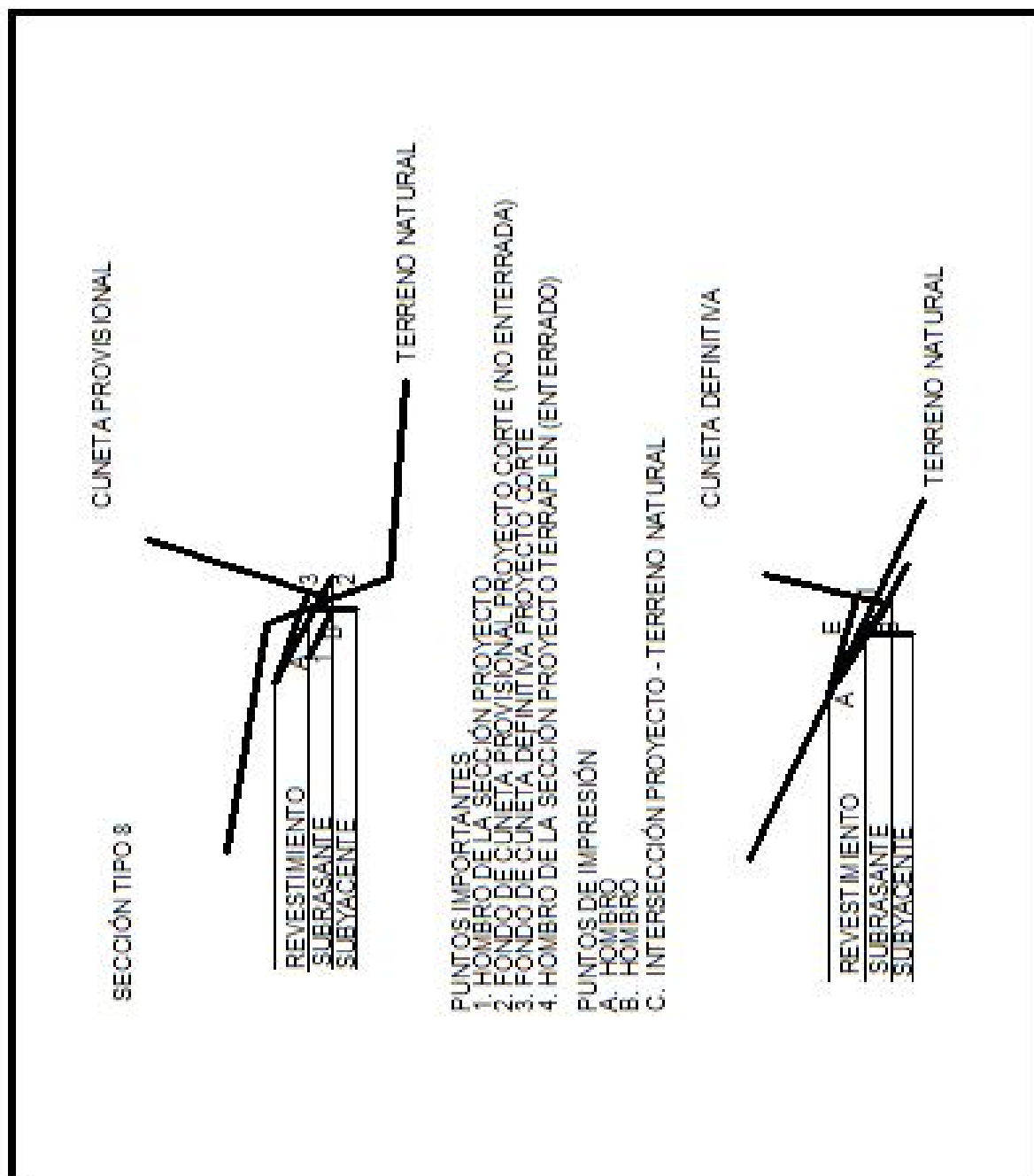


FIG. 6.23



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



REGISTRO DE CÁLCULO.²⁰

El procedimiento de cálculo del registro para la obtención de las ordenadas de curva masa se presentan a continuación:

1.- ESTACION: En esta columna se anotan los kilometrajes de las estaciones correspondientes a las secciones en estudio, es decir a cada 20 m. y en los puntos de interés.

2.- ELEVACION TERRENO: En esta columna se anotan las cotas o elevaciones del terreno natural, tomadas del perfil del mismo o bien de la nivelación definitiva realizada en campo.

3.- TANGENTE VERTICAL: Esta columna se subdivide en dos:
Columna para pendientes: en esta columna se deben indicar las pendientes tanto de entrada como de salida de las tangentes verticales.
Columna para cotas: en esta columna se anotan las cotas de cada uno de los puntos sobre la tangente vertical (curva vertical).

4.- CURVA VERTICAL: esta columna se subdivide en tres columnas, las cuales se llenan solamente cuando existen curvas verticales junto con todo el cálculo de la corrección de la curva.

5.- ELEVACION SUBRASANTE: En esta columna se anotan las cotas de todos y cada uno de los puntos sobre la subrasante, es decir, la elevación que les corresponde de acuerdo al perfil trazado, como resultando de haber proyectado las tangentes verticales con sus pendientes y hecho los cálculos de las curvas verticales.

6.- ESPESORES: En esta columna se harán las anotaciones respectivas, ya sea en corte o terraplén, dependiendo del signo que resulte de realizar la diferencia entre la elevación del terreno natural y la subrasante, es decir, cuando el terreno está mas alto que la subrasante (positivo) se baja realizando un corte y cuando es más bajo que la subrasante (negativo) se sube haciendo un terraplén. Estos resultados se registran en sus respectivas columnas. En pocas ocasiones resulta la diferencia nula.

7.- ÁREAS: En esta columna se anotarán las áreas correspondientes a la sección de construcción de la estación, ya sea en corte o en terraplén. Para obtener las áreas se procede de la siguiente forma:

- Se dibujan a escala las secciones transversales del terreno
- Se mide sobre el eje del camino el espesor en corte o en terraplén que se tenga.
- Se valora el área de terraplén o de corte que se tenga en la sección, mediante la aplicación de cualquiera de los siguientes métodos:
 - a) Método gráfico
 - b) Método analítico
 - c) Método del planímetro

(20) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de carreteras 4ta. Reimpresión, México Secretaría de Comunicaciones y Transportes Pp 407-412 Heinen Treviño Jorge. Luis (1985) Vías Terrestres, Pp 129-132



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



8.- SUMA DE ÁREAS: En esta columna se registran la suma de área que se tiene en una estación mas el área de la estación anterior. Estos resultados obtenidos se registran en sus columnas respectivas, ya sea que se trate en corte y/o terraplén.

9.- SEMIDISTANCIA (D/2): En esta columna se anotara la semidistancia entre dos secciones de estudio consecutivas.

10.- VOLUMEN: En esta columna se registran los volúmenes ya sea en corte o en terraplén, mismos que se obtienen de la forma siguiente:

$$\text{Volumen} = (\text{columna No. 8}) (\text{columna No. 9})$$

El resultado obtenido se registra en su respectiva columna, ya sea que se trate de corte y/o terraplén.

11.- COEFICIENTE DE VARIABILIDAD VOLUMENTRICA: Es la relación que existe entre el peso volumétrico del material en su estado natural y el peso volumétrico que ese mismo material tiene al formar parte del terraplén. Este coeficiente se aplica al volumen del material en su estado natural para obtener su volumen en el terraplén. Este coeficiente es establecido por el laboratorio de mecánica de suelos para cada zona por la que va pasando el material.

El coeficiente será mayor a la unidad, cuando un metro cúbico de terraplén pueda construirse con un volumen menor de material, obtenido en el corte o en el préstamo. Contrariamente, el coeficiente de variabilidad será menor que la unidad cuando el volumen de terraplén requiera un volumen mayor de material de corte o de préstamo.

12.- VOLUMENES ABUNDADOS O REDUCIDOS: En esta columna se registran los volúmenes abundados o reducidos mediante la siguiente expresión:

$$\text{Volumen} = (\text{columna No 10}) (\text{columna No 11})$$

Es decir, se obtiene del producto de los volúmenes afectados por el coeficiente de variabilidad volumétrica.

13.- SUMA ALGEBRAICA: En esta columna se registrara el resultado de la suma algebraica de los volúmenes, dando el signo positivo (+) a los volúmenes de corte, y el signo negativo (-) a los de terraplén. El valor que se obtenga al hacer la diferencia entre ambos volúmenes, se anota en aquella columna que predomine, ya sea en corte o en terraplén.

14.- ORDENADA CURVA MASA: Finalmente se llega al calculo de la ordenada de curva masa, que no es otra cosa que ir sumando o restando, según lo indique la columna No. 13, a un valor de ordenada tomada como origen, de tal manera que se obtengan valores positivos como resultado.

Generalmente el primer punto de partida se elige con una cantidad elevada; por ejemplo, 50,000 o 100,000 con el fin de que siempre se tengan valores de la curva masa positivos con relación al eje de referencia.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



15.- VOLUMEN DE FINOS.- En esta columna se registraran los volúmenes de los materiales de las capas subyacentes y subrasante provenientes de bancos de préstamo según lo indiquen los estudios de geotecnia

16.- ORDENADA DE CURVA MASA DE FINOS.- En esta columna se calculara la ordenada de curva masa de finos que consistirá en ir restando los volúmenes de finos (columna No. 15) al valor de una ordenada tomada como origen que deberá tener un valor tal que las diferencias sean siempre positivas

Después de haber obtenido los valores correspondientes a las ordenadas de curva masa con el propósito de calcular los movimientos de tierras y con esto los acarreos libres y sobreacarreos que El resultado obtenido se registra en su respectiva columna, ya sea que se trate de corte y/o terraplén.

11.- COEFICIENTE DE VARIABILIDAD VOLUMENTRICA: Es la relación que existe entre el peso volumétrico del material en su estado natural y el peso volumétrico que ese mismo material tiene al formar parte del terraplén. Este coeficiente se aplica al volumen del material en su estado natural para obtener su volumen en el terraplén. Este coeficiente es establecido por el laboratorio de mecánica de suelos para cada zona por la que va pasando el material.

El coeficiente será mayor a la unidad, cuando un metro cúbico de terraplén pueda construirse con un volumen menor de material, obtenido en el corte o en el préstamo. Contrariamente, el coeficiente de variabilidad será menor que la unidad cuando el volumen de terraplén requiera un volumen mayor de material de corte o de préstamo.

12.- VOLUMENES ABUNDADOS O REDUCIDOS: En esta columna se registran los volúmenes abundados o reducidos mediante la siguiente expresión:

$$\text{Volumen} = (\text{columna No 10}) (\text{columna No 11})$$

Es decir, se obtiene del producto de los volúmenes afectados por el coeficiente de variabilidad volumétrica.

13.- SUMA ALGEBRAICA: En esta columna se registrara el resultado de la suma algebraica de los volúmenes, dando el signo positivo (+) a los volúmenes de corte, y el signo negativo (-) a los de terraplén. El valor que se obtenga al hacer la diferencia entre ambos volúmenes, se anota en aquella columna que predomine, ya sea en corte o en terraplén.

14.- ORDENADA CURVA MASA: Finalmente se llega al calculo de la ordenada de curva masa, que no es otra cosa que ir sumando o restando, según lo indique la columna No. 13, a un valor de ordenada tomada como origen, de tal manera que se obtengan valores positivos como resultado.

15.- VOLUMEN DE FINOS.- En esta columna se registraran los volúmenes de los materiales de las capas subyacentes y subrasante provenientes de bancos de préstamo según lo indiquen los estudios de geotecnia



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.

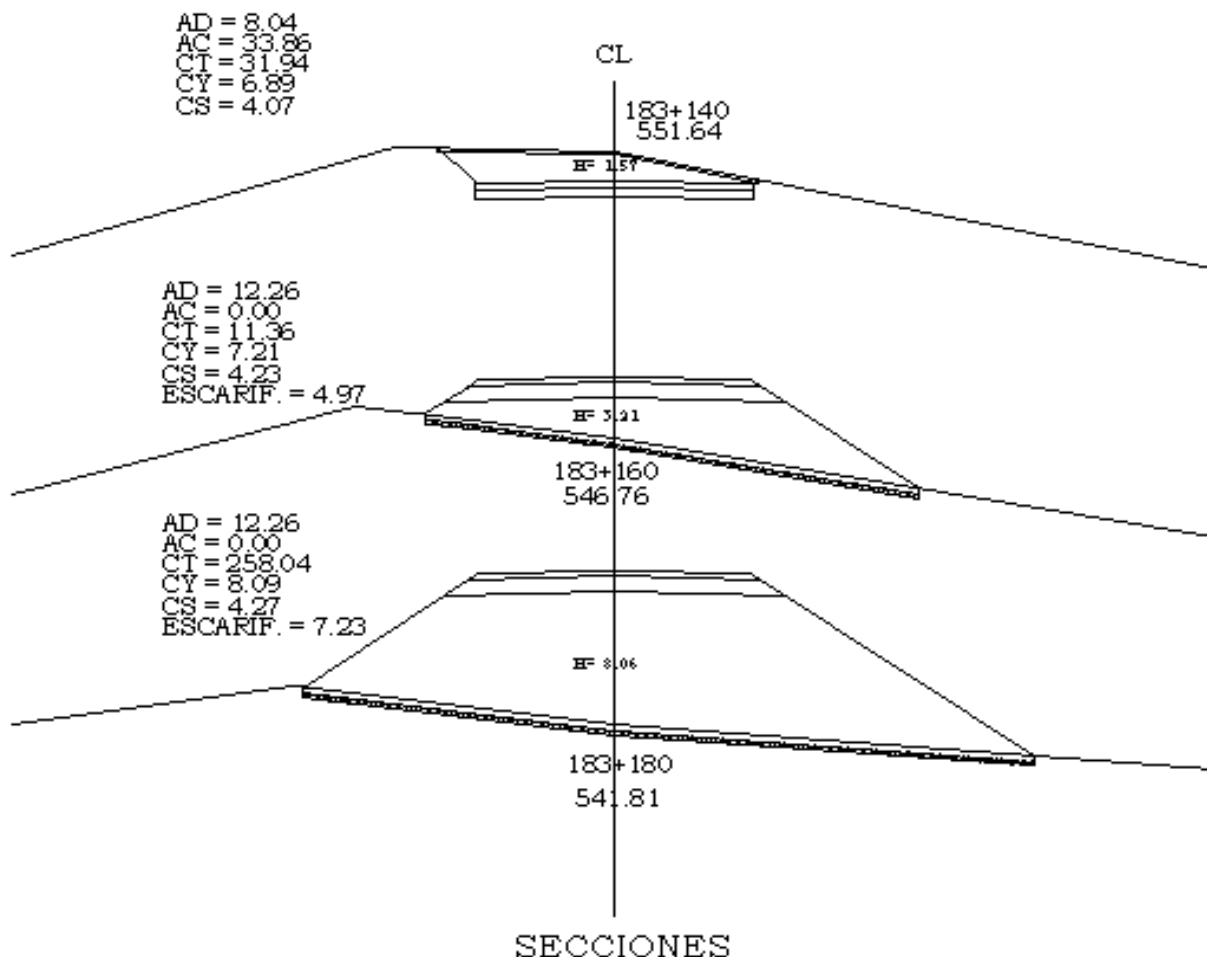


Fig. 6.24: secciones de construcción

16.- ORDENADA DE CURVA MASA DE FINOS.- En esta columna se calculara la ordenada de curva masa de finos que consistirá en ir restando los volúmenes de finos (columna No. 15) al valor de una ordenada tomada como origen que deberá tener un valor tal que las diferencias sean siempre positivas

Después de haber obtenido los valores correspondientes de curva masa con el propósito de calcular los movimientos de tierras y con esto los acarreos libres y sobreacarreos que resulten según los movimientos y de esta forma compensar hasta donde sea posible con la ayuda de la compensadora general o la compensadora auxiliar, reduciendo así notablemente el costo de la obra.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



REGISTRO DE CÁLCULO

1	2	3		4			5	6	
ESTACION	ELEVACION	TANGENTE VERTICAL		CURVA VERTICAL			ELEVACION	ESPESORES	
	TERRENO	PEND.	COTAS	CORRECCIONES			SUBRASANTE	CORTE	TERRAPLEN
				X	X2	Y=KX2			
183+000.00	553.29	-0.5%					550.77	2.52	
183+020.00	556.07	-0.5%					550.67	5.40	
183+040.00	559.50	-0.5%					550.57	8.93	
183+060.00	564.13	-0.5%					550.47	13.66	
183+069.50	564.87	-0.5%					550.42	14.45	
183+080.00	564.55	-0.5%					550.37	14.18	
183+100.00	561.17	-0.5%					550.27	10.90	
183+120.00	556.27	-0.5%					550.17	6.10	
183+140.00	551.64	-0.5%					550.07	1.57	
183+160.00	546.76	-0.5%					549.97		3.21
183+180.00	541.81	-0.5%					549.87		8.06
183+200.00	539.16	-0.5%					549.77		10.61
183+206.00	538.61	-0.5%					549.74		11.13
183+207.00	538.04	-0.5%					549.74		11.70
183+208.50	538.05	-0.5%					549.73		11.68
183+209.00	538.73	-0.5%					549.73		11.00
183+220.00	539.27	-0.5%					549.67		10.40
183+240.00	539.73	-0.5%					549.57		9.84
183+260.00	539.90	-0.5%					549.47		9.57
183+280.00	540.40	-0.5%					549.37		8.97
183+292.00	541.38	-0.5%					549.31		7.93
183+300.00	543.30	-0.5%		0	0	0	549.27		5.97



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



7								8							
AREAS								A1 + A2							
ESCARIF	CORTE				TERRAPLEN			ESCARIF	CORTE				TERRAPLEN		
			AD	AC	CT	CY	CS				AD	AC	CT	CY	CS
0			11.18	67.68		6.91	4.05								
0			14.12	113.42		5.89	4.05				25.30	181.11		12.80	8.10
0			17.18	228.38		6.91	4.05				31.30	341.80		12.80	8.10
0			18.62	325.02		5.89	4.05				35.80	553.40		12.80	8.10
0			19.91	386.55		6.95	4.16				38.53	711.57		12.84	8.21
0			18.76	343.74		5.81	4.03				38.67	730.29		12.76	8.19
0			15.24	244.16		6.99	4.07				34.00	587.90		12.80	8.10
0			11.26	93.04		5.81	4.03				26.50	337.20		12.80	8.10
0			8.04	33.86	31.94	6.89	4.07	0			19.30	126.90		12.70	8.10
4.97			12.26		11.36	7.21	4.23	4.97			20.30		43.30	14.10	8.30
7.23			18.24		258.04	8.09	4.27	12.2			30.50		269.40	15.30	8.50
8.57			21.26		252.96	7.21	4.23	15.8			39.50		511.00	15.30	8.50
8.09			20.74		350.04	8.12	4.10	16.66			42.00		603.00	15.33	8.33
7.91			21.26		253.96	7.88	3.90	16			42.00		604.00	16.00	8.00
9.42			21.41		360.71	6.78	4.10	17.33			42.67		614.67	14.66	8.00
6.58			22.59		251.29	9.22	3.90	16			44.00		612.00	16.00	8.00
10.51			20.14		362.34	6.05	4.65	17.09			42.73		613.63	15.27	8.55
6.79			23.06		236.66	9.25	3.85	17.3			43.20		599.00	15.30	8.50
10.11			19.24		323.24	6.05	4.65	16.9			42.30		559.90	15.30	8.50
6.19			21.46		192.46	9.25	3.85	16.3			40.70		515.70	15.30	8.50
9.14			16.87		257.37	6.08	4.65	15.33			38.33		449.83	15.33	8.50
4.36			17.13		83.63	9.17	3.85	13.5			34.00		341.00	15.25	8.50



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



9	10								11				12			
D/2	VOLUMEN								COEF. VARIAB. VOL				VOL. ABUND. O RED.			
	ESCARIF	CORTE				TERRAPLEN										
				AD	AC	CT	CY	CS								
10	0			253	1811		128	81	0.95				1720			
10	0			313	3418		128	81	0.95				3247			
10	0			358	5534		128	81	0.95				5257			
4.75	0			183	3380		61	39	0.95				3211			
5.25	0			203	3834		67	43	0.95				3642			
10	0			340	5879		128	81	0.95				5585			
10	0			265	3372		128	81	0.95				3203			
10	0			193	1269	1	127	81	0.95				1204			
10	1			203	220	642	141	83	0.95				209			
10	50			305		2694	153	85	0.95							
10	122			395		5110	153	85	0.95							
3	158			126		1809	46	25	0.95							
0.5	50			21		302	8	4	0.95							
0.75	8			32		461	11	6	0.95							
0.25	13			11		153	4	2	0.95							
5.50	4			235		3375	84	47	0.95							
10	94			432		5990	153	85	0.95							
10	173			423		5599	153	85	0.95							
10	169			407		5157	153	85	0.95							
6	163			230		2699	92	51	0.95							
4	92			136		1364	61	34	0.95							



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



		13		14	15	16
TOTAL CORTE	TERRA- PLEN	SUMA ALGEBRAICA		ORDENADA CURVA MASA	VOL. FINOS	ORDENADA CURVA MASA FINOS
		CORTE (+)	TERRAPLEN (-)			
				500000		200000
1720		1720.45		501720	209	199791
3247		3247.10		504968	209	199582
5257		5257.30		510225	209	199373
3211		3211.00		513436	100	199273
3642		3642.30		517078	110	199163
5585		5585.05		522663	209	198954
3203		3203.40		525867	209	198745
1204	1	1204.55		527071	208	198537
209	642	209	-433	526638	224	198313
	2694		-2694	523944	238	198075
	5110		-5110	518834	238	197837
	1809		-1809	517025	71	197766
	302		-302	516723	12	197754
	461		-461	516262	17	197737
	153		-153	516109	6	197731
	3375		-3375	512734	131	197600
	5990		-5990	506744	238	197362
	5599		-5599	501145	238	197124
	5157		-5157	495988	238	196886
	2699		-2699	493289	143	196743
	1364		-1364	491925	95	196648



7.0 CURVA MASA ¹

Al proyectar un camino no solo es suficiente ajustar a lo indicado en las especificaciones sobre las pendientes, curvas verticales, curvas horizontales, drenaje, compensación por curvatura, etc., para obtener un resultado satisfactorio sino que también es importante conseguir la mejor economía posible en el movimiento de tierras. Esta economía se logra efectuando excavaciones y rellenos solo lo indispensable, y realizando acarreo a la menor distancia posible, de preferencia cuesta abajo.

Este estudio de las cantidades de excavaciones y rellenos, su compensación y movimiento se lleva a cabo mediante un diagrama llamado curva masa o diagrama de masas.

7.1 DEFINICION

Definición: La curva masa es un diagrama dibujado gráficamente en ejes cartesianos, en donde las ordenadas representan los volúmenes acumulativos de las terrecerías y en las abscisas el cadenamiento respectivo.

ORDENADA DE LA CURVA MASA.

La ordenada de la curva en una estación determinada es la suma algebraica de los volúmenes de terraplén y de corte, estos últimos afectados por su coeficiente de variabilidad volumétrica, considerados los volúmenes desde un origen hasta esa estación. Se establece que los volúmenes de corte son positivos y los de terraplén negativos.

Estas ordenadas se utilizan para dibujar el diagrama de masas en un sistema de coordenadas rectangulares.

PROPIEDADES DEL DIAGRAMA DE MASAS.

Las principales propiedades del diagrama de masas son las siguientes: (fig. 7.1 y 7.2)

- 1.-El diagrama es ascendente cuando predominan los volúmenes de corte sobre los de terraplén y descendente en caso contrario.
- 2.-En el diagrama se presenta un máximo cuando se pasa de corte a terraplén y un mínimo en caso contrario. Ambos casos indican que las elevaciones de terreno y subrasante coinciden.
- 3.-Una línea horizontal cualquiera, implica una compensación entre el corte y el terraplén entre sus límites. A esa horizontal se le llama línea distribuidora o compensadora.
- 4.-Si el diagrama, queda arriba de la línea compensadora, el movimiento de material se realiza de izquierda a derecha, es decir hacia delante.

(1) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de carreteras 4ta. Reimpresión, México Secretaría de Comunicaciones y Transportes



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



5.- Si el diagrama, queda debajo de la línea compensadora, el movimiento de tierra se hará de derecha a izquierda.

6.-La diferencia de ordenadas, entre dos puntos con relación a una horizontal, nos define el volumen de corte o terraplén disponible entre ellos.

7.-Cuando la línea original se interrumpe y se continúa por medio de un movimiento ascendente con una compensadora auxiliar, el volumen comprendido entre ambas compensadoras será un desperdicio.

8.-Cuando la compensadora original se interrumpe y se continúa por medio de un movimiento descendente con una compensadora auxiliar, el volumen contenido en la diferencia de ordenadas entre las compensadoras será un préstamo.

9.-El acarreo más económico es el que se tiene cuando la línea compensadora hace mínima la suma total de áreas en corte y terraplén, comprendidas entre el diagrama de masas y la línea compensadora.

10.-La posición de la línea compensadora más económica es aquella que corta el número de veces el diagrama de masas.

11.-El área comprendida entre el diagrama de masas y la línea compensadora representa el volumen total de acarreo de material, entre los puntos de cruce.

La línea compensadora, generalmente no puede ser una sola línea horizontal a través de una distancia muy grande, por lo que tendrá entonces, una sucesión de líneas compensadoras que abarcan tramos reducidos.

Como puede verse, la economía en la construcción de caminos es función directa del movimiento de tierras que se provoca, y que naturalmente de la forma en que se realice ese movimiento.

Por ejemplo:

Al realizar un corte, una parte del material que resulte servirá para hacer el terraplén contiguo, pero para construir el terraplén faltante tendríamos;

-emplear el material restante del corte

-emplear material de préstamo (lateral o de banco)

El emplear una u otra alternativa, dependerá de la distancia que se tenga que acarrear el material en cada caso, pues no debemos pasar por alto la enorme importancia del transporte en el aspecto económico.

Para llegar a obtener el diagrama de masas de un tramo en estudio, se sigue un procedimiento, en el que es indispensable llegar a realizar previamente algunas actividades como son las siguientes:

1.-Se proyecta la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno correspondiente al trazo definitivo.

2.-Se determina en cada estación o en los puntos que lo ameriten, los espesores de corte o de terraplén.

3.-Se dibujan las secciones transversales topográficas (secciones de construcción)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



4.-En las secciones de construcción se dibuja la plantilla del corte o del terraplén, con los taludes escogidos según el tipo de material, sobre la sección topográfica. En los terraplenes se considerará el espesor abundado a juicio del ingeniero, si procede, quedando así dibujado las secciones transversales del camino.

5.-Se calculan las secciones de las áreas transversales del camino (secciones de construcción) por cualquiera de los métodos conocidos.

6.-Se calculan volúmenes, abundando los cortes o haciendo la reducción de los terraplenes, según sea la clasificación del material y método empleado.

7.-Se suman algebraicamente los volúmenes de corte y terraplenes.

8.-se dibuja la curva obtenida con los valores anteriores.

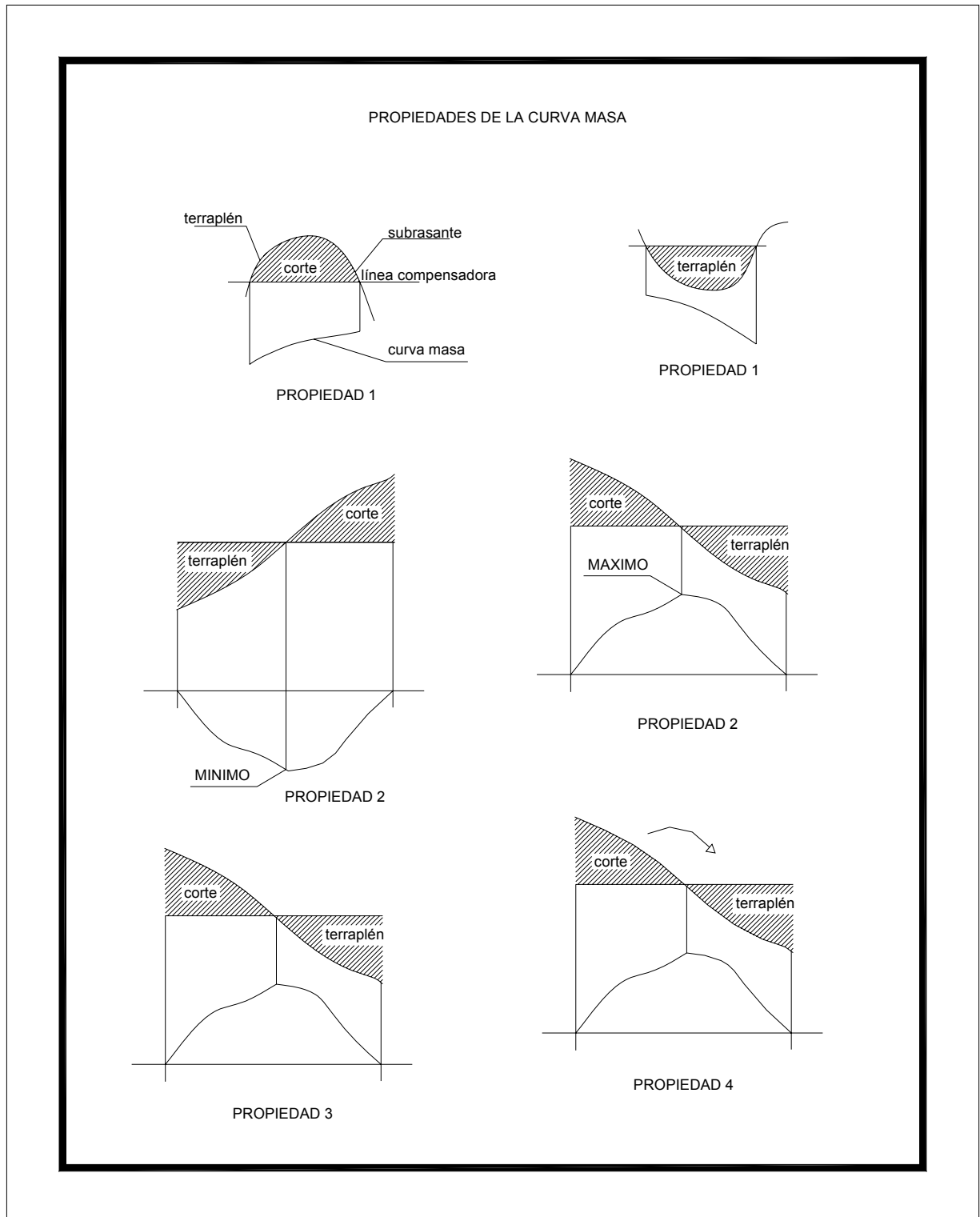


Fig. 7.1

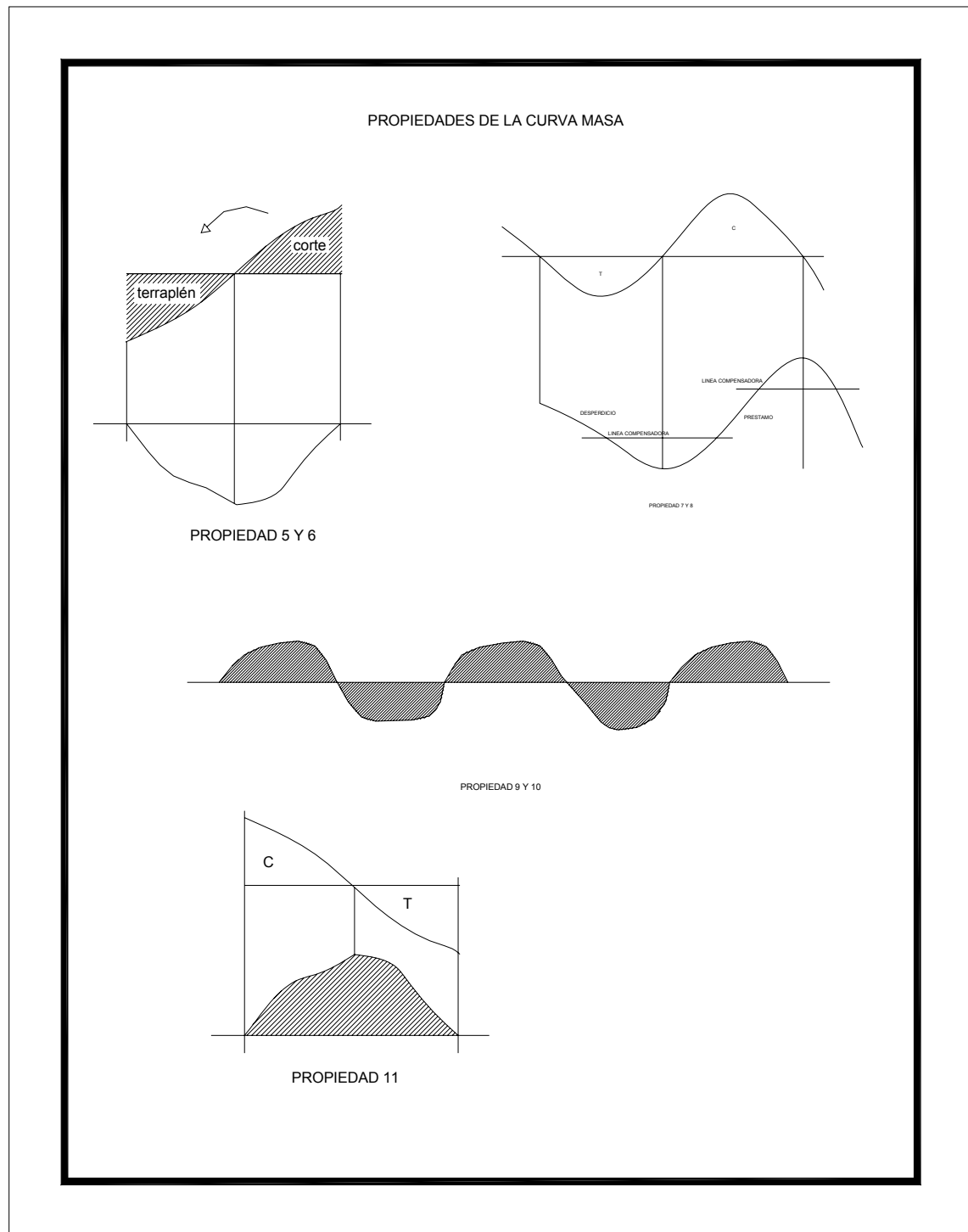


Fig. 7.2



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



En términos generales, la línea de compensación queda de los acarrees mínimos, es aquella que corta el mayor número de veces a la curva masa.

Comparando varios diagramas de curva masa pasara un mismo tramo, el mejor será el mas Económico, este es aquel cuya suma del importe de las excavaciones incluyendo prestamos, más el valor de los sobreacarreos del menor costo, siempre y cuando se refiera a un perfil aceptable.

7.2 OBJETIVOS

Lo objetivos fundamentales que se buscan al proyectar la curva masa son los siguientes:

- 1.-Compensar volúmenes
- 2.-Fijar el sentido de los movimientos de material
- 3.-Fijar los límites del acarreo libre.
- 4.-Calcular los sobreacarreos.
- 5.-Controlar los desperdicios y prestamos.

Compensar volúmenes

Cualquier línea horizontal que corte una cima o un columpio de la curva masa , marca los limites de corte y terraplén que se compensan.

Sentido de los movimientos

Los cortes que en la curva masa quedan arriba de la línea de compensación se mueven hacia delante y los cortes que quedan debajo de la línea de compensación se mueven hacia atrás.

Acarreo libre

Este tema se vera en el tema acarrees de distancia libre y sobreacarreos (7.6).

Distancia de sobreacarreo

Este tema se vera en el tema acarrees de distancia libre y sobreacarreos (7.6).

Préstamos y desperdicios.

Este tema se vera en el tema prestamos laterales y de banco (7.7).



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



7.3 COMPENSACION DE VOLUMENES DE CORTE Y TERRAPLEN ²

Los volúmenes, ya sean de corte o de préstamo, deben ser transportados para formar terraplenes; sin embargo, en algunos casos para los volúmenes de corte deben desperdiciarse, para lo cual se transportan a lugares convenientes fuera del camino.

Para determinar todos estos movimientos de terracerías y obtener un costo mínimo, el diagrama de masas es el instrumento con el que cuenta el proyectista.

Por lo tanto la diferencia entre las ordenadas de la curva masa, en dos puntos cualquiera P y T, expresa un volumen U que es igual a la suma algebraica de todos los volúmenes de corte, positivos, con todos los volúmenes de terraplén, negativos, comprendidos en el tramo limitado por esos dos puntos. En el diagrama citado, la diferencia de ordenadas entre P y T es U; por quedar T arriba de P, expresa que en el tramo hay un excedente U del volumen de corte sobre el de terraplén; si los dos puntos son como el J y el K y éste queda debajo de aquél, la diferencia de ordenadas Q indica el volumen de terraplén en exceso del de corte en ese tramo.

Si en un diagrama de masa se dibuja una línea horizontal en tal forma que lo corte en dos puntos consecutivos, éstos tendrán la misma ordenada, y por consecuencia, en el tramo comprendido entre ellos serán iguales a los volúmenes de corte y los volúmenes de terraplén, o sea que esos dos puntos son los extremos de un tramo compensado.

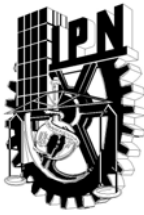
Esta línea horizontal se llama abertura del diagrama y es la distancia máxima de acarreo al llevar el material de corte al terraplén.

En la figura la horizontal BD es una compensadora, pues la línea BC representa los volúmenes del corte bcb' que son iguales a los volúmenes del terraplén cda' representados por la línea CD del diagrama. La abertura BD es la distancia máxima de acarreo al transportar el volumen del corte $b'bc$ al terraplén cdd' .

Cuando en un tramo compensado el contorno cerrado que origina el diagrama de masas y la compensadora WW' queda arriba de ésta, el sentido del acarreo es hacia delante; contrariamente, cuando el contorno cerrado queda debajo de la compensadora, el sentido del movimiento es hacia atrás. Así, en el diagrama, el contorno cerrado BCDB indica un movimiento hacia delante por estar arriba de la compensadora WW' , pues el volumen BC del corte bcb será llevado al terraplén cdd' que está adelante. En cambio, el contorno cerrado DEFD que está debajo de la compensadora WW' indica que el volumen EF del corte eff' será llevado al terraplén ded' mediante un acarreo cuyo sentido es hacia atrás.

Las áreas de los contornos cerrados comprendidos entre el diagrama y la compensadora, representan los acarreos. Si en el corte bcb' se toma un volumen elemental dV , que está representado en el diagrama de masas por el segmento MN, que será transportado a una distancia L, para ser colocado en el segmento RS del terraplén, el acarreo elemental será $dV \times L$ que es precisamente el área del trapecio elemental MNSR; por lo tanto, la suma de todas las áreas de los trapecios elementales, representativos de acarreos elementales, será el área de contorno cerrado BCDB, que representará el monto del acarreo total. Así pues, si se tiene un contorno cerrado formado por el diagrama de masas y por una compensadora, bastará con determinar el área de él, para que, considerando las escalas respectivas, se encuentre el valor del acarreo total.

(2) SCT (México 1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 4ta. Reimpresión, México Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Pp 425-427



PROPIEDADES DEL DIAGRAMA DE MASAS

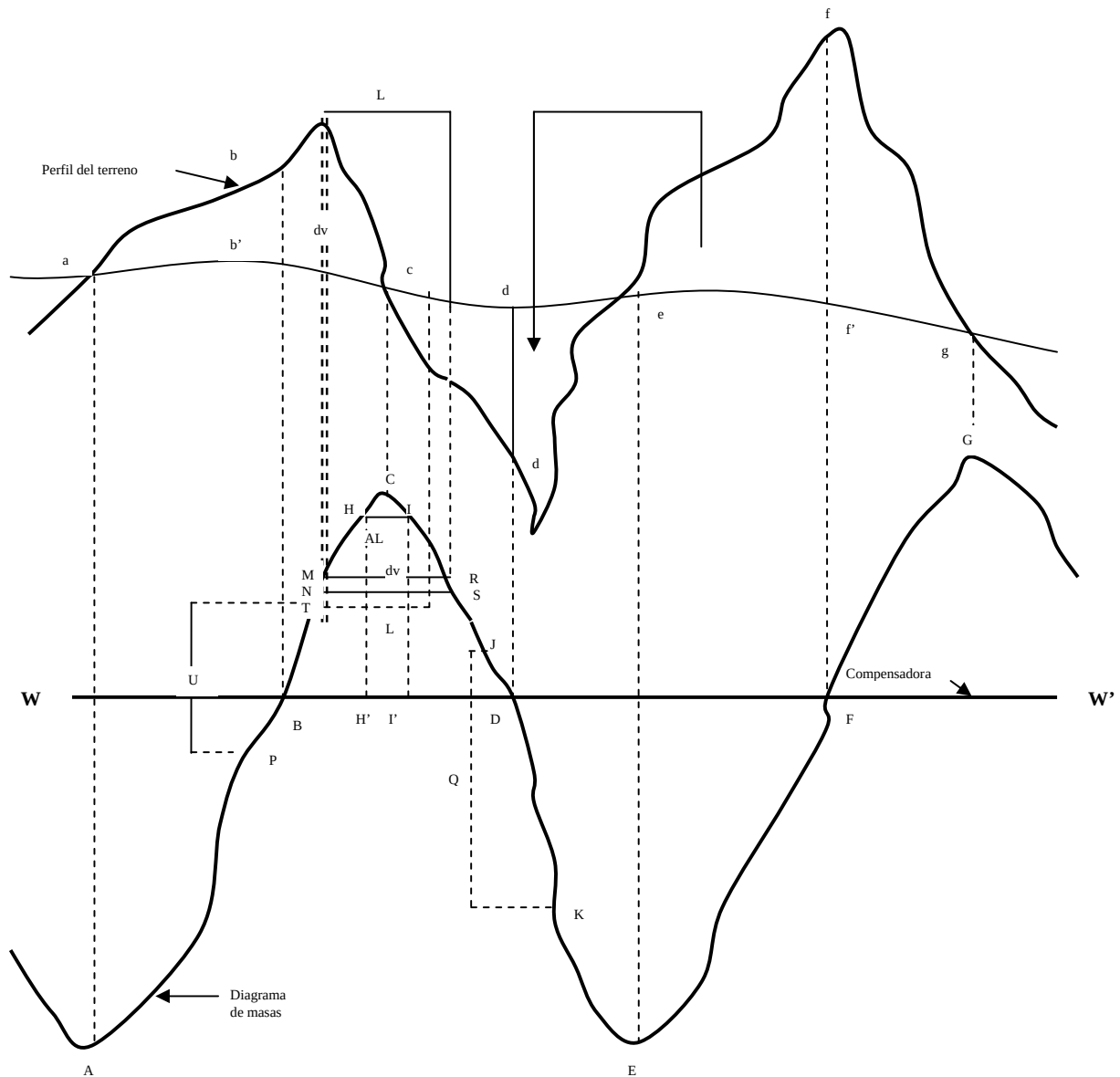


Fig 7.3



7.4 FIJACION DE LA LINEA COMPENSADORA MÁS ECONOMICA. ³

En un tramo, la compensadora que corta el mayor número de veces al diagrama de masas y que produce los movimientos de terracería más económicos, recibe el nombre de compensadora general.

Sin embargo, la economía buscada obliga la mayor parte de las veces a que la compensadora no sea línea continua, sino que debe interrumpirse en ciertos puntos para reiniciarlos en otros situados arriba o debajo de la anterior, lo que origina tramos que no están compensados longitudinalmente cuyos volúmenes son la diferencia de las ordenas de las compensadoras.

La fijación de esta compensadora se puede obtener de las siguientes maneras:

1. Procedimiento grafico (tanteos)
2. Procedimiento matemático (función de precios de acarreo)

7.5 PROCEDIMIENTO GRAFICO Y MATEMATICO.

7.5.1 PROCEDIMIENTO GRAFICO

Este procedimiento consiste en encontrar a “ojo” la posición de la compensadora en donde la suma de los movimientos hacia delante sea igual a la suma de los movimientos hacia atrás. En la Fig. 7.4 la suma de las distancias B,D,F se busca a que se igualen a las de A,C, y E. Esto se logra subiendo o bajando la compensadora hasta encontrar la posición en que nos iguale los productos de ambos movimientos, es decir, suma de movimientos hacia delante igual a suma de movimientos hacia atrás.

PROCEDIMIENTO GRAFICO FIJACION DE LA
LINEA COMPENSADORA

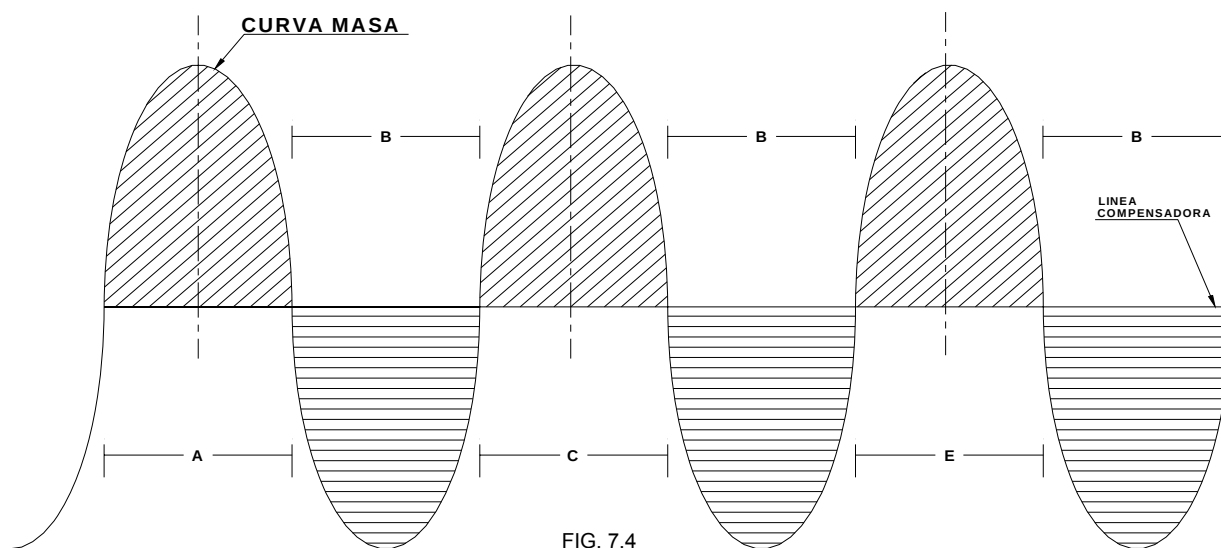


FIG. 7.4

(3) SCT (México 1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 4ta. Reimpresión, México Secretaría de Comunicaciones y Transportes Pp 432-442



7.5.2 PROCEDIMIENTO MATEMATICO.

Para este procedimiento, el estudio de la compensación longitudinal se presenta en 4 casos, dependiendo de la ubicación de la compensadora general.

1. La compensadora puede quedar ubicada entre préstamos.
2. Entre préstamo y desperdicio
3. Entre desperdicios
4. Entre desperdicio y préstamo

En la Fig. No. 7.5 se puede identificar la ubicación exacta de estos 4 casos. En la figura se tienen las compensadoras generales AA', BB', CC' y DD', que no forman una sola línea continua. La compensadora BB' originan un préstamo entre ella y la AA' por estar localizada abajo de ésta. La compensadora CC' ocasiona un desperdicio entre ella y la BB' por estar arriba de ella así como la compensadora DD' origina otro desperdicio por estar arriba de la CC'.

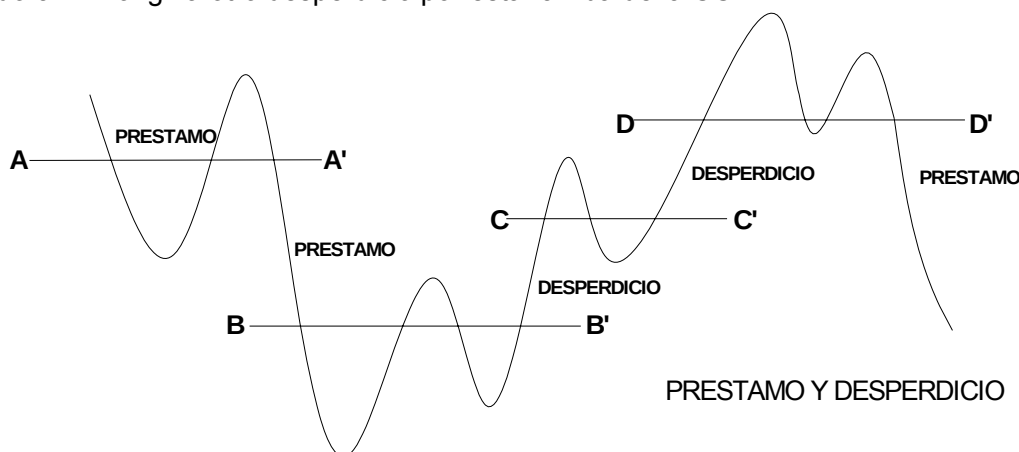


FIG. 7.5

Para el desarrollo de las ecuaciones que a continuación se citan y que rigen la Posición económica de la compensadora para los casos antes descritos, se han empleado la siguiente simbología:

Pat. Es el costo que requiere la construcción de un metro cúbico de terraplén con material producto de préstamo en el punto anterior y contiguo al tramo compensado, este costo incluye los correspondientes a excavación, acarreo, compactación, etcétera.

Pad. Es el costo total que resulta de construir un metro cúbico de terraplén con material producto de préstamo, en el punto posterior y continuo al tramo compensado.

Dad y Dat. Es el costo unitario total del sobreacarreo y/o acomodo del desperdicio de adelante y de atrás respectivamente.

Dcd y Dct. Son los precios unitarios por concepto de compactación del corte que se desperdicia adelante y atrás respectivamente.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



A1, A2, A3, A4... Son las áreas contenidas entre el diagrama y la compensadora general, que representan los montos del acarreo.

C1, C3, C5... Son los coeficientes de variabilidad volumétrica de los materiales de corte que serán acarreados hacia atrás. En la ecuación general se representan por C_{non}.

C2, C4, C6... Son los coeficientes de variabilidad de los materiales provenientes de corte que serán movidos hacia delante. En la ecuación general se representan por C_{par}.

Cat. Es el coeficiente de variabilidad volumétrica del material del préstamo de atrás.

Cad. Es el coeficiente de variabilidad volumétrico del material de préstamo de adelante.

Cdd y Cdt Son los coeficientes de variabilidad volumétrica de los materiales producto de los cortes que ocasionan los desperdicios de adelante y de atrás respectivamente

\$A. Es el precio unitario de los acarreos medidos en metros cúbicos α , pues sus distancias se miden en unidades α .

\$B. Es el peso unitario de los acarreos medidos en metros cúbicos β , pues sus distancias se miden en unidades β .

\$C. Es el precio unitario de los acarreos medios en metros cúbicos γ , pues sus distancias se miden en unidades γ .

AL. Es el acarreo libre.

1. COMPENSADORA EN ESTUDIO COMPRENDIDA ENTRE DOS PRESTAMOS

Considere el diagrama de masas QT de la Fig. 2.6 que comprende una serie de movimientos originados por la compensadora general AA' limitada por dos prestamos. La aberturas de esas compensadoras d1, d2, d3...d10.

Si esa compensadora general se mueve hacia abajo a la posición BB' mediante un desplazamiento dV muy pequeño, se habrá alterado el valor de los movimientos de acarreo y los volúmenes de los prestamos que los limitan también en valores muy pequeños. El volumen del préstamo de atrás se incrementa en dV/C1 (d1-AL); el segundo movimiento aumenta en valor igual a dV/C2 (d2-AL); y así sucesivamente; al final, el volumen del préstamo de adelante disminuye en una cantidad igual a dV/Cad.

Para obtener la variación del costo causado por el cambio de la posición de la compensadora cada sobreacreo, quedando de la forma siguiente:

$$dC = \frac{dV}{Cat.} Pat - \frac{dV (d1-AL)}{C1} \$ B + \frac{dV (d2-AL)}{C2} \$ C - \frac{dV (d3-AL)}{C3} \$ B +$$

$$\frac{dV (d4-AL)}{C4} \$ A - \frac{dV (d5-AL)}{C5} \$ B + \frac{dV (d6-AL)}{C6} \$ A - \frac{dV (d7-AL)}{C7} \$ C +$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



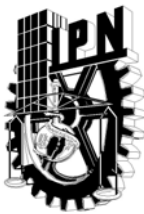
$$\frac{dV (d8-AL)}{C8} \$ B - \frac{dV (d9-AL)}{C9} \$ C + \frac{dV (d10-AL)}{C10} \$ B - \frac{dV}{Cad} Pad.$$

Dividiendo ésta ecuación entre dV y sacando como factores comunes a \$ A, \$ B Y \$ C, Se tendrá:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dV} = & \frac{Pat}{Cat} + \$ A \left[\frac{d4 - AL}{C4} + \frac{d6 - AL}{C6} \right] \\ & - \$ B \left[\frac{d1 - AL}{C1} + \frac{d3 - AL}{C3} + \frac{d5 - AL}{C5} - \frac{d8 - AL}{C8} - \frac{d10 - AL}{C10} \right] \\ & + \$ C \left[\frac{d2 - AL}{C2} - \frac{d7 - AL}{C7} - \frac{d9 - AL}{C9} - \frac{Pad}{Cad} \right] \end{aligned}$$

Para que este costo sea mínimo, que es la condición que se busca, es necesario que la relación dC/dV del primer miembro sea igual a cero. Por lo tanto haciendo operaciones, reduciendo y pasando al primer miembro los valores de los préstamos de atrás y adelante se tendrá:

$$\begin{aligned} \frac{Pat}{Cat} - \frac{Pad}{Cad} = & - \$ A \left[\frac{d4 - AL}{C4} + \frac{d6 - AL}{C6} \right] \\ & + \$ B \left[\frac{d1 - AL}{C1} + \frac{d3 - AL}{C3} + \frac{d5 - AL}{C5} - \frac{d8 - AL}{C8} - \frac{d10 - AL}{C10} \right] \\ & - \$ C \left[\frac{d2 - AL}{C2} - \frac{d7 - AL}{C7} - \frac{d9 - AL}{C9} \right] \end{aligned}$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



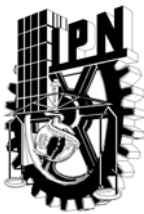
Puede observarse que los términos que contienen las aberturas de la compensadora:
 Son positivos para las distancias nones que corresponden a distancias hacia atrás, en tanto que son negativos para las distancias pares que pertenecen a movimientos hacia delante; por tanto, la ecuación anterior puede escribirse en la forma general siguiente:

$$\begin{aligned} \frac{Pat}{Cat} - \frac{Pad}{Cad} = & \$ A \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right] \\ & + \$ B \sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \\ & + \$ C \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right] \end{aligned}$$

Aplicando la ecuación en un caso particular, si el primer miembro resulta positivo y el segundo es positivo pero con un valor absoluto menor al primer miembro, habrá que subir la compensadora; si el segundo miembro es positivo pero con un valor absoluto mayor al primero, habrá que bajar la compensadora. En ambos casos el movimiento de la compensadora tenderá a lograr la igualdad dada por la ecuación. Análogamente, si el primer miembro es negativo habrá que bajar la compensadora cuando el segundo miembro sea positivo, o negativo pero con un valor absoluto inferior al primero; si el segundo miembro es negativo, pero el valor absoluto superior al del primero, habrá que subirla.

2.-Compensadora en estudio comprendida entre préstamo y desperdicio. En la misma Fig. 7.6 considérese ahora el diagrama de masas QS cuya compensadora AA' está situada entre un préstamo atrás y un desperdicio adelante; entonces, la ecuación general anterior se cambia a la siguiente:

$$\begin{aligned} \frac{Pat}{Cat} + \frac{Dad - Dcd}{Cdd} = & \$ A \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right] \\ & + \$ B \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right] \end{aligned}$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



$$+ \$ C \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right]$$

En este caso si el segundo miembro es negativo, o positivo, pero con un valor absoluto inferior al del primer miembro, la compensadora deberá subirse; si es positivo pero con un valor absoluto mayor al del primer miembro, entonces deberá bajarse.

Compensadora en estudio entre un desperdicio y un préstamo. En la misma figura considérese ahora el diagrama de masas RT, cuya compensadora AA' está situada entre un desperdicio atrás y un préstamo adelante; entonces la ecuación general que se debe satisfacer es la siguiente:

$$- \frac{D_{at}}{C_{dt}} - \frac{P_{at}}{C_{at}} + \frac{D_{ct}}{C_{dt}} = \$ A \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right]$$

En este caso, si el segundo miembro es positivo, o negativo pero con un valor absoluto inferior al primer miembro, la compensadora deberá bajarse; si el segundo miembro es negativo con un valor absoluto superior al del primero, entonces deberá subirse.

3. Compensadora en estudio comprendida entre dos desperdicios finalmente considerada en el diagrama de masas RS, en el que la compensadora AA' está limitada por dos desperdicios; la ecuación general que se debe satisfacer es:

$$\frac{D_{ad} - D_{cd}}{C_{dd}} - \frac{D_{at} - D_{ct}}{C_{dt}} = \$ A \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right]$$

$$+ \$ B \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right]$$



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Así por ejemplo, en el diagrama de masas mostrado en la figura 7.7 que se ha dibujado empleando escalas vertical y horizontal 1 cm igual a 200 m³ y 1 cm igual a 20 m, respectivamente, se tiene que la compensadora a que dan lugar los movimientos, se encuentra localizada entre dos prestamos.

Para la determinación de la posición económica de la compensadora se tienen los siguientes datos y especificaciones.

- 1.-Acarreo libre: 20 m
- 2.-Sobreacarreos:

DISTRIBUCION DE CENTRO A CENTRO DE GRAVEDAD	UNIDAD	APROXIMACION	PRECIO UNITARIO
De 20 a 120 metros	M3 est	Una decimal	\$ 0.20
De 120 a 520 metros	M3 hm	Una decimal	0.50
Mayor de 520 metros	M3 km	Una décima	3.30

En todo movimiento solamente se considerará un solo tipo de sobreacarreo que estará dado por la distancia entre los centros de gravedad de los volúmenes de corte y terraplén.

- 3.- Costo total de la formación de un metro cúbico de terraplén con material producto de préstamo:
 - a) Pat = \$ 7.30
 - b) Pad = \$ 7.50

4.- Coeficiente de variabilidad volumétrica tanto para el material de préstamo como para el de corte, igual a 1.00.

Del estudio de los precios unitarios relativo a los 3 tipos de sobreacarreo, se deduce que un metro cúbico de material transportado a la distancia máxima de acarreo correspondiente al sobreacarreo expresado en m³ est, o sea, 120 m menos el acarreo libre, tendrá un costo de 5 m³ est x 0.20 = \$1.00; si ese mismo volumen se transportara a una distancia ligeramente mayor, 121 m menos el acarreo libre, su cuantificación se hará en m³ hm y su costo será de \$ 0.50. Del mismo modo, si un metro cúbico de material se transportara a una distancia máxima de acarreo de los sobreacarreos expresados en m³ hm, o sea 520 m menos el acarreo libre, tendrá un costo de 5 m³ hm x 0.50 = \$ 2.50; en cambio, ese mismo volumen transportado a 521 m menos el acarreo libre se medirá en kilómetros y tendrá un costo de 0.5 m³ km x 3.30 = \$ 1.65.

Así mismo, un análisis del diagrama de masas permite observar que los sobreacarreos ocasionados por los movimientos 1,3 y 4 necesariamente tienen que expresarse en m³ est, pero que el movimiento numero 2 puede ocasionar un sobreacarreo expresado en m³ hm. Por tanto, siendo como se ha visto, mas económico el sobreacarreo expresado en m³/hm, convendrá que la compensadora en estudio origine éste tipo de sobreacarreo en el movimiento número 2.

Siguiendo este criterio se ha fijado la compensadora de prueba MN, que tiene su origen en el eje vertical K y como ordenada la 10,800. Para este ejemplo se aplica la ecuación correspondiente al caso en que la compensadora esta comprendida entre dos prestamos, pero como se tiene únicamente dos tipos de



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



acarreo, el segundo miembro de la ecuación queda integrado por 2 sumandos. Por otra parte, como únicamente existe un movimiento cuyo acarreo se va a expresar en m³ hm y queda por encima de la compensadora, es decir, su sentido es hacia delante, será par; lo que permite simplificar la ecuación expresándola de la siguiente manera:

$$\frac{Pat}{Cat} - \frac{Pad}{Cad} = \$ A \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right] - \$ B \left[\sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right]$$

Y sustituyendo se tiene para el primer miembro:

$$\frac{Pat}{Cat} = \$ 7.30$$

$$\frac{Pat}{Cat} - \frac{Pad}{Cad} = \$ 7.30 - \$ 7.50$$

$$\frac{Pad}{Cad} = \$ 7.50$$

$$\frac{Pat}{Cat} - \frac{Pad}{Cad} = - \$ 0.20$$

Y para el segundo miembro:

MOVIMIENTO NUMERO	SENTIDO	EXPRESADO EN	LONGITUD DE PAGO	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1	Atrás	M3 est	1.7	\$ 0.20	\$ 0.34
3	Atrás	M3 est	4.5	0.20	0.90
2	Adelante	M3 hm	1.6	0.50	0.80
4	Adelante	M3 est	3.8	0.20	0.76

Costo total de los movimientos hacia atrás.... = \$ 1.24

delante = \$ 1.56

Costo total de los movimientos hacia

Diferencia.... = \$ 0.32

Como el valor del primer miembro (- \$ 0.20) es diferente al resultado obtenido (- \$ 0.32), es necesario mover la compensadora. Ahora bien como en el segundo miembro la diferencia resultó negativa, es decir resultó mayor la longitud de la abertura de los movimientos hacia delante, se debe subir la compensadora para alcanzar la igualdad deseada. Por tanto se probará la compensadora UV cuya ordenada tiene un valor de 10,900.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



MOVIMIENTO NUMERO	SENTIDO	EXPRESADO EN	LONGITUD DE PAGO	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1	Atrás	M3 est	2	\$ 0.20	\$ 0.40
3	Atrás	M3 est	5	0.20	1
2	Adelante	M3 hm	1.5	0.50	0.75
4	Adelante	M3 est	3.2	0.20	0.64

Costo total de los movimientos hacia atrás.... = \$ 1.40

Costo total de los movimientos hacia
delante = \$ 1.39

Diferencia.... = \$ 0.01

Ahora es mayor la longitud de la abertura de los movimientos hacia atrás, por lo tanto debe bajarse la compensadora. La posición correcta de la compensadora se puede obtener en forma aproximada empleando el siguiente procedimiento gráfico: La diferencia con respecto al primer miembro de la ecuación dada por la primera compensadora de prueba, convertida a una distancia, es llevada a MO a la izquierda de la vertical K; análogamente la diferencia resultante de la segunda compensadora de prueba, convertida a distancia, es llevada a UO1 a la derecha del eje vertical K, el punto de intersección de la recta OO1, con el eje vertical k dará aproximadamente la ordenada correspondiente a la compensadora buscada.

En el ejemplo que se cita la intersección indica la posición de la compensadora PQ en la ordenada 10,840; comprobando la bondad del método se obtendrían los siguientes resultados:

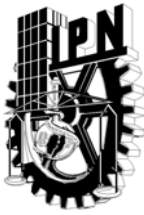
MOVIMIENTO NUMERO	SENTIDO	EXPRESADO EN	LONGITUD DE PAGO	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1	Atrás	M3 est	1.8	\$ 0.20	\$ 0.36
3	Atrás	M3 est	4.6	0.20	0.92
2	Adelante	M3 hm	1.5	0.50	0.75
4	Adelante	M3 est	3.6	0.20	0.72

Costo total de los movimientos hacia atrás.... = \$ 1.28

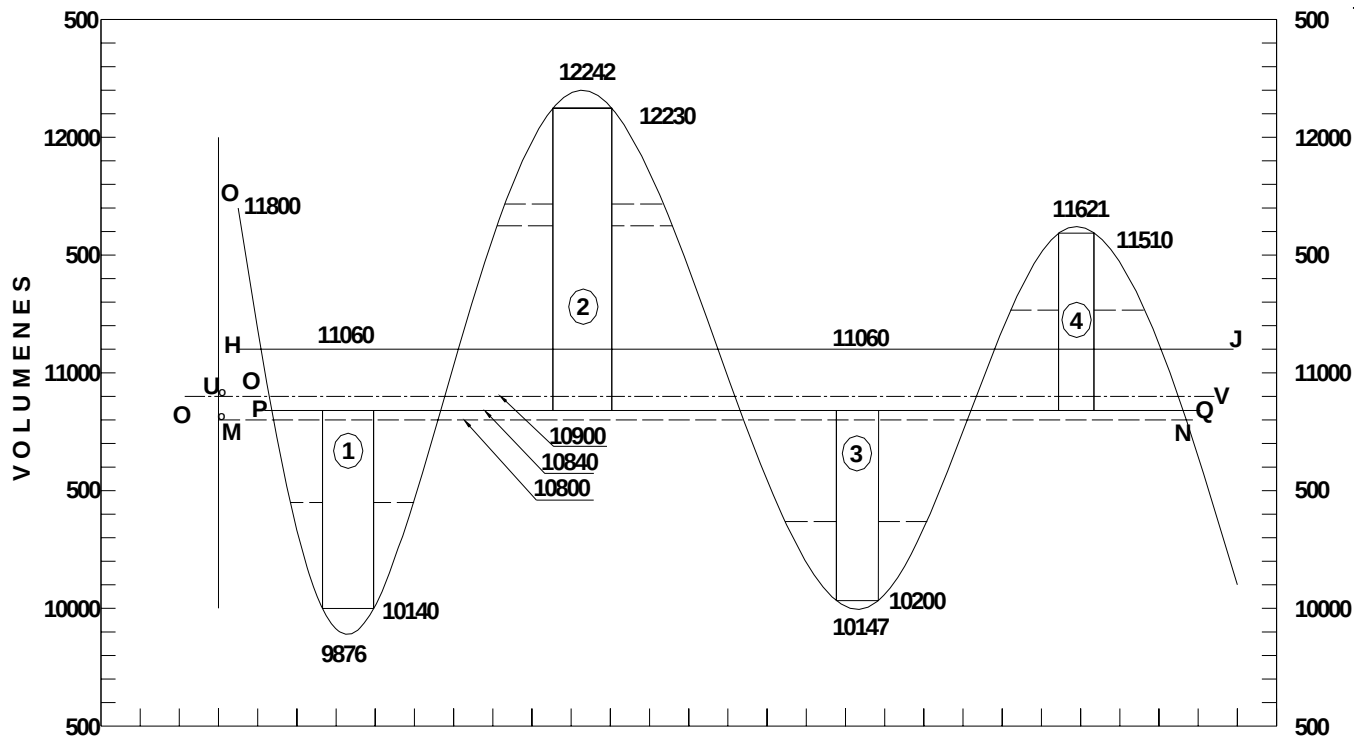
Costo total de los movimientos hacia
delante = \$ 1.47

Diferencia.... = \$ 0.19

Como el valor del primer miembro (- \$ 0.20) es prácticamente igual que el resultado obtenido (- \$ 0.19) se satisface la ecuación siendo por lo tanto PQ la compensadora económica.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



UBICACION DE LA COMPENSADORA ECONOMICA

FIG. 7.7



7.6 ACARREOS DE DISTANCIA LIBRE Y SOBREACARREOS ⁴

7.6.1 ACARREOS

Consisten en el transporte de material producto de cortes o préstamos, a lugares fijados para construir un terraplén o depositar un desperdicio. También se aplica al acarreo de agua para compactación. La utilización del diagrama de masas en acarreos sirve principalmente para:

- 1.- Compensar los volúmenes.
- 2.- Fijar el sentido de los movimientos del material.
- 3.- Determinar los límites del acarreo libre.
- 4.- Calcular los sobreacarreos.
5. Controlar préstamos y desperdicios.

Sentido de los movimientos.- Los cortes arriba de la línea de compensación se mueven hacia delante y los cortes que quedan abajo, se mueven hacia atrás.

Las áreas de los contornos cerrados comprendidos entre el diagrama y la compensadora, representan los acarreos de material entre los puntos de cruce.

El acarreo más económico, es el que se tiene cuando la compensadora hace mínima la suma de áreas.

La secretaria de comunicaciones y transportes (SCT), clasifica los acarreos de acuerdo con la distancia que hay entre el centro de gravedad de la excavación y el centro de gravedad del terraplén a construir, o del sitio donde el desperdicio se va a depositar en:

- a) acarreo libre. Es el que se efectúa dentro de una distancia de 20 metros.
- b) Sobreacarreo en m^3 – estación. Cuando la distancia entre los centros de gravedad está comprendida entre 20 y 120 m.
- c) Sobreacarreo en m^3 – hectómetro. Cuando la distancia entre los centros de gravedad está comprendida entre 120 y 520 m.
- d) Sobreacarreo en m^3 – Kilómetro. Cuando la distancia entre los centros de gravedad excede de 520 m.

7.6.2 Acarreo de distancia libre

Es la distancia máxima a la que puede ser transportado un material, estando el precio de esta operación incluido en el de la excavación. En consecuencia, para no encarecer el precio de la excavación, el acarreo libre debe ser a la mínima distancia requerida por el equipo que lleva a cabo la extracción, carga y descarga del material.

Por convención la secretaria de comunicaciones y transportes (SCT), ha adoptado una distancia de acarreo libre de 20 m. ésta se representa por medio de una horizontal en la zona inmediata a los máximos o mínimos del diagrama de masas.

(4) SCT (1991) Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. 4ta. Reimpresión, México, Secretaría de Comunicaciones y Transportes



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Pp. 429 a la 434

En el diagrama de masas de la figura 7.8, son conocidas las ordenadas correspondientes a las estaciones 1, 3, 4 y 6, y por supuesto el acarreo libre AL, que estará dividido en los puntos a, b y c. Se ha dicho, dentro de las propiedades de la curva masa, que la diferencia de ordenadas entre dos puntos cualesquiera expresa un volumen, representados en la figura por las letras Q Y U para terraplén y corte, respectivamente.

La pendiente en la línea correspondiente al terraplén es:

$$P_t = \frac{Q}{\text{Distancia entre estaciones 1 y 3}}$$

Y la pendiente de la línea correspondiente al corte es:

$$P_c = \frac{U}{\text{Distancia entre estaciones 4 y 6}}$$

Por otro lado, se tiene que la ordenada en el punto 2 es igual a la del punto 5 y por lo tanto, en el tramo comprendido entre ellos serán iguales los volúmenes de terraplén.

En esta figura las estaciones que limitan el acarreo libre serán:

$$\text{Est. 2} = \text{Est. 3} - a$$

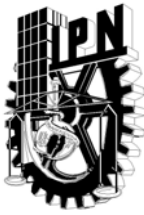
$$\text{Est. 5} = \text{Est. 4} + c$$

7.6.3 Distancia media de sobreacarreo

El sobreacarreo es el transporte de los materiales ya sea de corte o de un préstamo que exceda la distancia de 20 m. (acarreo libre).

A la distancia que hay del centro de gravedad del corte (o préstamo), al centro de gravedad del terraplén que se forma con ese material, se le resta la distancia de acarreo libre para tener la distancia media de sobreacarreo. El pago de sobreacarreo se obtiene multiplicando los metros cúbicos del material, medidos en la misma excavación, por el precio unitario correspondiente.

Refiriéndose a la figura 7.9 se tiene, que la distancia de acarreo libre es la horizontal que corta a la curva en los puntos A y C de modo que AC = 20 m. El material por encima de la recta AC es el que se transportará sin costo adicional. El volumen de este material viene dado por la diferencia de ordenadas entre la recta AC y el punto B y es una medida del volumen de corte entre a y b, que forma el terraplén entre b y c.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Considérese ahora el volumen sobre la línea de compensación OD. El estudio de la curva masa y del perfil correspondiente, muestra que el corte de o a b formara el terraplén de b a d. Como el material que queda por encima de la compensadora AC esta incluido en el límite de acarreo libre, la otra parte entre las líneas OD y AC que se mide por la ordenada A'A esta sujeta a un trasporte adicional o sobreacarreo. Esto es, el volumen comprendido entre o y a debe ser sobreacarreado para formar el terraplén entre c y d.

La distancia media de sobreacarreo entre el corte 0 – a, y el terraplén a formar entre los centros de gravedad del corte 0 – a y el terraplén c – d. Si por los centros de gravedad del corte y del terraplén de se lleva una vertical, ésta cortará a la curva masa en los puntos H y J.

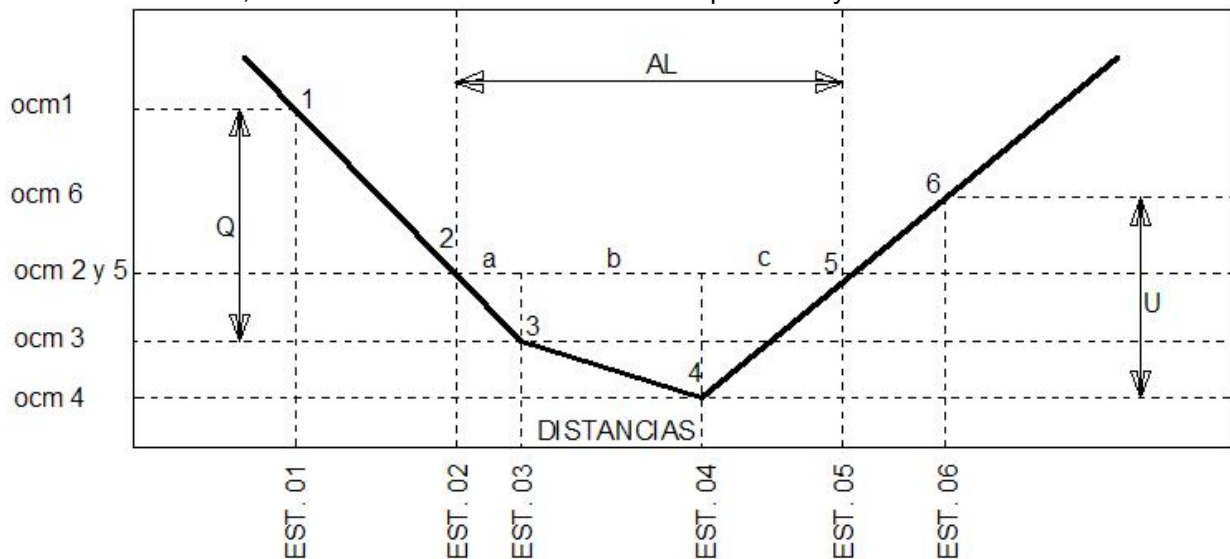


Fig. 7.8 ACARREO LIBRE

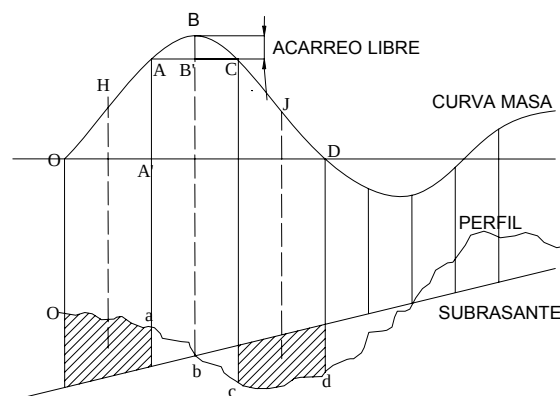


Fig. 7.9 DISTANCIA MEDIA DE SOBRECARRERO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



7.7 PRÉSTAMOS LATERALES Y DE BANCO

7.7.1 PRESTAMOS LATERALES

Son excavaciones ejecutadas dentro de fajas ubicadas paralelamente al eje del camino a uno o ambos lados de él, con anchos determinados en el proyecto y cuyos materiales se utilizan exclusivamente en la formación de terraplenes contiguos. El límite exterior de cada faja se fija actualmente a una distancia máxima de cien metros, contados a partir del eje del camino.

7.7.2 PRESTAMOS DE BANCO

Son los ejecutados fuera del límite de cien metros de ancho indicado en el punto anterior y los ejecutados dentro de dicho límite, cuyos materiales se empleen en la construcción de terraplenes que no estén situados lateralmente a dichos préstamos.

El pago se hace midiendo el volumen geométrico de excavación en metros cúbicos, multiplicándolo por el precio unitario correspondiente. El precio unitario se fija de acuerdo con la dificultad que presenta el material al extraerse y cargarse.

7.8 DESPERDICIOS Y TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES

7.8. DESPERDICIOS

Si se determina correctamente, con anterioridad, los factores de abundamiento y reducción de los materiales, se puede observar que los volúmenes de los cortes son suficientes para construir los terraplenes y no hay desperdicios. Sin embargo, es muy común que las determinaciones de los factores antes mencionados no se lleven a cabo y sean nada más supuestos, con lo cual la curva masa no se cumple enteramente y los cortes son suficientes para terraplenar. En algunos casos, parte de los volúmenes de corte deben desperdiciarse, para lo cual se transportaran a lugares convenientes fuera del camino.

Generalmente los préstamos se originan por exceso de volumen de terraplén y los desperdicios por exceso de volumen de corte.

7.8.1 TRATAMIENTO DE LOS MATERIALES

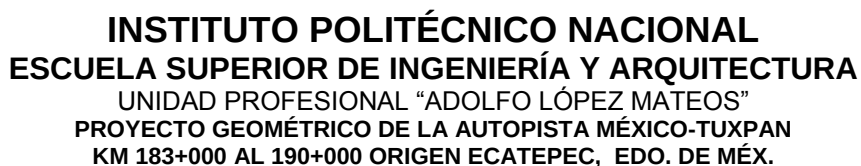
Se denomina estabilización de suelos al proceso de someter a los suelos a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades de manera que puedan soportar las condiciones adversas de clima, rindiendo en todo el tiempo el servicio adecuado que de ellos se espera.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Así por ejemplo, se dice que se estabiliza un talud cuando, empleando el procedimiento adecuado para el caso ya sea acostando el talud, amacizándolo, con mampostería o sembrando en él plantas adecuadas, se logra la eliminación de derrumbes, con lo que se evita el peligro de suspensiones de tránsito o de azolve de cunetas. Cuando se dice estabilización de acotamientos se entiende que mediante el procedimiento adecuado ya sea revistiéndolo, empedrándolos, dándoles cohesión, sembrando zacate, se consigue que no se deslaven y que distinguiéndose de la superficie de rodamiento del camino, permite el estacionamiento de vehículos sin producir lodo y que, en casos de emergencia, pueda utilizarse como superficie de rodamiento para evitar accidentes. También se puede estabilizar los suelos para aprovechar sus mejores cualidades y construir con ellos buenas terracerías, o adecuadas sub-bases y bases del pavimento.





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



$$(1). - S / A = \frac{2112}{0.95} \times 1.5 \text{ Est..} = 3335m^3 \text{ Est}$$

$$(2). - S / A = \frac{23414}{0.95} \times 1.0 \text{ Hm..} = 24646m^3 \text{ Hm.}$$

$$S / A = 24646 \times 0.1 \text{ Hm..} = 2465m^3 \text{ Hm} + 1.$$

$$(3). - S / A = \frac{11793}{0.95} \times 4.1 \text{ Est..} = 50897m^3 \text{ Est.}$$

$$(4). - S / A = \frac{3284}{0.95} \times 1.9 \text{ Est..} = 6568m^3 \text{ Est.}$$

$$(5). - S / A = \frac{6029}{0.95} \times 3.1 \text{ Est..} = 19673m^3 \text{ Est.}$$

$$(6). - S / A = \frac{4223}{0.95} \times 2.1 \text{ Est..} = 9335m^3 \text{ Est.}$$

$$(7). - S / A = \frac{17829}{0.95} \times 1.0 \text{ Hm..} = 18767m^3 \text{ Hm.}$$

$$S / A = 18767 \times 0.3 \text{ Est..} = 5630m^3 \text{ Hm} + 1.$$

$$(8). - S / A = \frac{15382}{0.95} \times 1.0 \text{ Hm..} = 16192m^3 \text{ Hm.}$$

$$S / A = 16192 \times 0.7 \text{ Hm.} = 11334m^3 \text{ Hm} + 1.$$

$$\text{Dist} = (185,000 - 182,200) + (13000) = 15,800\text{m} = 16 \text{ km}$$

$$1.- S / A = 11530m^3 \times 1.001 \text{er.km} = 11530m^3 \text{ 1er.km}$$

$$2.- S / A = 11530m^3 \times 15.00\text{km} = 172950m^3 \text{ kmsubs.}$$

ACARREOS	MATERIAL PRODUCTO DE LOS CORTES				
	M3 Estación	m3 hm	m3 - hm - ad	m3 5hm	m3 - hm - ad
	91874	59605	19429		
	MATERIAL PRODUCTO DE LOS PRESTAMOS DE BANCO				
	m3 1er km	m3 km subs.		Vol. Agua m3	m3 km
	11530	172950			



7.9 MAQUINARIA Y EQUIPO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCION DE TERRACERIAS ⁵

En la construcción de caminos, desde el despalme, hasta la carpeta, se utiliza maquinaria y/o equipo que representa la parte más importante en la realización de este.

Es necesario planear previamente la maquinaria y/o el equipo que se utilizara para desarrollar los procedimientos constructivos. La variedad en marca, tipos, modelos y capacidades, permiten seleccionar la maquinaria y/o equipo que represente la mayor productividad y eficiencia.

7.9.1 IDENTIFICACION FUNCIONAL DE LA MAQUINARIA Y/O EQUIPO

En cuanto a su función, la selección del equipo para construcción se divide en unidades de tracción, luego las excavadoras, los equipos de acarreo, y otros equipos para el manejo de materiales, junto con equipo para su procedimiento. En tal conjunto, cada equipo es identificado por separado, aunque pueden agruparse.

Las unidades de tracción o movedores primarios, forman un grupo funcional de equipo para construcción, que permite que la maquinaria haga su trabajo de construcción, en estos casos un tractor de orugas o de neumáticos actuara como unidad de tracción, por ejemplo para tirar de una escarpa de un vagón de acarreo, o de cualquier otro equipo.

Otro grupo de equipo para construcción es el que se utiliza para hacer trabajos de excavación y abarca las diversas formas de tractores. Como el tractor empujador de hoja frontal, el tractor de hoja de empuje angular, etc. Un equipo similar es la motoconformadora, que también se utiliza para mover material excavado teniendo como objetivo la conformación de una superficie. Cualquiera de estos equipos puede adaptarse para hacer trabajos de desgarramiento o de arado de material a excavar.

Para excavar y cargar material para moverlo después, hay equipos muy versátiles que se denominan cargadores frontales, palas mecánicas, o motorizadas, retroexcavadoras, dragas de arrastre o de cucharón de almeja, etc.

Otro grupo de equipos para construcción es el que se utiliza para hacer los acarreos; dentro de este grupo se identifican equipos que sirven para mover material suelto o procesado. Por lo general estos equipos no pueden cargar por sí mismos sin dispositivos especiales, pero sí pueden vaciar el material suelto. Dentro de este grupo se identifican también los transportadores de banda, de canchales. Así como los equipos de acarreo, por ejemplo camiones de volteo, etc.

(5) Crespo Villalaz Carlos (1998) Vías de comunicación 3ª. Ed 1ª Reimp. Editorial LIMUSA, México, Pág. 401 a la 505 CONSTRUCCION DE MAQUINARIA



7.9.2. IDENTIFICACION DE TRABAJO DEL EQUIPO.

Los equipos también pueden identificarse según el trabajo u operación de construcción en la que se emplean con frecuencia, esta clasificación es apropiada porque la selección de equipo se basa primordialmente en los trabajos de construcción en los que ha de utilizarse. Los aspectos específicos de un trabajo u operación se deben de conocer antes de seleccionar un buen equipo para su uso.

7.9.2.1 FACTORES DE SELECCIÓN DEL EQUIPO.

Los factores de selección del equipo para realizar una operación de construcción son:

Costo y facilidad de conversión. Es decir se elige el equipo que pueda hacer el trabajo al mínimo costo total siendo iguales los demás factores

A continuación se mencionan otros factores significativos a considerar en la selección

1. Trabajo u operación específica a realizar.

La operación específica de construcción, es el factor primario en la selección del equipo necesario para lograr el trabajo. El concepto de trabajo u operación específica por realizar tiene varios aspectos generales en la selección del equipo. El problema comprende el conocimiento de:

- a) El trabajo físico a efectuar, al realizar la operación
- b) La disponibilidad de espacio del trabajo
- c) Los requisitos y disponibilidad de potencia

2. Tiempo Programado para realizar el trabajo.

La selección del equipo depende directamente de las siguientes consideraciones de tiempo, y puede decidirse por algunas de ellas.

- a) El tiempo permitido por el contrato de construcción
- b) La sincronización necesaria y económica de las operaciones secuenciales.
- c) El efecto relativo del costo administrativo en la economía de la operación.
- d) La variación de las tarifas de renta del equipo, con el tiempo que toma a los equipos a realizar la operación.

3. Balanceo del equipo interdependiente

Muchas operaciones de construcción tienen dos o más tipos de equipo, trabajando simultáneamente, realizando cada uno su parte del trabajo.

Estos equipos se denominan interdependientes para que estos equipos trabajen juntos, en forma efectiva y económica, sus regímenes de producción deben ser tan compatibles como sea posible.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Una parte del balanceo del equipo interdependiente, consiste en hacer compatibles los tamaños de sus elementos de trabajo. Por ejemplo, un cucharón de carga debe poder llenar, precisamente, un recipiente de un acarreo, con un cierto número de cucharones llenos.

Si la carga es $\frac{3}{4}$ de metros cúbicos de capacidades las unidades o cargas de acarreo, deben tener capacidades de 3, 4 $\frac{1}{2}$ o 6 metros cúbicos. En tales casos se requeriría un número par de cargas de cucharón, cuatro, seis, ocho, respectivamente para cargar los recipientes de acarreo.

Otra parte del balanceo del equipo interdependiente, se refiere a la correspondencia de las productividades de varios tipos de equipo. Una cargadora o una mezcladora, o cualquier pieza clave del equipo, tiene cierta productividad para una operación dada, es decir una productividad óptima, normal y real.

4. Versatilidad y Adaptabilidad del equipo

Otro factor de selección del equipo que no depende del costo, es la versatilidad o adaptabilidad del mismo.

Un equipo versátil es aquel que está diseñado para lograr varios propósitos, y que funciona en una variedad de operaciones. El ejemplo mas obvio, entre los equipos de construcción, es el Tractor. Pueden utilizarse como unidad de movimiento primario, como empujador, como excavador de hoja frontal, como arado o como rascador

7.9.3 DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA.

7.9.3.1 TRACTORES.

El tractor es una de las maquinas mas utilizadas en la construcción de carreteras, se ocupa durante y casi todo el tiempo que dura la obra debido a su gran variedad de uso. Se clasifican en 2 tipos de acuerdo a su sistema de rodamiento:

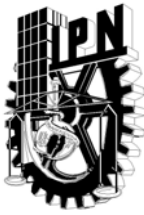
1. Los tractores sobre orugas o carriles.

Los tractores sobre orugas tienen una gran variedad de usos en la construcción de caminos como limpieza de terrenos, movimiento de materiales a corta distancia, cortes en ladera, limpieza y nivelación de pisos de banco, etc.

En la actualidad el término buldózer se usa en sentido general tanto para los buldózer propiamente dichos como para los anglodozer. Los buldózer son los que se montan con su cuchilla perpendicular a la dirección de su avance, mientras que los anglodozer se montan con su cuchilla formando un determinado ángulo con la dirección de avance.

2. Tractores sobre neumáticos.

Tratando de obtener unidades que se muevan a mayor velocidad que los tractores de oruga aparecieron los tractores sobre neumáticos que hoy se encuentran en uso con velocidades mayores a 45 Km./HR y los cuales compiten en muchas obras con los tractores montados sobre orugas.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Accesorio que se le adapten al tractor lo hacen ser una maquinaria muy variable e indispensable, los accesorios son:

a) Hojas empujadoras.

Los cuchillos o dozer son aditamentos frontales que al adaptarse al tractor lo convierten en buldózer para usos múltiples como son: excavar, empujar y extender material.

Los tipos de hojas que se utilizan son:

- Hoja recta “S” que se utiliza para excavar acarreando el material hacia delante.
- Hoja angulable o de giro “A” que puede inclinarse en relación al avance del tractor
- Hoja universal en “U” que tiene una mayor capacidad puesto que los lados forman una caja para evitar que el material se escurra
- Hoja amortiguadora “C” para empujar y resistir los impactos.
- Hoja desgarradora que permite una mayor penetración en el terreno.

Cada hoja tiene una función específica; sin embargo las más frecuentes son: la recta y la angulable.

b) Desgarradores o “Rippers”

Este aditamento va adaptado en la parte trasera del tractor como su nombre lo indica, sirve para desgarrar el suelo facilitando las operaciones de rotura y afloje de la superficie del suelo.

El arado se acopla en la parte posterior del tractor y consiste en una viga horizontal la cual tiene en su extremo un vástago vertical y éste a su vez termina en su parte inferior en una punta llamada casquillo. Al penetrar el vástago con su casquillo en el terreno y ser jalados por la fuerza tractiva va rompiendo la estructura del material que se pretende excavar y logrando con esto el afloje requerido para que pueda cargarse mediante excavadoras frontales o motoescrapas o acarrear con buldózer, según el procedimiento de construcción que se halla planeado de acuerdo con el proyecto.

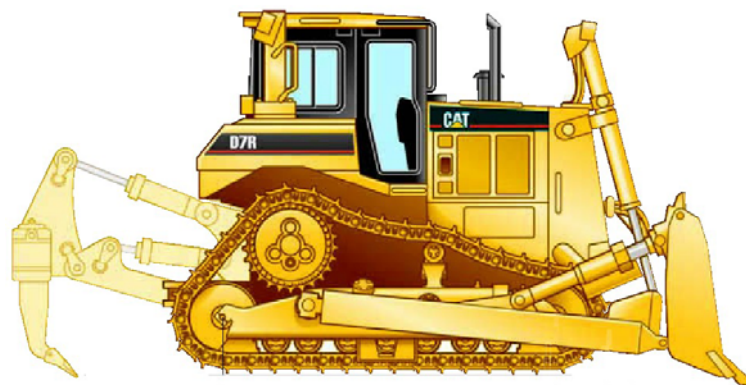


Fig. 7.11



7.9.3.2 MOTOESCREPAS.

Las motoescrepas o moto-traillas como también se les llama, son una combinación de tractor y escrepa, ambos sobre neumáticos que permite una gran rapidez en su movimiento por lo que se obtiene mayor rendimiento. Generalmente estas maquinas pueden marchar a una velocidad máxima de 50 km/hr.

Las motoescrepas se utilizan con mucha frecuencia cuando se requiere acarrear las terracerías a distancias que oscilan entre 200 a 300 m debido a que compiten en costo con los sistemas tradicionales de cargador y camión o también cargador vagoneta independientemente de otras ventajas de carácter técnico, tales como la colocación del material en cajas a espesores controlables que permiten un mejor control en la calidad de la construcción de terraplenes, en los acabados, en cortes etc

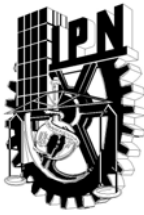


Fig. 7.12

7.9.3.3. RETROESCAVADORA.

Las retroexcavadoras son equipos que se utilizan en una amplia variedad de trabajos de excavación, donde el material a excavar se encuentra bajo el nivel de piso en el que apoya la maquina. Este tipo de excavadoras existen desde hace mucho tiempo y se desarrollo a partir de un diseño básico de orugas y operadas con motor de diesel o gasolina.

Las retroexcavadoras hidráulicas pequeñas, de $3/8$, $1/2$ y $3/2$ yd³ de capacidad, además de trabajar en alcantarillas y líneas de agua como sus antecesoras operadas con cable, hacen obras de excavación para cimentaciones y urbanizaciones. Las retroexcavadoras más grandes de $2 \frac{1}{2}$ a 3 yd³ de capacidad, gracias a su alcance, profundidad y productividad se han abierto paso a nuevas aplicaciones en excavaciones en general, trabajos de cantera y manejo de materiales y han desplazado en algunos casos a los cargadores sobre llantas, palas y dragas que efectúan esos trabajos.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Una retroexcavadora tiene un rango de acción bastante amplio en el cual se puede mover eficientemente, obtener su carga correctamente, colocar el cucharón para descargar y finalmente hacer la descarga. Teniendo una zona aproximada de trabajo de la retroexcavadora hidráulica (capacidad de 1 a 3 yd³):

- Alcance de 10 a 15 m
- Profundidad de 8 a 10 m
- Altura de carga de 4 a 7 m

Se utilizan donde es posible mover grandes volúmenes sin necesidad de mayor desplazamiento. Las demás características de operación y diseño son:

- a) Alcance
- b) Profundidad de excavación
- c) Área de excavación
- d) Altura de descarga
- e) Giro
- f) Capacidad del cucharón

Dentro de la amplia variedad de aplicaciones de una retroexcavadora, se pueden mencionar:

- Excavación de zanja para drenaje y agua potable.
- Alcantarilla y cunetas de camino
- Excavación y afine de canales
- Excavación para cimentación de edificios y casas
- Alimentación de equipos de trituración y cribado
- Carga de camiones
- Levantar pavimentos asfálticos deteriorados
- Limpieza de terrenos
- Colocación de tubería de drenaje y agua potable
- Excavación de precisión
- Rellenos
- Desazolves de canales.

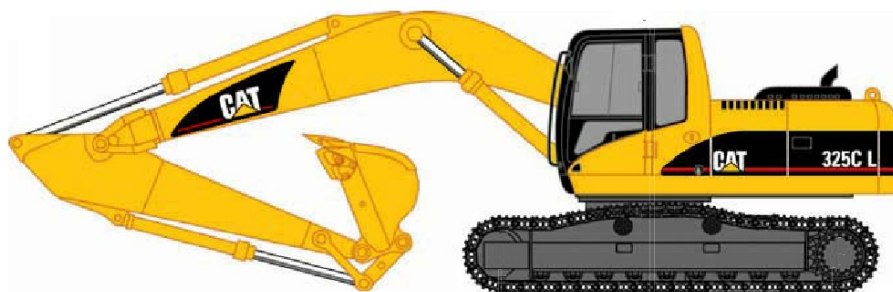


Fig. 7.13

WWW.kellytractor.com (2003) Manuales de Maquinaria y Equipo Caterpillar, imágenes.



7.9.3.4. CARGADORES

Para realizar operaciones de carga, excavaciones, transporte, y vaciado de material a diferentes alturas y con gran rapidez se utiliza el cargador. El uso de esta maquinaria da soluciones modernas a un problema de acarreo y carga de materiales con la finalidad de reducir los costos y elevar la producción.

Los cargadores se clasifican desde dos puntos de vista: en cuanto a su forma de descarga y en cuanto al tipo de rodamiento

1) Por la forma de efectuar la descarga se clasifican en :

a) Descarga frontal.

Los cargadores con descarga frontal son los más usuales de todos. Estos voltean el cucharón o bote hacia la parte delantera del tractor, accionado por medio de gatos hidráulicos.

b) Descarga lateral.

Los de descarga lateral tienen un gato adicional que acciona el bote volteándolo hacia uno de los costados del cargador. Esto tiene como ventaja que el cargador no necesita hacer tantos movimientos para colocarse en posición de cargar el camión o vehículo que se desee, sino que se coloque el vehículo paralelo. Desde luego ese tipo es mas caro que el cargador frontal, y solo se justifica su uso en condiciones especiales de trabajo, por ejemplo, en sitios donde no hay muchos espacios para maniobras como en rezaga de túneles de gran sección o en cortes largos de camino.

c) Descarga trasera.

Los equipos de descarga trasera se diseñaron con el fin de evitar maniobras del cargador. En éstos el cucharón ya cargado pasa sobre la cabeza del operador y descarga hacia atrás directamente al camión a bandas transportadoras o tolvas, etc.

A este equipo de descarga trasera diseñado especialmente para excavaciones de túneles se les llama rezagadotas y hay algunas fabricas que se han dedicado especialmente a perfeccionarlo, por lo que en muchas ocasiones resulta ser el equipo adecuado para cargar el producto de la excavación dentro de túneles.

2) Por la forma de Rodamiento

a) De carriles (orugas)

Las orugas son de carril ancho para mejorar la estabilidad contra el volcamiento lateral cuando acarrea cargas pesadas.

El tipo de zapatas de las orugas utilizadas tiene una influencia considerable en la técnica de excavación. En ocasiones se utiliza la zapata lisa para no deteriorar la superficie de trabajo, pero esta tiene un inconveniente de que patina bastante sobre muchos suelos e impide que toda la potencia de la maquina se aplique al trabajo.

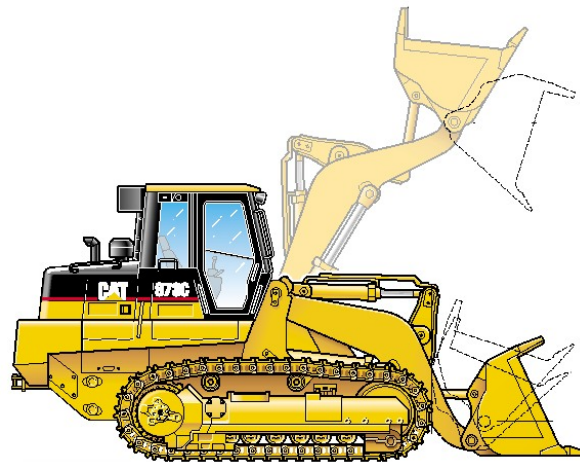
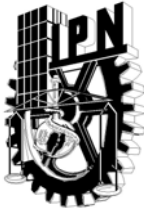


Fig. 7.14

b) De llantas (Neumáticos)

Los cargadores frontales montados sobre neumáticos son equipos de excavación de carga y acarreo que tienen un cucharón o bote para estos fines y que se adaptan a la parte delantera de los tractores. Estas máquinas por lo tanto no son simples tractores equipados con componentes adecuados para la excavación y carga, sino que son máquinas básicamente proyectadas para excavar, elevar y cargar.

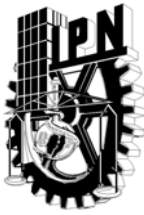
7.9.3.5. APISONADORAS

Se usan para apisonar y compactar terrenos no accesibles para otro tipo de equipo de maquinaria, es decir, zanjas en perímetros de obras de fábrica, etc. y para acentuar materiales de bacheo en reparaciones de pavimentos.



Fig. 7.15

WWW.kellytractor.com (2003) Manuales de Maquinaria y Equipo Caterpillar, imágenes.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



7.9.3.6. MOTOCONFORMADORAS.

Las motoconformadoras son maquinas que pueden realizar los siguientes trabajos:

- Afine de superficie de rodamiento o terraplenes
- Acamellonamientos
- Desplazamiento y mezcla de materiales
- Excavación de cunetas
- Escarificación
- Tendido y nivelación de capas de asfalto

No son adecuadas para realizar excavaciones grandes, ni para movimientos de materiales en el sentido de su desplazamiento, sino mediante vertido lateral. Existen en el mercado internacional, una gran variedad de motoconformadoras cuyas características varían de acuerdo a su potencia en su motor, longitud de su cuchilla, numero de velocidad de avance y retroceso, numero de ejes con tracción (Simple o tándem), etc.

Las motoconformadoras están proyectadas principalmente para controlar e impulsar una hoja de acero sujeta a un circulo (que esta soportado del bastidor superior) situado detrás de las ruedas delanteras y de un escarificador sostenido por un par de barras curvas que pivotan sobre un pasador articulado al frente del bastidor.



Fig. 7.16



7.9.3.7. EQUIPO DE ACARREO

Para acarrear los materiales sueltos a granel, en un proyecto de construcción puede usarse otra variedad de equipo. La escarpa para movimientos de tierra funciona como unidad de acarreo en una parte de su tiempo de trabajo. Otras combinaciones de tractores remolques que se conocen con el nombre de vagonetas, se diseñan especialmente como unidades para acarreo de tierras. El camión de volteo común que recorre las carreteras y calles, se utiliza a menudo como unidad de acarreo de materiales sueltos a granel. En décadas recientes se han desarrollado equipos muy semejantes al camión de volteo pero de mayor tamaño para su uso en carreteras.

Los equipos de acarreo que se fabrican en la actualidad pueden dividirse en dos categorías:

1. Vehículos para carretera
2. Vehículos para fuera de carretera

La diferencia entre estos vehículos se basa en las limitaciones impuestas para transitar en las ciudades, en las carreteras municipales, estatales y federales. Tales determinaciones consideran un máximo de carga, de anchura y otras dimensiones así como medidas para ayudar a la conservación y a la seguridad de los caminos. El resultado de esto significa que solo las unidades de acarreo montadas completamente sobre neumáticos de hule y comprendidas dentro de ciertas dimensiones pueden llamarse equipos para carretera o equipos para fuera de la carretera.

Camión para fuera de carretera.

Estos equipos por lo general se utilizan para acarrear tierra, son más grandes que los vehículos para tránsito sobre carretera. Para lograr mayor producción de este tipo de unidad de acarreo fuera de la carretera, se diseñan para capacidades que dan una carga por eje de 2 a 3 veces mayor que la que se permite en carretera. Esto se ha logrado por las recientes mejoras que se han hecho en los neumáticos con respecto al tamaño y baja presión.



Fig. 7.17

WWW.kellytractor.com (2003) Manuales de Maquinaria y Equipo Caterpillar, imágenes.



7.9.3.8 EQUIPO DE COMPACTACION

El equipo de compactación lo constituye el conjunto de maquinas que, en construcción de terraplenes, sub-base y base, sirven para consolidar los suelos, de acuerdo al grado de compactación especificado.

Hay una gran variedad de equipos de compactación dentro de los cuales tenemos los siguientes:

RODILLOS METÁLICOS

Un rodillo metálico utiliza presión con un mínimo de manipulación en materiales plásticos. Cuando estos rodillos inician la compactación de una capa el área de contacto es más o menos ancha y se forma un bulbo de presión de una cierta profundidad, conforme avanza la compactación, el ancho del área de contacto se reduce y por lo tanto también se reduce la profundidad del bulbo de presión y aumentan los esfuerzos de compresión en la cercanía de la superficie. Estos esfuerzos son con frecuencia suficientes para triturar los agregados en materiales granulares e invariablemente causan la formación de una costra en la superficie de una capa (encarpetamiento).

PLANCHAS TÁNDEN

Son aquellas que tienen dos o tres rodillos metálicos paralelos, generalmente huecos, para hacer lastrados con agua o arena. Tienen generalmente dos números por nomenclatura, el primero es el peso de la maquina sin lastre y el segundo es el peso de la maquina lastrada totalmente.

PLANCHAS DE TRES RUEDAS

Son quizá las más antiguas de diseño, estas planchas tienen dos ruedas traseras paralelas y una rueda delantera. Las ruedas pueden ser huecas para ser lastradas o formadas por placas de acero roladas con atiesadores.

Resumiendo, estas maquinas por su lentitud y poca profundidad de acción han perdido terreno en la compactación de grandes movimientos de tierra, también en algunas aplicaciones específicas que tienen estos equipos como la compactación de carpetas asfálticas van siendo desplazadas por otras maquinas compactadoras.

RODILLOS NEUMÁTICOS

Los rodillos neumáticos son muy eficientes y a menudo esenciales para la compactación de sub-bases, base y carpetas. Sus bulbos de presión son semejantes a los de los rodillos metálicos, pero el área de contacto permanece constante, por lo que no se produce el efecto del punteo del rodillo metálico, sobre zonas suaves se elimina con llantas de suspensión independiente. (Fig. 7.18)



FIG. 7.18

RODILLOS PATA DE CABRA.

Su uso es muy restringido, excepto para amasamiento y compactación de arcillas donde la estratificación debe ser eliminada como en el corazón impermeable de una presa. Los rodillos pata de cabra, son lentos, tiene una gran resistencia al rodamiento por lo que consumen mucha potencia. Este equipo es todavía pedido en especificaciones algunas veces, pero su uso esta declinando debido a los altos costos que tiene por unidad de volumen compactado. (fig. 7.19)

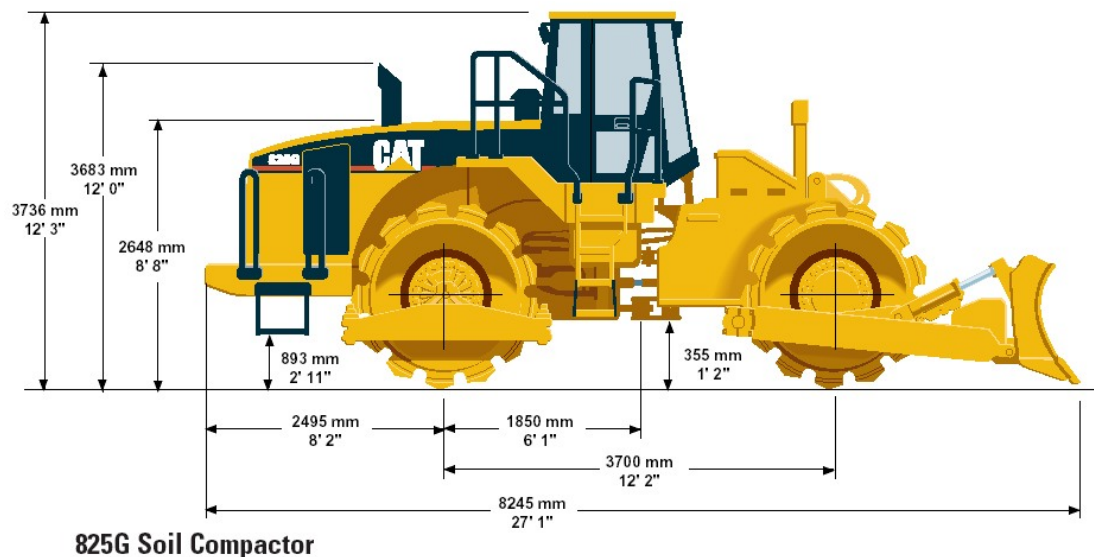
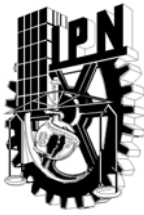


Fig. 7.19

RODILLO VIBRATORIOS

Estos rodillos funcionan disminuyendo temporalmente la fricción interna del suelo como en los suelos granulares (gravas y arenas), su resistencia depende principalmente de la fricción interna (en los suelos plásticos depende de la cohesión), la eficiencia de estos rodillos esta casi limitada a suelos granulares.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



La vibración provoca un reacomodo de las partículas del suelo que resulta en un incremento del peso volumétrico, pudiendo alcanzar grandes espesores de la capa (0.80 m). Estos rodillos pueden reducir un gran trabajo de compactación en relación a su peso estático, ya que la principal fuente de trabajo es la fuerza dinámica de compactación.

Estos rodillos se clasifican por su tamaño: pequeños hasta 9 ton. de fuerza dinámica y grandes de mas de 9 ton. Pudiendo llegar hasta 20 ton. o más. Los grandes pueden llegar a sobre esforzar suelos débiles por lo que hay que manejarlos con cuidado.

Todos los vibradores deben de manejarse a velocidad de 2.5 a 5 km/hr, a velocidades mayores no incrementan la producción y con frecuencia no se obtiene la compactación deseada. (Fig. 7.20)

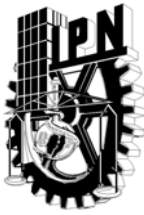


Fig. 7.20

7.9.3.9 MAQUINARIA PARA PRODUCCIÓN DE MATERIALES.

LAS TRITURADORAS.

Las trituradoras se emplean para producir las rocas a tamaños menores y uniformes. Esta producción puede producirse por presión, por impacto, corte o mediante una combinación. Las trituradoras deben ser construidas sólidamente y las superficies de contacto con la piedra deben ser de planchas reemplazables de manganeso u otra aleación especial. Existen varios tipos de trituradoras, entre las que se tienen las que siguen:



A) TRITURADORAS DE QUIJADAS.

Estas son sencillas y económicas, requieren un mínimo de fuerza. Las superficies de triturado consisten en dos quijadas que no se tocan del todo en el fondo y están ampliamente separadas en la parte de arriba. Las caras de estas quijadas pueden ser planas o convexas.

Se fabrican en gran variedad y en tamaños hasta una abertura de 1.68 m. por 2.13 m. Estas máquinas se clasifican según la abertura entre quijadas. Así por ejemplo, una trituradora de 25 cm. x 76 cm. posee una abertura de 25 cm. por arriba y las quijadas tienen 76 cm. de largo. El tamaño máximo de roca que admite es de más o menos del 80% del ancho de la abertura. (fig. 7.21)

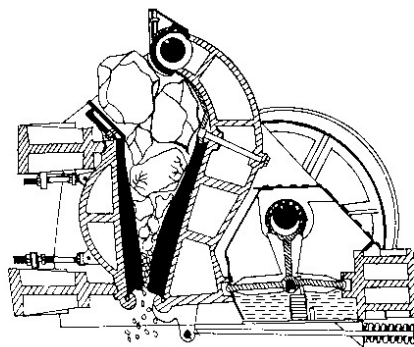


Fig. 7.21

B) TRITURADORAS DE MOLINO DE MARTILLOS.

Este tipo de trituradoras rompe por impacto. Unos mayales que giran rápidamente a velocidades a veces de más de 180 km/hr, golpean las piedras según entran desde la tolva y las lanzan repetidamente contra una placa quebradora.

Los molinos de martillo poseen la mayor razón de reducción que cualquier otro tipo de trituradora, y con roca débil de estructura favorable pueden reducir cubos de 1.20 m. a cubos de 2.54 cm. en una sola operación. Se usan como trituradoras primarias en roca blanda y mediana, y como trituradoras secundarias en cualquier tipo de roca. (fig. 7.22)

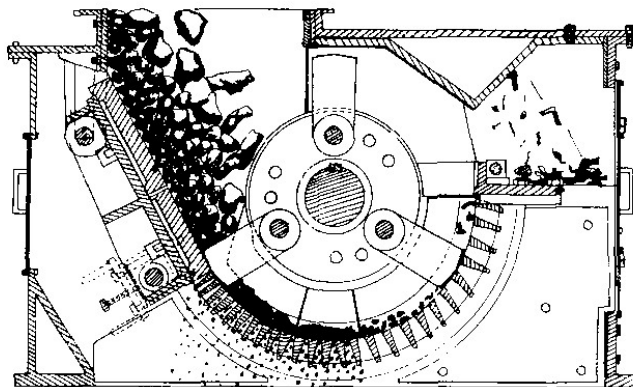


Fig. 7.22

C) TRITURADORAS DE RODILLOS.

Esta trituradora, de rodillo simple, consiste en un rodillo dentado que gira cerca de una placa quebradora. Los dientes o proyectores se conocen como llantas y actúan como mandarrias al romper piedras grandes. (Fig. 7.23)

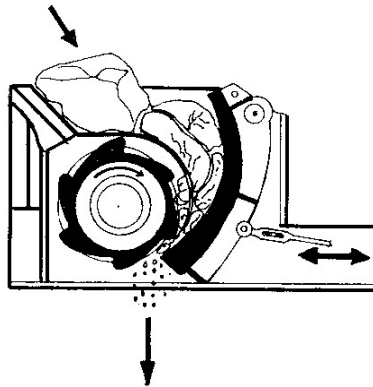


Fig. 7.23

D) TRITURADORAS GIRATORIAS.

Estas derivan su nombre del movimiento giratorio de un cabezal situado dentro de un tazón cónico. La parte inferior del eje que soporta el cabezal está montada sobre una excéntrica accionada mediante mecanismo de rueda y piñón. Esto origina un movimiento giratorio. (Fig. 7.24)

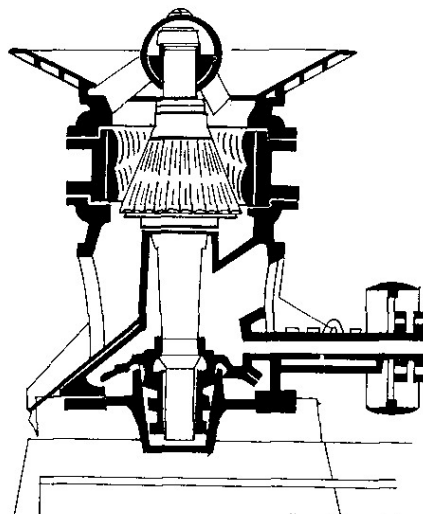
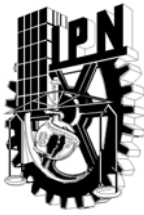


Fig. 7.24



E) TRITURADORAS CÓNICAS.

Estas son en verdad, trituradoras giratorias con el cabezal y el tazón modificados mediante reducción en vez de triturado primario. El cabezal es acampanado a un diámetro relativamente mayor en el fondo de la cámara de triturado y el tazón se fabrica siguiendo los contornos del cabezal. Arriba hay una plancha alimentadora para ayudar a determinar el tamaño del material que admitirá la trituradora.

SELECCIÓN DE LA TRITURADORA

Cuando se vaya a seleccionar una trituradora primaria es muy importante prestar atención al tamaño del material que ha de alimentarse y la capacidad deseada.

7.9.3.10 PALA MECÁNICA

La pala mecánica durante su trabajo va formando su propio camino a medida que actúa, puesto que el piso de la excavación se convierte realmente en una cancha de trabajo para la máquina. Una de las más sobresalientes características de la pala es su capacidad para formar su propia vía observando límites precisos de inclinación (excavación de talud) y dándole la configuración deseada a los bordes del corte. Otras de las cualidades de esta máquina es la excavación de pendientes, carga de vehículos de transporte, arrojo de materiales, etc. (Fig. 7.25)

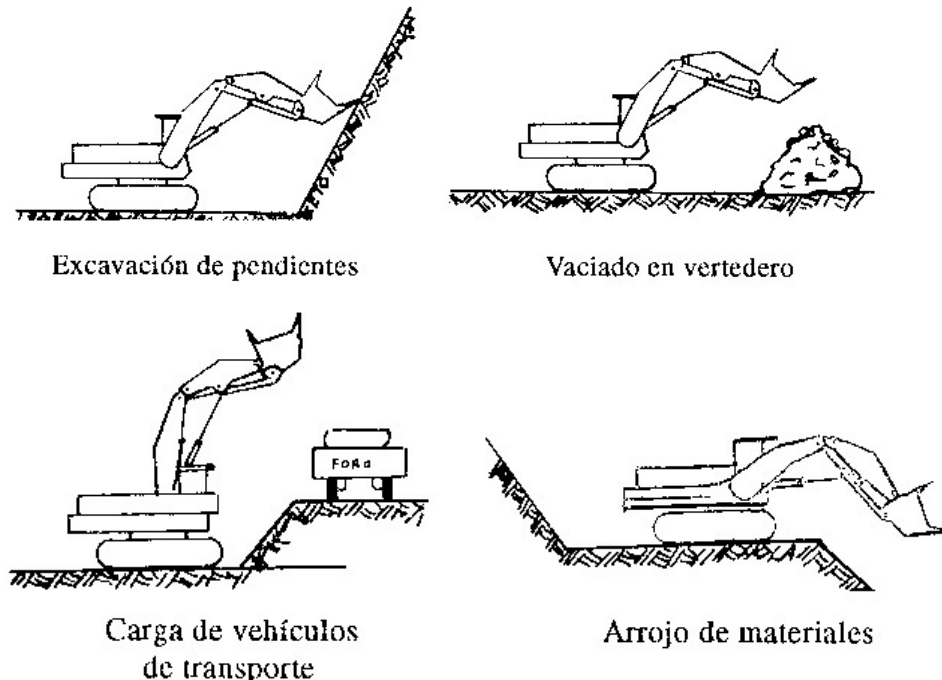
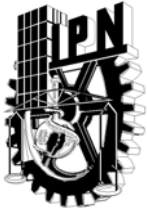


Fig. 7.25



7.9.3.11 ESCRAPAS O TRAÍLLAS

La escrepa es una máquina montada en cuatro ruedas, remolcada por un tractor de oruga, que excava, carga, acarrea, descarga y extiende el material en un solo viaje. Esta máquina efectúa nivelaciones más precisas que los tractores. (fig. 7.26)



Fig. 7.26



8.0 CANTIDADES DE OBRA.

8.1 IMPORTANCIA DE LAS CANTIDADES DE OBRA.

La construcción de una obra y en especial del tramo en estudio requiere en términos generales de una correcta planeación, ejecución, operación y mantenimiento; en lo que corresponde a la planeación parte esencial son las cantidades de obra, ya que de esto depende la correcta toma de decisiones, así como evaluar el costo aproximado de la obra y de esta forma cotejar y justificar el costo – beneficio de la inversión.

Una vez que ya se cuentan con los volúmenes de obra el siguiente paso es programar los trabajos a ejecutar detallando los costos y tiempos de cada una de las actividades a realizar, así como sus respectivos frentes o equipos de ataque.

La forma de justificar el pago puntual al contratista, es la entrega de estimaciones de manera periódica y continua, dichas estimaciones están formadas y soportadas y por una serie de generadores en los cuales se detallan los volúmenes de obra ejecutados durante un periodo determinado, dichos generadores, volúmenes y conceptos serán conciliados, autorizados y validados por la supervisión a cargo.

Cabe señalar que una parte importante que influye en el costo de una obra son los requisitos del diseño y especificaciones aplicables al proyecto que hace la S.C.T, y que para el desarrollo de temas se irán mencionando y aplicando conforme lo requiera el tema a desarrollar.

OBSERVACIONES PRELIMINARES

1.- en cualquier vialidad a construir se pueden presentar secciones en terraplén, secciones en corte o una combinación de ambas (corte y terraplén.) (Fig. 8.1 y 8.2)

SECCION EN CORTE

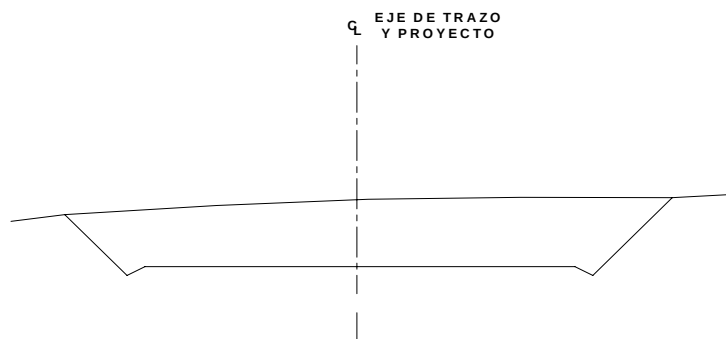


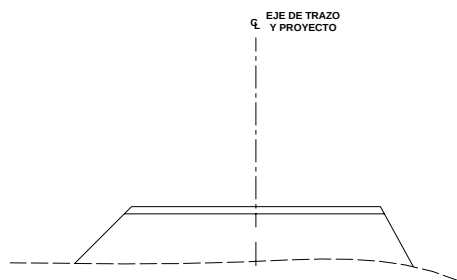
Fig. 8.1



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



SECCION EN TERRAPLEN



SECCION EN BALCON

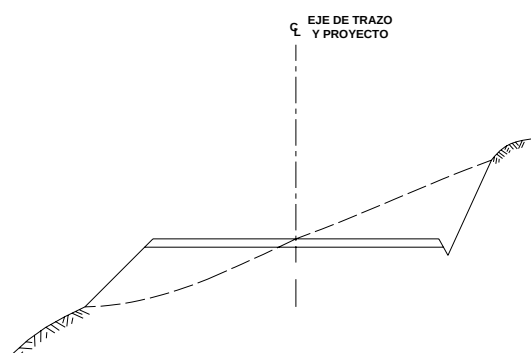


Fig. 8.2

2.- Para la determinación de volúmenes se hará necesario contar con los reportes tanto geotécnicos, topográficos, hidráulicos y de curva masa.

3.- La obtención de los de las áreas y posteriormente la de los volúmenes se pueden obtener por medio de métodos como en analítico, grafico o por planímetro.

4.- Los volúmenes aquí presentados ya fueron obtenidos ya por la SCT, por lo que corresponde al equipo únicamente corresponde analizar la procedencia de tales cantidades y su aplicación.

5.- Todos lo volúmenes obtenidos se irán plasmando el la hoja de resumen del Km. 183+000 al Km. 184+000

DESMONTE

“El desmonte es la remoción de la vegetación existente en el derecho vía, en las zonas de bancos, de canales y en áreas que se destinen a instalaciones o cualquier otra edificación, con el objeto de eliminar la presencia de materia vegetal, impedir daños y mejorar la visibilidad” ⁽¹⁾

La etapa del desmonte contempla los siguientes pasos o procedimientos:

- 1.- Tala, consiste en cortar los árboles o arbustos.
- 2.- Roza, consiste en cortar y retirar la maleza, hierba zacate o residuos de siembras.
- 3.- Desenraicé, que consiste en sacar troncos o tocones con o sin raíces.
- 4.- Limpia y disposición final, que consiste en retirar el producto de desmonte al banco de desperdicio.

Por lo regular esta actividad se pueda hacer a mano o con uso de maquinaria dependiendo del tipo de vegetación y del terreno, para el caso de particular de nuestro tramo lo adecuado por el tipo de terreno

(1) SCT, N.CTR.CAR.1.01.001/02, MÉXICO 2000, P.P. 1, SCT



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



sería la utilización de tractores neumáticos o de cadenas. Para fines de pago la unidad empleada para este concepto será la hectárea.

Nota: Para el caso de nuestro tramo la cantidad de esta actividad es cero, dado que se considera que la vialidad no requiere del desmonte, ya que la presencia de materia vegetal es escasa o nula.

DESPALME

“El despalme es la remoción del material superficial del terreno, con objeto de evitar la mezcla del material de las terracerías con materia orgánica u otro material no utilizable.” ⁽²⁾

El procedimiento para la ejecución del concepto será de la manera siguiente, y apegado a las recomendaciones generales del proyecto, tanto geotécnicas como constructivas:

El espesor del despalmé será el indicado en el proyecto, que en este caso contempla lo siguiente:

1. El despalme se hará hasta la profundidad indicada en las tablas de datos y de manera conveniente para eliminar el material correspondiente al primer estrato. (ver tabla del informe de estudios geotécnicos).
2. El producto del despalme se podrá emplear tanto para el recubrimiento de los taludes del terraplén, así como la reforestación de los mismos. Ver las siguientes recomendaciones.
3. Con el material producto de despalme, se deberán arropar los taludes de los terraplenes.
4. Se deberá propiciar la forestación de los taludes de los cortes y terraplenes, con vegetación para evitar la erosión de los mismos.

La unidad de pago para este concepto será por m³ tanto en despalmes en cortes como en despalmes en terraplenes.

La maquinaria a utilizar para la actividad de desmonte como de despalme podrá ser tanto el uso de tractores de cadena o de neumáticos.

A continuación presentaremos la cuantificación de los despalmes del Km. 183+000 al 190+000 en las siguientes tablas.

⁽²⁾ SCT, N.CTR.CAR.1.01.002/02, MÉXICO 2000, P.P. 1, SCT



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



CARRETERA	MÉXICO -TUXPAN
TRAMO	TULANCINGO - ENT. TIHUATLAN
ALTERNATIVA	
DE KM A KM	183+000 AL 187+000
HOJA	1 DE 2

REPORTE DE DESPALMES					
DESPALME EN CORTE			DESPALME EN TERRAPLÉN		
DE EST. A EST.		VOL (M ³)	DE EST. A EST.		VOL (M ³)
183+000	183+160	2188	183+140	183+320	3031
183+300	183+500	2092	183+460	183+620	1488
183+560	183+700	1305	183+680	183+880	2580
183+840	184+000	1897			
		7482			7099
184+000	184+240	2225	184+100	184+164	165
184+300	184+500	1499	184+220	184+320	1545
184+560	184+820	2179	184+460	184+600	1571
184+900	185+000	923	184+680	184+720	85
			184+780	184+920	1449
		6826			4815
185+000	185+100	1017	185+080	185+180	1273
185+140	185+280	1287	185+260	185+340	717
185+300	185+400	507	185+360	185+440	460
185+420	185+540	982	185+500	185+720	2410
185+620	186+000	3111	185+760	185+800	82
			185+860	185+900	50
		6904			5092
186+000	186+100	929	186+080	186+220	1145
186+160	186+280	1202	186+260	186+580	4317
186+560	186+800	3268	186+740	187+000	3449
		5399			8911



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



CARRETERA	MÉXICO -TUXPAN
TRAMO	TULANCINGO - ENT. TIHUATLAN
ALTERNATIVA	
DE KM A KM	187+000 AL 190+000
HOJA	2 DE 2

REPORTE DE DESPALMES					
DESPALME EN CORTE			DESPALME EN TERRAPLÉN		
DE EST. A EST.		VOL (M ³)	DE EST. A EST.		VOL (M ³)
187+000	187+220	2616	187+000	187+020	114
187+260	187+480	2345	187+200	187+300	867
187+640	187+980	3711	187+460	187+660	3136
			187+960	188+000	455
		8672			4572
188+160	188+320	1773	188+000	188+180	3248
188+380	188+580	2056	188+280	188+400	1278
188+660	189+000	4894	188+540	188+680	2224
		8723			6750
189+000	189+400	5402	189+060	189+100	52
189+860	190+000	1133	189+112	189+180	278
			189+340	189+900	11539
			189+920	190+000	402
		6535			12271



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



CORTES

Los cortes son las excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación de taludes, en rebajes en la corona de cortes o terraplenes existentes y en derrumbes, con objeto de preparar y formar la sección de obra, de acuerdo con lo indicado en el proyecto.

Para el caso en particular del tramo en estudio y de acuerdo con las observaciones generales del proyecto se nos indica que el material producto de los cortes correspondientes a los estratos 2 y 3 podrá ser aprovechado para la formación del cuerpo del terraplén con una compactación mínima del 90 % de su PVSM.

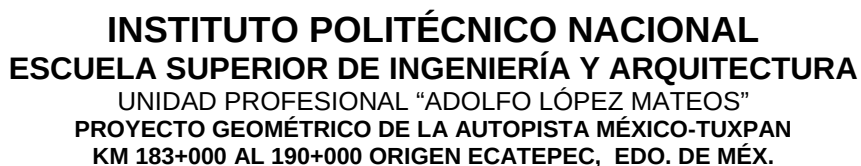
D.- material que por sus características, solo puede utilizarse en la formación del cuerpo del terraplén, mismo que deberá compactarse al 90% de su PVSM o bandearse según sea el caso.

A continuación se presenta la clasificación del material de acuerdo a la dificultad que tiene el mismo para ser removido y transportado.

TIPO DE MATERIAL	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MATERIALES
Material A	Ese material es blando y suelto, que puede ser excavado con pala de mano y cargado eficientemente con herramienta manual, sin ayuda de equipo mecánico; son suelos poco o nada cementados.
Material B	Este material es aquel que no puede ser excavado a mano, por sus características solo puede excavar y cargarse eficientemente con equipo mecánico. El material generalmente son rocas fragmentadas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas, tepetates y piedras sueltas con diámetro mayor de 7.5 cm y menores de 75 cm.
Material C	Es el que por su dificultad de extracción solo puede ser extraído mediante el empleo de explosivos, como lo son las rocas basálticas, areniscas, conglomerados fuertemente cementados, calizas, granitos y también es considerado como material tipo C a las piedras sueltas con una dimensión mayor de 75 cm.

La clasificación A, B, C también se puede observar el reporte geotécnico de la tabla No.1

En seguida presentamos la cuantificación de producto de los corte tanto en corte como en terraplén del Km.183+000 al Km.190+000.

[illegible]



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Los volúmenes que igualmente tenemos que contemplar son los de los cortes de caja, dichos cortes se generan cuando el nivel de la subrasante queda por abajo del nivel de terreno natural lo que provoca en consecuencia la apertura de la caja para el alojamiento de la capa subyacente, así mismo los cortes toman en cuenta diferentes volúmenes de los estratos para cada uno de los cadenamientos proporcionados por los estudios de geotecnia.

La construcción de obras para el alojamiento de obras de drenaje, para la construcción de canales destinados a conducir y desalojar el agua producto de lluvias o simplemente para el desvío de un cause, así como la obtención de material producto de un banco de préstamo, generan cortes de materiales, que para efectos de el costo de la obra tendrán que ser considerados si es que aplican tales trabajos.

Maquinaria

La selección de la maquinaria a emplear para estos trabajos estará en función de varios factores y que a continuación enumeraremos:

- 1.- El tipo de material que se va a excavar ya sea tipo A, B, C.
- 2.- Capacidad de carga del piso original.
- 3.- Capacidad de carga del material que se va a excavar.
- 4.- Volumen del material a excavar.
- 5.- tipo y tamaño del equipo que se empleara para transportar la maquinaria.
- 6.- Volumen de material que se va a romper por unidad de tiempo (rendimiento)
- 7.- Distancia de acarreo.
- 8.- Tipo de camino para el acarreo.

BANCOS

Definición.

Los bancos de materiales son las excavaciones a cielo abierto destinadas a extraer material para la formación de cuerpos de terraplenes, ampliaciones de las coronas, bermas o tendido de los taludes de terraplenes existentes, capas subyacentes o subrasante, así como la fabricación de mezclas asfálticas y de concretos hidráulicos.

Los bancos destinados a surtir de material al tramo para la formación de la capa subyacente y subrasante, son los llamados la Ceiba 1, Ceiba 2 y que a continuación describimos:

1.-Banco de préstamo denominado Ceiba 1 para formar capas subyacentes y subrasante a 900 m. Derecha de estación 175+675.00

2.- Indef. Grava-Arena de río con boleos chicos.
Comp. 1.03, 0.98, 0.93 (C.V.V)
Clasf. 40-60-00
Vol= 1,000, 000 m³ (volumen suficiente)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



2.-Banco de préstamo denominado Ceiba 2 para formar capas subyacente y subrasante a 1300 m. Derecha de estación 182+200.00

2.- Indef. Grava-Arena de río con boleos chicos.
Comp. 1.03, 0.98, 0.93 (C.V.V)
Clasf. 40-60-00
Vol= 1,000, 000 m³ (volumen suficiente)

Cabe señalar que para la explotación de bancos de materiales la SCT hace una serie de recomendaciones en su norma entre las que podemos destacar las siguientes:

"1.- las excavaciones en los bancos se ejecutaran en la forma mas regulas posible con el talud que garantice la estabilidad del frente, sin aflojar el material ni alterar las áreas fuera de la zona delimitada

2.- las excavaciones se ejecutaran de manera que se permita el drenaje natural del banco.

3.- Si por explotación inapropiada del banco, el contratista de obra provoca grietas significativas o afloja peligrosamente el material adyacente al frente de ataque, debe suspender la explotación, estabilizar la zona dañada y abrir otro frente por su cuenta y costo.

4.- Al termino de la explotación del banco se afinaran los fondos de las excavaciones, se tenderán y afinaran los taludes de manera que queden en uno coma cinco (1.5:1) o mas tendidos."³

La maquinaria empleada para ejecutar esta actividad esta en función del tipo de material a remover, para el caso particular de nuestro banco se puede apreciar que únicamente existe material tipo "A" y "B" , por lo que a continuación mostramos alguna de la maquinaria existente para tal trabajo

8.2 FORMACIONES DE ESTRUCTURAS Y COMPACTACIONES

COMPACTACIONES

La compactación se define como la reducción de los espacios vacíos existentes entre las partículas sólidas de un material, con el objeto de mejorar sus características de deformidad y resistencia, así como de dar una mayor durabilidad a la estructura formada por este material, esto en función del grado de compactación requerida.

En general los suelos deben compactarse por apisonamiento con el contenido de humedad óptimo, para alcanzar el porcentaje de densidad máxima establecida mediante un esfuerzo de compactación. Entre los beneficios y/o ventajas de este procedimiento podemos mencionar los siguientes:

- 1.- incremento de resistencia a los cortes o estabilidad del suelo.
- 2.-la disminución de su permeabilidad.
- 3.- La minimización del asentamiento a futuro del terraplén en si mismo.

(3) SCT, N.CTR.CAR.1.01.008/02, MEXICO 2000, PP. 4 - 5



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



La especificación mas común utilizada para carreteras, es la de 95 % de densidad máxima seca que se obtiene en la prueba AASHTO.

La compactación de los terraplenes, capa subyacente, subrasante se hará mediante el amontonamiento (acamellonamiento) y tendido a lo largo y ancho del camino y posteriormente se compactara teniendo los siguientes tipos de compactación, como lo son el 90%, 95% y 100% proctor estándar respectivamente.

Se realizan tres tipos de formación y compactación, contemplados en las cantidades de obra y que a continuación mencionamos:

- 1.- Formación y compactación de terraplenes con o sin cuña de afinamiento (bandeado).
- 2.- Formación y compactación de la capa superior de los terraplenes, construida sobre material no compactable.
- 3.- Formación y compactación del relleno para formar la capa subrasante.

DEFINICIONES GENERALES DE COMPACTACIÓN

A) Control de la compactación:

En campo la compactación se controla verificando la densidad y la humedad del suelo que esta sujeto a dicha compactación. La densidad media es el peso volumétrico seco y se calcula sobre la base de esta cantidad y la humedad media, después de esto se compara el peso volumétrico seco con lo curva de compactación para el suelo con el peso de compactación que interviene, esto es para ver si la densidad que se ha obtenido en el campo satisface los requerimientos establecidos en el laboratorio.

Los métodos mas utilizados por diferentes instituciones para la determinación de la densidad están:

1. El método de la arena
2. El método del globo.
3. El método de aceite pesado.

B) Compactación del terreno natural:

Es la compactación que se le da al terreno natural sobre el que se desplantara el terraplén para proporcionar el peso volumétrico requerido.

Para el caso de nuestro proyecto la indicación para dicho procedimiento es la siguiente.

B.- en todos los casos cuando no se indique otra cosa, el terreno natural, después de haberse efectuado el despalme correspondiente al piso descubierto deberá compactarse al 90 % de su PVSM en una profundidad mínima de 0.20 m; o bandearse según sea el caso.

Aun cuando lo procedimientos de formación que posterior mente se mencionan no aplican para nuestro proyecto por el tipo de material diferente al empleado durante el proceso, se mencionaran para fines didácticos, además de soportarlos por las observaciones hechas por la SCT.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



C) Bandedado:

Es el tratamiento que se da por medios mecánicos aplicados al equipo pesado de construcción: existen materiales que por las dimensiones de los fragmentos no se consideran óptimos para una compactación normal, y que los resultados de estos procesos realizados en campo no pueden ser controlados con la prueba de laboratorio.

D) CCC (Compactación de la cama de los cortes)

Es el tratamiento que se realiza e los corte formados por materiales tipo I, la cama del corte se deberá compactar al 95% de su PVSM en una profundidad mínima de 0.20 m y se deberá proyectar a capa subrasante de 0.30 m de espesor compactándola al 100% con material procedente de banco.

E) Exasteco:

El tratamiento dado a los materiales tipo K y M

Se realiza en cortes con material tipo k, se deberán escarificar los 0.15 m superiores y acamellonar, la superficie descubierta se deberá compactar al 100% de su PVSM en un espesor mínimo de 0.15 m con lo que quedara formada la primera capa de la subrasante, con el material acamellonado se construirá la segunda capa subrasante, misma que deberá compactarse también al 100%

Se realiza en cortes de material tipo M, para este caso se escarifican los primeros 0.30 m a partir del nivel superior de subrasante, se acamellona el material del escarificado y se compactara la superficie descubierta al 95% hasta una profundidad de 0.20 m; posteriormente con el material acamellonado se forma la capa subrasante de 0.30 m de espesor.

Equipos de compactación:

Los principales factores que intervienen en la selección del equipo de compactación que se utiliza para un proyecto dado, comprenden las especificaciones bajo la cuales debe realizarse el trabajo y las alternativas del equipo disponible por el contratista.

Entre los factores mas pertinentes que deben considerarse se encuentran:

- El espesor de las capas.
- Los pesos totales y presiones unitarias sobre el suelo
- Numero necesario de pasadas.
- Velocidades de operación.
- Tipo de suelo y contenido de humedad entre otros.



8.3 ACARREOS

DEFINICIÓN.

Los acarreos son el transporte del material producto de bancos, cortes, excavaciones, desmontes, despalmes y derrumbes, desde el lugar de extracción hasta el sitio de su utilización, deposito o banco de desperdicios, según lo indique el proyecto.

Prestamos

Existe préstamo cuando el material de corte no es suficiente o no es adecuado para el relleno y la terminación de la subrasante, lo cual hace necesario traer material de un banco.

Para el caso de nuestra vialidad se hace indispensable los prestamos de materiales para la formación de las capas subyacente y subrasante y que a continuación presentamos con mayor detalle.

Acarreo libre.

El que se efectúa desde el sitio de extracción del material hasta una distancia de veinte metros o hasta la distancia que establezca el proyecto como acarreo libre. Este acarreo se considera como parte del concepto correspondiente a la extracción del material transportado, por lo que no será objeto de medición y pago por separado.

Sobreacarreos.

El sobre acarreo es el que se efectúa a partir del acarreo libre (20m) y cuyo precio varia según la longitud acarreada.

Distancia media de acarreo.

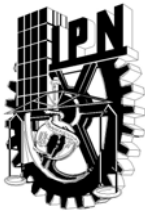
Es la distancia que se hace necesaria para transportar, mas allá de la distancia de acarreo libre el material producto de corte o préstamo para la formación de terraplenes.

La distancia media de acarreo entre un corte y el terraplén a formar, es la distancia entre los centros de gravedad de dicho corte y el terraplén sin considerar la distancia de acarreo libre.

Esta distancia es obtenida al dividir el área de la curva de masas delimitada por la línea compensadora la del acarreo libre entre la diferencia de ordenadas "h" (volumen) restando los 20m de acarreo libre.

Debido a su longitud y también para efectos de pago de los mismos, los sobreacarreos se dividen en:

- Sobreacarreos en m-est. Comprende hasta cinco estaciones de 20m es decir, hasta 100m contados a partir del término del acarreo libre. Unidad: m-est.
- Sobreacarreos en m- hectómetros. Hasta 5 hectómetros (500m) contados a partir del término de acarreo libre. Unidad: m-hm.
- Sobreacarreos en m-5 hectometro. A mas de cinco hectómetros, hasta 20 hectómetros de (500m a 2000m), contados a partir del termino del acarreo libre. Unidad m-5 hm y m-hm ad. (adicional) o subsecuente.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



El acarreo a cualquier distancia, para los materiales de préstamo de banco se considera como sigue:

- Para primer kilómetro.
- Para los kilómetros subsecuentes.

El cálculo de los sobreacarreos se limita a multiplicar el volumen de material por la distancia media del acarreo.

A continuación presentaremos los acarreos de materiales aplicables al tramo en estudio.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES				CAMINO	MEXICO-TUXPAN	HOJA 1 DE 1			
DEPARTAMENTO DE PROYECTO DEFINITIVO				SUBTRAMO	XICOTEPEC -ENT. TIHUATLAN				
OFICINA DE PROYECTO DE TERRACERIAS				DE EST	183+000	A ESTA.	187+000		
PRESTAMOS DE BANCO									
CLASIFICACIONES Y SOBREACARREOS									
I A	PRESTAMO DEL BANCO		LA CEIBA		I B	PRESTAMO DEL BANCO		LA CEIBA	
	a 13000 m. Der		de Est.	182+200		a 13000 m. Der		de Est.	182+200
	DE KM	183+000	A KM	184+000		DE KM	184+000	A KM	185+000
	a 13000 m. Der		40-60-00			CLASIFICACION		40-60-00	
	GEOMETRICO EN EL TERRAPLEN =		11077 m³			GEOMETRICO EN EL TERRAPLEN =		10899 m³	
	COMPACTADO A 100% =		4136	4447 m³		COMPACTADO A 100% =		4110	4419 m³
			0.93					0.93	
	COMPACTADO A 95% =		6941	7083 m³		COMPACTADO A 95% =		6789	6928 m³
			0.98					0.98	
	COMPACTADO A 90% =			m³		COMPACTADO A 90% =			m³
GEOMETRICO EN EL PRESTAMO =		11530 m³		GEOMETRICO EN EL PRESTAMO =		11347 m³			
DIST. MEDIA =		15800	m	DIST. MEDIA =		15800	m		
S.A.		11530	m³ al 1er km	S.A.		11347	m³ al 1er km		
11530 m³ X		15 km =	172950 m³ km subs	11347 m³ X		15 km =	170205 m³ km subs		
A = 4612 m³ B = 6918 m³		C = m³		A = 4539 m³ B = 6808 m³		C = m³			
Ic	PRESTAMO DEL BANCO		LA CEIBA		Ib	PRESTAMO DEL BANCO		LA CEIBA	
	a 13000 m. Der		de Est.	182+200		a 13000 m. Der		de Est.	182+200
	DE KM	185+000	A KM	186+000		DE KM	186+000	A KM	187+000
	CLASIFICACION		40-60-00			CLASIFICACION		40-60-00	
	GEOMETRICO EN EL TERRAPLEN =		10920 m³			GEOMETRICO EN EL TERRAPLEN =		11298 m³	
	COMPACTADO A 100% =		4111	4420 m³		COMPACTADO A 100% =		4162	4475 m³
			0.93					0.93	
	COMPACTADO A 95% =		6809	6948 m³		COMPACTADO A 95% =		7136	7282 m³
			0.98					0.98	
	COMPACTADO A 90% =			m³		COMPACTADO A 90% =			m³
GEOMETRICO EN EL PRESTAMO =		11368 m³		GEOMETRICO EN EL PRESTAMO =		11757 m³			
DIST. MEDIA =		15800	m	DIST. MEDIA =		15800	m		
S.A.		11368	m³ al 1er km	S.A.		11757	m³ al 1er km		
11368 m³ X		15 km =	17520 m³ km subs	11757 m³ X		15 km =	17635.5 m³ km subs		
A = 4547m³ B = 6821 m³		C = m³		A = 4703 m³ B = 7054 m³		C = m³			
CLASIFICACION		MATERIAL "A"		MATERIAL "B"		MATERIAL "C"	TOTAL		
		18401		27601			46002		
		m³ al 1er. Km		m³ km Subs		DESPALME TOTAL EN BANCO			
TOTAL DE SOBREACARREOS		46002		690030					



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



S. C. T.						
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES			CARRETERA MEXICO-TUXPAN			
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS			TRAMO XICOTEPEC - ENT TIHUATLAN			
OFICINA DE PROYECTO DEFINITIVO			DE KM 183+000 A KM 184+000			
MOVIMIENTO No	VOLUMEN GEOMETRICO m *	DISTANCIA DE SOBREACARREO m	DISTANCIA DE PAGO		VOLUMEN-DISTANCIA	
			CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
54	1291	31	1.6	EST	2066	m3 EST
1	2223	29	1.5	EST	3335	m3 EST
2	24646	114	1	HM	24646	m3 1.0 HM
			0.1	HM	2465	m3 HM +1
3	12414	82	4.1	EST	50897	m3 EST
4	3457	37	1.9	EST	6568	m3 EST
5	6346	62	3.1	EST	19673	m3 EST
6	4445	42	2.1	EST	9335	m3 EST
7	18767	126	1	HM	18767	m3 1.0 HM
			0.3	HM	5630	m3 HM +1
8a	2067	170	1	HM	16192	m3 1.0 HM
			0.7	HM	11334	m3 HM +1
l a	11530	15800	1	KM	11530	m3 1.0 KM
				KM	172950	m3 KM +1
	m3 EST	m3 1.0 HM	m3 HM +1	m3 1.0 KM	m3 KM +1	
	91874	59605	19429	11530	172950	

* Medido en el corte o en el banco de prestamo

Hoja 1/1



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
VOLUMENES DE CONSTRUCCION

CAMINO : MEXICO TUXPAN						PROYECTISTA NIÑIVE S.A.							
TRAMO : TULANCINGO - ENT TIHUATLAN						ARCHIVO CM5881FU GL							
ALTERNATIVA : XICOTEPARC -ENT. TIHUATLAN						FECHA 06- 29- 1994							
ORIGEN: ENT. ECATEPEC EDO. MEX.						HOJA 1/2							
ESTACION	DESP	DESP	CORTE	ESTRATO	CORTE	C.T.N	C.C.C		CUERPO	SBY	SBR	RELLENO	CAJA
	CORTE	TERR	2	3	CAJA		95%	100%	TERR	TERR	TERR	95%	100%
183620	218	27	1738	0	10	8	0	0	22	26	14	108	68
183628.5	124	0	1422	0	0	0	0	0	0	0	0	54	35
183640	180	0	2253	0	0	0	0	0	0	0	0	73	47
183660	301	0	3474	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183680	241	0	1907	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183700	99	93	451	0	0	37	0	0	345	76	42	64	41
183720	0	250	0	0	0	100	0	0	1839	153	84	0	0
183740	0	347	0	0	0	139	0	0	3913	153	85	0	0
183744	0	81	0	0	0	32	0	0	1079	31	17	0	0
183745.5	0	32	0	0	0	13	0	0	433	11	6	0	0
183760	0	273	0	0	0	109	0	0	3243	111	61	0	0
183780	0	334	0	0	0	134	0	0	3119	153	85	0	0
183800	0	318	0	0	0	127	0	0	2870	153	85	0	0
183820	0	297	0	0	0	119	0	0	2761	153	85	0	0
183840	0	269	0	0	0	107	0	0	2176	153	85	0	0
183860	6	204	0	0	4	79	0	0	1010	146	84	0	0
183880	116	82	634	0	4	30	0	0	164	70	41	64	41
183900	225	0	2494	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183914.11	244	0	3471	0	0	0	0	0	0	0	0	90	57
183916.5	44	0	661	0	0	0	0	0	0	0	0	15	10
183920	60	0	896	0	0	0	0	0	0	0	0	22	14
183923.5	64	0	977	0	0	0	0	0	0	0	0	22	14
183940	299	0	4520	0	0	0	0	0	0	0	0	105	67
183960	331	0	4270	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183980	264	0	2317	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
184000	214	0	186	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81

SUMAS DEL KILOMETRO 183+000 AL KILOMETRO 184+000

7482	7099	79169	0	77	2816	0	0	69986	3437	1912	3504	2224
MATERIAL "A"	47501	MATERIAL "B"	31668	MATERIAL "C"	0							



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES
VOLUMENES DE CONSTRUCCION

CAMINO : MEXICO TUXPAN						PROYECTISTA NIÑIV S.A.							
TRAMO : TULANCINGO - ENT TUHUATLAN						ARCHIVO CM5881F GL							
ALTERNATIVA : XICOTEPEC - ENT. TIHUATLAN						FECHA 06- 29- 1994							
ORIGEN : ENT. ECATEPEC EDO. MEX.						HOJA 1/1							
ESTACION	DESP	DESP	CORTE	ESTRATO	CORTE	C.T.N	C.C.C		CUERPO	SBY	SBR	RELLENO	CAJA
	CORTE	TERR	2	3	CAJA		95%	100%	TERR	TERR	TERR	95%	100%
183000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
183020	253	0	1811	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183040	313	0	3418	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183060	358	0	5534	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183609.5	183	0	3380	0	0	0	0	0	0	0	0	61	39
183080	203	0	3834	0	0	0	0	0	0	0	0	67	43
183100	340	0	5879	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183120	265	0	3372	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183140	193	0	1264	0	5	1	0	0	1	3	3	124	78
183160	80	123	220	0	5	50	0	0	647	80	45	61	38
183180	0	305	0	0	0	122	0	0	2694	153	85	0	0
183200	0	395	0	0	0	158	0	0	5110	153	85	0	0
183206	0	126	0	0	0	50	0	0	1809	46	25	0	0
183207	0	21	0	0	0	8	0	0	302	8	4	0	0
183208.5	0	32	0	0	0	13	0	0	461	11	6	0	0
183209	0	11	0	0	0	4	0	0	153	4	2	0	0
183220	0	235	0	0	0	94	0	0	3375	84	47	0	0
183240	0	432	0	0	0	173	0	0	5990	153	85	0	0
183260	0	423	0	0	0	169	0	0	5599	153	85	0	0
183280	0	407	0	0	0	163	0	0	5157	153	85	0	0
183292	0	230	0	0	0	92	0	0	2699	92	51	0	0
183300	0	136	0	0	0	54	0	0	1364	61	34	0	0
183320	92	155	356	0	0	62	0	0	1357	76	42	64	41
183337	196	0	1529	0	0	0	0	0	0	0	0	108	69
183340	42	0	446	0	0	0	0	0	0	0	0	19	12
183360	274	0	2837	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183380	272	0	2842	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183388	112	0	1218	0	0	0	0	0	0	0	0	51	32
183400	161	0	1588	0	0	0	0	0	0	0	0	77	49
183420	251	0	2037	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183440	240	0	1794	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183460	227	0	1740	0	0	0	0	0	0	0	0	128	81
183480	167	30	984	0	13	8	0	0	18	30	16	103	66
183500	58	174	137	0	13	66	0	0	994	107	59	40	25
183520	0	322	0	0	0	129	0	0	2763	153	85	0	0
183540	0	340	0	0	0	136	0	0	3171	153	85	0	0
183560	0	326	0	0	0	114	0	0	2123	153	84	0	0
183580	32	206	43	0	7	79	0	0	971	136	77	10	7
183600	110	106	335	0	16	37	0	0	254	86	48	54	35



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



S C T						CARRETERA:		MEXICO - TUXPAN		
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES						SUBTRAMO: XICOTEPEC		-ENTR TIHUATLAN		
DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS						DE EST. 183+000		A EST. 184+000		
DEPARTAMENTO DE PROYECTO DEFINITIVO						ORIGEN: ENTR ECATEPEC EDO DE MEX				
CANTIDADES DE OBRA	TERRACERIAS	EXCAVACIONES	DESPALME			EN CORTE		7482	m3	
						EN AREAS DE TERRRAPLEN		7099	m3	
			CORTES Y EXCAVACIONES ADICIONALES			VOL. APROVECHADO		76946	m3	
						VOL. DESPERDICIADO		2223	m3	
			CAJAS PARA DESPALME DE TERRAPLENES			VOL. APROVECHADO		77	m3	
						VOL. DESPERDICIADO			m3	
			REBAJES CORONA DE CORTE Y/O TERRAPLEN			VOL. APROVECHADO			m3	
						VOL. DESPERDICIADO			m3	
			ESCAONES DE LIGA			VOL. APROVECHADO			m3	
						VOL. DESPERDICIADO			m3	
			MATERIAL A			47548	m3			
			MATERIAL B			31698	m3			
			MATERIAL C				m3	TOTAL	79246	m3



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



8.4 OBSERVACIONES GENERALES

1. Los trabajos se iniciaran con el desmonte, desenraíce y limpieza general del área en donde quedara alojado el cuerpo del camino, de acuerdo a lo indicado en el proyecto.
- 2.-El despalme se hará hasta una profundidad indicada en las tablas de datos y de la manera conveniente para eliminar el material el material correspondiente al primer estrato.
3. Los terraplenes desplantados en un terreno con pendiente natural igual o mayor al 25 % se anclaran al terreno natural mediante escalones de liga a partir de los ceros del mismo; cada escalos tendrá un ancho mínimo de huella de 2.5 m, en material tipo "A" o "B" y en material "C" el escalón tendrá un metro de huella; En ambos casos la separación de dichos escalones será de 2.0 m medida horizontalmente.
4. En los taludes de los cortes, no se dejaran fragmentos rocosos o porciones considerables de material susceptibles de desplazarse hacia el camino.
5. Con el material producto de despalme, se deberán arropar los taludes de los terraplenes.
6. La construcción de obras de drenaje se harán antes de iniciar la construcción de terracerías concluidas tales obras, deberán arroparse adecuadamente para evitar cualquier daño a la estructura de las mismas durante la construcción.
7. Se deberá propiciar la forestación de los taludes de los cortes y terraplenes, con vegetación para evitar la erosión de los mismos.
8. En todo el tramo las cunetas deberán impermeabilizarse con concreto hidráulico f'c 100 kg/cm, con un espesor 8 cm aproximadamente.
9. Debe evitarse la boquilla de aguas debajo de las alcantarillas, descargue sus aguas sobre el talud del terraplén construido; en los casos de obra de drenaje se prolongara con lavadero hasta los ceros del terraplén.
10. Cualquier ampliación de corte por requerimiento de material, debe hacerse a partir del talud externo de la cuneta, o bien formando una banquetta, la cual quedará debidamente drenada y de preferencia aguas abajo.
11. los taludes de proyecto que deberán considerarse para terraplén son los siguientes:

ALTURAS	INCLINACIÓN
Entre 0.00 y 0.80 m	3:1
Entre 0.80 y 2.00 m	2:1
Mayores de 2.00 m	1.5: 1

12. El material que forma la capa sub-rasante, no deberá contener partículas mayores de 75 mm (3"). Cuando estas existan deberán eliminarse mediante papeo.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



13. Al material grueso no compactable, se le dará un tratamiento de bandeo para aumentar su acomodo; este material solo servirá para formar el cuerpo del terraplén, construyéndose por capas sensiblemente horizontales, con espesor aproximadamente igual a los fragmentos y se dará como mínimo tres pasadas a casa punto de su superficie con un tractor D-8.

8.5 OBSERVACIONES GEOTECNICAS.

A.- En todos los casos el cuerpo de terraplén, se compactaran al 90% o se bandeara según sea el caso; las capas de transición y subrasante se compactaran al 95 y 100% respectivamente; los grados de compactación son con respecto a la prueba proctor o porter dependiendo de la granulometría del material, por lo que quedara a juicio del laboratorio de control aplicar la prueba.

B.- En todos los casos, cuando no se indique otra cosa, el terreno natural, después de haberse efectuado el despalle correspondiente, el piso descubierto deberá compactarse al 90 % de su PVSM en una profundidad mínima de 0.20m; o bandearse según sea el caso.

D.- material que por sus características, solo puede utilizarse en la formación del cuerpo de terraplén, mismo que deberá compactarse al 90% de su PVSM o bandearse según sea el caso.

J.- En este tramo deberá proyectar en cortes y terraplenes bajos capa de transición de 0.50 m. de espesor como mínimo y capa subrasante de 0.30m; en caso de ser necesario de deberá abrir cajas de profundidad suficiente para alojar las capas citadas; ambas capas se proyectaran con préstamo del banco mas cercano.

8.6 FUNDAMENTOS PARA LA INTEGRACIÓN DE UN PRECIO UNITARIO.

COSTO DIRECTO DE LA OBRA.

DESCRIPCIÓN.- "Son los cargos aplicables al concepto de trabajo que se deriva de las erogaciones por mano de obra, materiales, maquinaria, herramienta, instalaciones y por patentes en su caso, efectuadas exclusivamente para realizar dicho concepto de trabajo".⁴

COSTOS INDIRECTOS.

DESCRIPCIÓN.- Son los gastos de carácter general no incluidos en los cargos en que deben incurrir el contratista para la ejecución de los trabajos y que se distribuyen en proporción a ellos para integrar el precio unitario, calculado conforme al desglose de los costos indirectos.

CARGO POR FINANCIAMIENTO.

DESCRIPCIÓN.- Son las erogaciones que realiza el contratista debido a las necesidades económicas del trabajo. Este cargo se determinara en base a un flujo de efectivo en el que intervengan el pago y amortización de los anticipos y estará representado por un porcentaje sobre el total de los costos directos mas los indirectos, calculado conforme al análisis de los costos de financiamiento.

(4) VARIOS, SEMINARIO DE TITULACION "PROYECTO DE CAMINOS GUADALAJARA-TEPIC, 2003, PAG 248,IPN.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



CARGO POR UTILIDAD.

DESCRIPCIÓN. Es la ganancia que debe percibir el contratista por la ejecución del concepto del trabajo, conforme a la determinación del cargo por utilidad.

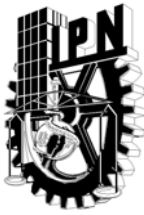
CARGO POR UTILIDAD NETA.

DESCRIPCIÓN.-

- A) El desglose de las aportaciones que eroga el contratista por concepto del sistema de ahorro para retiro (SAR).
- B) El desglose de las aportaciones que eroga el contratista por concepto del instituto del fondo nacional para la vivienda de los trabajadores (INFONAVIT).
- C) El pago que efectúa el contratista por el servicio de vigilancia, inspección y control que realiza la Secretaría de la Contraloría y Desarrollo Administrativo (SECODAM).

PRECIO UNITARIO.

DESCRIPCIÓN.- Es la remuneración que se cubre al contratista por unidad de obra determinada que depende del costo directo, costo indirecto y la utilidad en cada concepto.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



9.0 PLANOS DEFINITIVOS

El grupo de Planos Definitivos, se elabora según modelos empleados en los departamentos estatales de carreteras, Las dimensiones de los planos para la Planta, Perfil y Secciones, se presentan en tramos de longitud de **1 Km**. En papel alba nene (con el fin de que sean reproducibles). Planos que por su tamaño se denominan doble carta. Ver Fig. "K" (Sección = 87.50 * 56.00 cm.) y Fig. "L" (Sección = Largo variable * 26.00 cm.).

PLANO DOBLE CARTA

COTAS EN CM

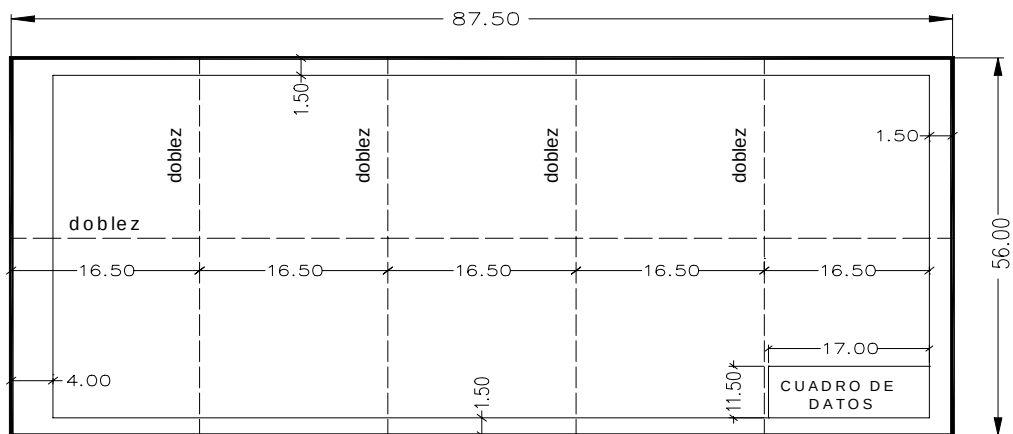


FIG. " K "

PLANO TAMANO CARTA

COTAS EN CM

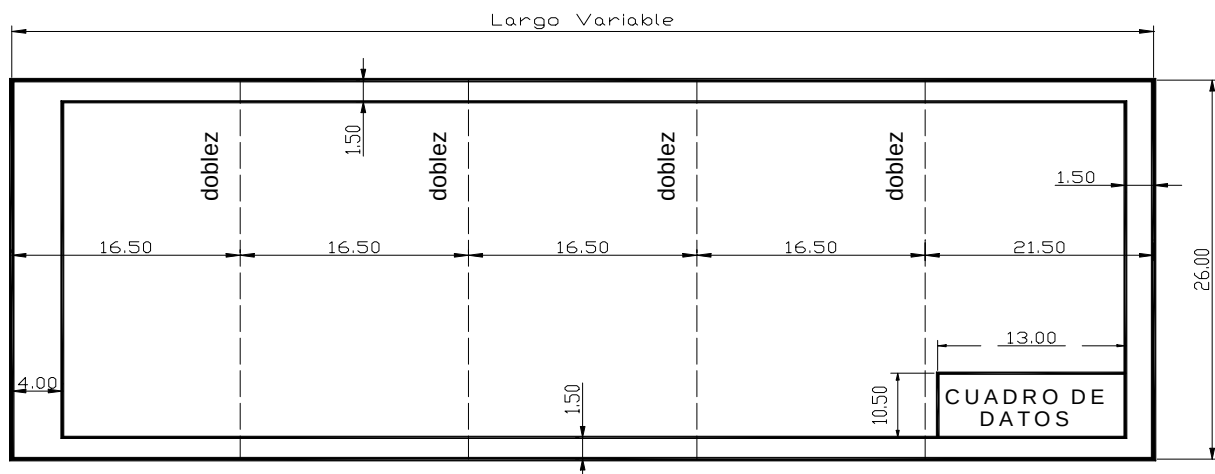


FIG. " L "



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Para el análisis de Planos Definitivos del Proyecto Geométrico de la carretera "México Tuxpan", se tomará el plano del Kilometraje 183 al 185, Ubicado en el Municipio de Tlacuilotepec, Puebla.

9.1 DATOS DE PROYECTO

Los Datos de Proyecto, son el primer dato de partida que se tiene; en el cual veremos los principales factores que determinan si es costeable construir el camino, dichos factores son:

- Índice de Servicio
- Índice de Productividad
- Índice de Rentabilidad

Además se tratan los elementos básicos para el proyecto, los cuales son; Los Volúmenes de Transito, La Composición Vehicular, La Velocidad de Proyecto y La Capacidad o Nivel de Servicio, así como también los métodos y procedimientos para la obtención de dichos datos.

DATOS DE PROYECTO

TRANSITO (DPA)	3500 Vehs	AÑO 1993 A=66%	B= 7% C= 27%
CARRETERA TIPO	A4S	VELOC. DE PROYECTO	110 KPH
CURVATURA MÁXIMA	0° 20'	PENDIENTE GOB.	4.0 %
ANCHO DE CORONA	12.00	ANCHO DE CALZADA	7.00
ESPESOR DE PAVIMENTO	0.40	PEND. MAX.	2.2

9.2 PLANTA FOTOGRAMETRICA

En la figura 9.4 se muestra la Planta Fotogramétrica, que se realizo en el proyecto geométrico de la autopista "México-Tuxpan", en el Kilometraje 183+000 al 184+000.

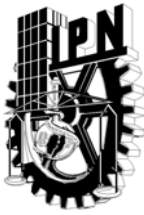
Dentro de esta planta tenemos la traza definitiva del camino (Línea roja), con sus kilometrajes (Rectángulos sobre el eje), localización de curvas horizontales (Puntos y líneas en color verde) y bancos de nivel (Rectángulo superior).

Para llegar ala configuración de la planta como se muestra, se tuvieron que realizar estudios de gabinete y campo (estudios topográficos preeliminares y estudios topográficos definitivos).

9.3 POLIGONAL DE REFERENCIA Y REFERENCIA DEL TRAZO

Son también conocidos como puntos de control, este trabajo se realiza cuando se tiene ya elegido el trazo definitivo. Y en los cuales veremos desde la importancia de su ubicación, hasta la realización del trazo en campo.

La Tabla mostrada fue obtenida del proyecto geométrico de la autopista "México-Tuxpan", en el Kilometraje 184+000 al 185+000.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



REFERENCIAS DE TRAZO

PTO. REFERENCIADO (P)		ÁNGULOS (θ) A LA DERECHA DESDE PROLONGACIÓN TANGENTE ATRÁS Y DISTANCIAS (D) DE P a R							
IDENT.	KM.	θ	DR1	DR2	EN	θ	DR3	DR4	EN
PST	184 + 070.00	45° 00'	30	58	MOJONERA	152° 23'	50	58.88	ROCA
PST	184 + 457.39	113° 18'	35	43.82	COCUITE	244° 50'	35	45	COCUITE
PST	184 + 847.21	240° 00'	40	50	MOJONERA	335° 08'	50	66.8	CHALAGUITE
PST	185 + 054.00	121° 34'	35	45.07	COCUITE	252° 55'	35	40.1	CAPULIN

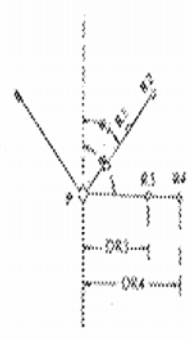


FIG 9.2.- DE PLANO

9.4 GEOMETRÍA DE ALINEAMIENTO HORIZONTAL

El Alineamiento Horizontal, esta basado principalmente al cálculo y trazado de Curvas Horizontales, las cuales pueden ser: Curvas Circulares Simples o Curvas Circulares con Espiral de Transición.

La tabla que se muestra en la figura son los PST que se muestran en la figura 9.3, correspondientes a Curvas Circulares Simples. En caso de que en el tramo existieran curvas con Espiral, los datos de dichas curvas se anotarían en el rectángulo azul.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



GEOMETRÍA DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL

CURVA	O TE		EC PI		O PST		CE PT		O ET	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
					PST = 184 + 070.00					
					619,430.21	2,262,241.89				
					PST = 184 + 213.30					
					619,557.39	2,262,309.92				
					PST = 184 + 457.39					
					619,774.03	2,262,420.39				
					PI = 184 + 847.21					
					620,120.00	2,262,600.00				
					PST = 184 + 939.80					
					620,202.65	2,262,641.74				
					PST = 185 + 054.00					
					620,304.59	2,262,693.22				

FIG. 9.3-DE PLANO

9.5 PERFIL TOPOGRAFICO

La línea obscura muestra el Perfil Topográfico que se obtuvo en el proyecto geométrico de la autopista "México-Tuxpan", en el Kilometraje 183+000 al 184+000, así mismo en las líneas azules se indica las escalas (Vertical y Horizontal) de dicho Perfil (Fig. 9.7)

9.6 INFORMACION GEOTECNICA Y CLASIFICACIÓN PRESUPUESTAL

Estos datos de geotecnia son información que se transcribe en los Planos Definitivos

En la Fig. 9.5, se muestran los resultados finales del estudio de mecánica de suelos del proyecto geométrico de la autopista "México-Tuxpan", en el Kilometraje 183+000 al 184+000, las cuales principalmente nos indican:

- La línea verde nos muestra el primer estrato del suelo en estudio, así como su calidad y clasificación (100-00-00)
- En la línea roja podemos observar el segundo estrato del suelo, con el tipo de consistencia (Arcilla CH), su composición (0.95, 0.90, 0.85), la clasificación (60-40-00), las observaciones que se tienen del suelo (A,B,D,J) y el tipo de talud (Td 1:1).

INFORMACIÓN GEOTECNICA

INFORMACIÓN GEOTECNICA	1.- 0.50M SUELO VVEGETAL DESPALME C.P. 100-00-00
Y CLASIF. PRESUPUESTAL	2.- INDEF. ARCILLA, PLASTICA, DE CONSISTENCIA MEDIA HUMEDA CAFÉ, ROJIZO (CH) COMPACTADA C.V.V 0.95, 0.90, 0.85 C.P. 60-40-00 A,B,D,J TALUD 1 X 1

FIG. 9.5 DE PLANO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



9.7 OBRAS DE DRENAJE

En los planos definitivos se muestra la ubicación y tipo de Obra de Drenaje que se requiere, como se muestra en el corte de la fila de "Drenaje", del proyecto geométrico de la autopista "México-Tuxpan", en el Kilometraje 183+000 al 184+000, la cual observamos en el primer rectángulo: la sección y Kilometraje de la obra de drenaje que se necesita (Bov = 3.00 x 2.50 m). y así sucesivamente iremos encontrando en los siguientes rectángulos las diferentes Obras de Drenaje que se requieren (Fig. 9.6)

OBRAS DE DRENAJE

OBRAS DE DRENAJE	184 +273.00 T. DE CONCRETO 0.90 M. DE DIAMETRO 184 + 540.00 BOVEDA 4.00 * 4.00 184 + 868.00 TUBO DE CONCRETO 0.90 M. DE DIAMETRO
------------------	--

FIG. 9.6 DE PLANO

9.8 SUBRASANTE

La línea recta que se muestra en la Fig. 9.7, es la Subrasante Económica que se obtuvo en el proyecto geométrico de la autopista "México-Tuxpan", en el Kilometraje 183+000 al 184+000.

En ella también se encuentran los elementos de las Curvas Verticales (PCV; PIV; PTV) así como los Kilometrajes y las elevaciones de dichos elementos.

Otro punto mostrado es la pendiente que trae nuestra línea, expresada en porcentaje y la longitud que se da en el tramo (ejem: -2.20% en 286.46 m.)

9.9 SOBREELEVACIONES Y AMPLIACIONES PARA ENTRONQUES

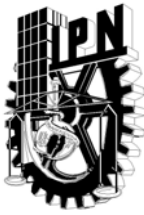
En secciones que se proyectan dentro de un entronque se pueden utilizar ampliaciones y sobre elevaciones adicionales para las transiciones en la corona. Estos datos solo modifican el proyecto terminado sin afectar la proyección de las capas compactadas a 95% y 90%.

En la figura 9.8, se muestra el formato de ampliaciones y sobre-elevaciones de los entronques que se proyectan en los caminos.

9.9 SOBREELEVACIONES Y AMPLIACIONES PARA ENTRONQUES

AMPLIACION IZQUIERDA cm				
SOBRE	IZQ	-2.0		
ELE. %	DER	-2.0		
AMPLIACION DERECHA cm				

FIG. 9.8-DE PLANO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



9.10 CURVA MASA

En la Fig. 9.7, representa el diagrama de la "Curva Masa", del proyecto geométrico de la autopista "México-Tuxpan", en el Kilometraje 183+000 al 184+000.

En el diagrama de Curva Masa las ordenadas (Y), representan volúmenes acumulados de las tercerías y las abscisas (X), el cadenamiento correspondiente. Este diagrama se dibuja en el mismo papel donde se dibuja el Perfil del Terreno, lo mismo que la Subrasante, esto se hace con la finalidad de proyectar las intersecciones de la Curva Masa con la línea compensadora ala Subrasante y de esta manera establecer los límites de los puntos compensados. La escala Horizontal se dibuja 1:2000, es decir un centímetro igual una estación (20m) y la Vertical a escala mas conveniente, esto es de acuerdo a las cantidades de m³ de tercerías por mover (ejem. 1cm = 10m³; 1cm = 100m³; 1cm = 200m³. etc.)

9.11 SECCION TIPO

Aquí se muestra la representación transversal estándar de cualquier figura lineal proyectada, validad para la mayor parte de la obra, la cual denominamos como "Sección Tipo", (Fig.9.9)

Los elementos que componen la sección tipo, son: El Terreno, Anchos, Taludes, Cunetas y Peraltes.

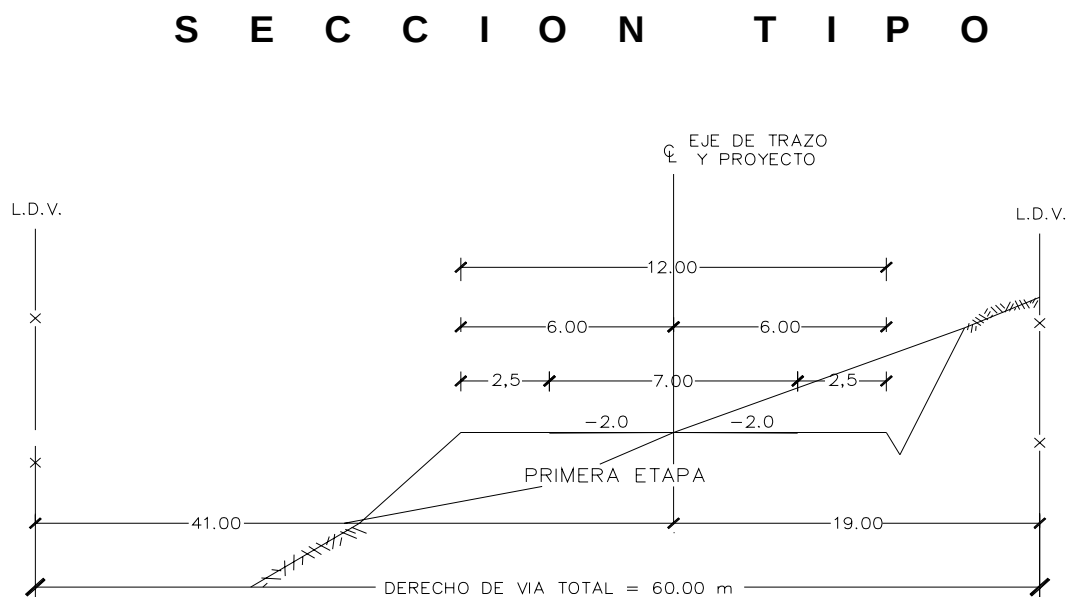


Fig. 9.9 DE PLANO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



9.12 ACARREOS PARA TERRACERIAS

A continuación se muestra el resumen de los bancos de préstamo y material de desperdicio de las capas Subrasantes y Subyacentes, mostradas en las Fig. 9.10. También se presentan los acarreos para terracerías y el orden según los sobre acarreos.

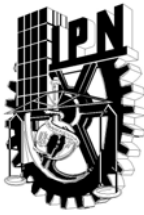
Las flechas que se encuentran debajo del Tabla indican los tramos de la cantidad de material que se esta utilizando como préstamo, así como los despalmes en corte, terraplén y la compactación de la cama de cortes.

MOVIMIENTO No.	VOLUMEN GEOMETRICO M3	DISTANCIA DE SOBRE- ACARREO	DISTANCIA DE PAGO		VOL. * DISTANCIA (SOBREACARREO)	
			CANTIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD
8 -b	14,124	170	1	HM	14,124	M3 1HM
			0.7	HM	9,887	M3 HM + 1
9	3,429	55	2.8	EST	9601	M3 EST
10	1,219	52	2.6	EST	3,169	M3 EST
11	6,321	67	3.4	EST	21,491	M3 EST
12	5,748	195	1	HM	5,748	M3 1 HM
			1	HM	5,748	M3 HM + 1
13	2,492	37	1.9	EST	4,735	M3 EST
14 - a	5,248	98	4.9	EST	25,715	M3 EST
I - b	11,347	15800	1	KM	11,347	M3 1KM
			15	KM	170,205	M3 KM + 1

FIG. 9.10 DE PLANO

DIAGRAMA DE PRESTAMOS PARA FORMAR LAS CAPAS SUBYACENTE Y SUBRASANTE

En la figura 9.11 se aprecia la Línea Gruesa como el Diagrama de Préstamos, también se observa la escala en la que se encuentra dibujada. Las Líneas rojas perpendiculares ala línea de la escala nos muestran los kilometrajes, así mismo se muestran la cantidad de material que se necesita.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
 PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
 KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



**DIAGRAMA DE PRESTAMO PARA CAPAS
SUBYACENTE Y SUBRASANTE**

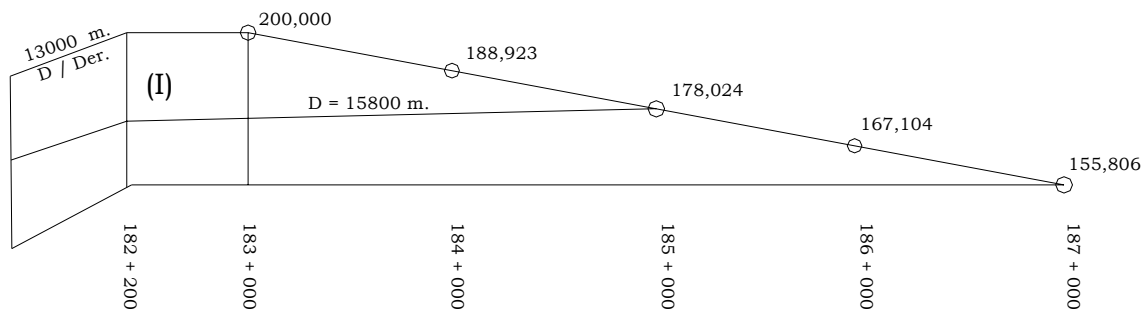


FIG. 9.11.-DE PLANO

DIAGRAMA DE MATERIAL DE DESPERDICIO

Dentro de la figura 9.12 observamos el "Diagrama de Material de Desperdicio" (Línea Azul)

Las línea Gruesa nos indica el Banco de Préstamo y las capas para lo cual se requiere el material, así como las características del material también se muestran la escala del Diagrama, mientras que en las otras líneas letras Verticales observamos los cadenamientos. Finalmente se indica la cantidad de material que se esta ocupando.

Bco. de prestamo den. LA CEIBA para formar las capas
 Subrasante y Subyacente a 9000 m Der. est. 175+675
 1.- Indef. Grava-Arena de rio con boleos chicos
 Comp. 103,098.093
 Clasif. 40-60-00
 Vol. = 1,000,000 m³

**DIAGRAMA DE MAT
DE DESPERDICIO**

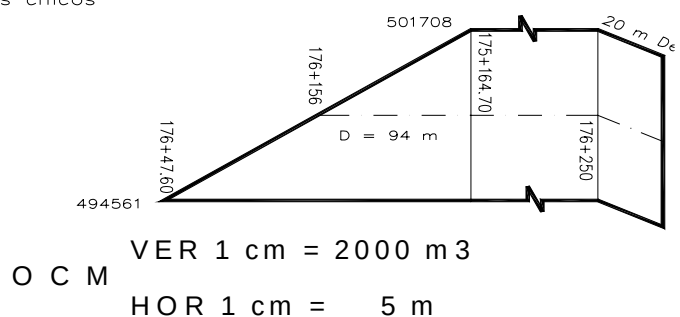


FIG. 9.12 DE PLANO

9.13 CANTIDADES DE OBRA

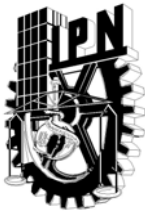
Aquí se muestra la tabla de resumen de cantidades de Obra.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



S C T						CARRETERA:		MEXICO - TUXPAN			
DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES DIRECCION DE PROYECTO DE CARRETERAS DEPARTAMENTO DE PROYECTO DEFINITIVO						SUBTRAMO: XICOTEPEC		-ENTR TIHUATLAN			
						DE EST. 183+000		A EST. 184+000			
						ORIGEN: ENTR ECATEPEC EDO DE MEX					
C A N T I D A D E S D E O B R A	T E R R A C E R I A S	EXCAVACIONES (VOL. GEOMETRICO)	DESPALME			EN CORTE		7482 m3			
						EN AREAS DE TERRRAPLEN		7099 m3			
			CORTES Y EXCAVACIONES ADICIONALES			VOL. APROVECHADO		76946 m3			
						VOL. DESPERDICADO		2223 m3			
			CAJAS PARA DESPALME DE TERRAPLENES			VOL. APROVECHADO		m3			
						VOL. DESPERDICADO		77 m3			
			REBAJES CORONA DE CORTE Y/O TERRAPLEN			VOL. APROVECHADO		m3			
					VOL. DESPERDICADO		m3				
		ESCAONES DE LIGA			VOL. APROVECHADO		m3				
					VOL. DESPERDICADO		m3				
		MATERIAL A 47548 m3			TOTAL 79246 m3						
		MATERIAL B 31698 m3									
		MATERIAL C m3									
		PRESTAMOS (VOL. GEOMETRICO)			DEL BANCO 182+200 11530 m3		MATERIAL A 4612 m3				
					DEL BANCO m3		MATERIAL B 6918 m3				
					DEL BANCO m3		MATERIAL C m3				
					DEL BANCO m3						
					DESPALME TOTAL m3		PRESTAMO TOTAL 11530 m3				
		COMPACTACIONES			DEL TERRENO NATURAL EN EL AREA			A 90% 2816 m3			
					DE DESPLANTE DE TERRAPLENES			A 95% m3			
					DE LA CAMA DE LOS CORTE			A 95% m3			
								A 100% m3			
					DE TERRACERIAS EXISTENTES			A 95% m3			
					A 100% m3						
					DE PAVIMENTOS EXISTENTES A 95% m3						
		FORMACION Y COMPACTACION			DE TERRAPLENES CON O SIN CUÑA DE AFINAMIENTO			BANDEADO m3			
								A 90% 69986 m3			
								A 95% 3437 m3			
								A 100% 1912 m3			
	DE LA CAPA SUPERIOR DE TERRAPLENES CONSTRUIDA SOBRE MATERIAL NO COMPACTABLE				A 95% m3						
					A 100% m3						
				DEL RELLENO PARA FORMAR CAPA SUBRASANTE EN CORTES A 95% 3504 m3							
				A 100% 2224 m3							
	ACARREOS			MATERIAL PRODUCTO DE LOS CORTES							
				m3 Estacion		m3 3 - hm	m3 3 - hm - Ad.	m3 5 hm		m3 3 - hm - Ad.	
				94874		45480	9542				
										DESPERDICIO	
				MATERIAL PRODUCTO DE LOS PRESTAMOS DE BANCO							
				m3 al 1er Km		m3 Km subs.		Vol. de agua m3		m3 hm	
				11530		172950					
	DRENAJE MENOR			EXCAVACIONES		MATERIAL A m3	ACERO DE REFUERZO TON				
						MATERIAL B m3	ACERO ESTRUCTURAL TON				
						MATERIAL C m3					
				MAMPOSTERIA		DE 2a m3	TUBOS		0.90m m		
						DE 3e m3			1.05m m		
				ZAMPEADO					1.2 m m		
						100 kg/cm m3	DEMOLICIONES				
				CONCRETO		150 kg7cm m3			CONCRETO m3		
			200 kg7cm m3	MANPOSTERIA m3							



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



9.14 NOTAS COMPLEMENTARIAS

En las siguientes notas complementarias, observamos los espesores de las capas, Subyacente y Subrasante, en Corte y Terraplén

NOTAS:

*Medido en el Corte o en el banco de préstamo

	ESPESOR EN M	
	CORTE	TERRAPLEN
C. SUBRASANTE	0.30	0.30
C. SUBYACENTE	0.00	0.50

FIG. 9.13



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



B I B L I O G R A F I A

C. Box Paúl y C. Oppenlander Joseph, Cuarta Edición (1985). "Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito", Editorial Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. México. Págs. 33 – 44.

C. Box Paul y C. Oppenlander Joseph, Tercera Reimpresión (1976), "Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito", Co-editores Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. México. Editorial Asociación Mexicana de Caminos. Págs. 47 – 67, 98 – 109.

Cal y Mayor Cárdenas, Séptima Edición (1998), "Ingeniería de Tránsito". Editorial Alfaomega. Pág. 113, 152 -166, 327,

Crespo Villalaz Carlos (1998) Vías de comunicación 3ª. Ed 1ª Reimp. Editorial LIMUSA, México, Pág. 401 a la 505
CONSTRUCCION DE MAQUINARIA

Dirección General de Proyectos Servicios Técnicos y Concesiones, Primera Edición (1985), "Manual de Capacidad Vial". Subsecretaría de Infraestructura. S.C.T. .Pág. 38 - 44,

Dirección General de Proyectos y Laboratorios, Departamento de Vías Terrestres, S.O.P., " Proyectos tipo de Obras de Drenaje para Carreteras", México, D.F. Diciembre de 1965

Etcharren Gutiérrez Rene, Manual de Caminos Vecinales, Pág. 106-107, Agosto de 1993, Editorial Alfa omega

González Martínez F. y Mendoza Suárez C. (2002). Proyecto Geométrico de la Carretera México-Guadalajara, tramo Atlacomulco-Maravatio subtramo Atlacomulco-Ent. Venta de Bravo, Km 110+000 al Km 113+000. (Primera edición). México. ESIA.

Heinen Treviño Jorge. Luis (1985) Vías Terrestres, Pp 129-132

Hewes Laurence & Oglesby Clarkson (1975) Ingeniería de Carreteras - Calles, Viaductos y Pasos a Desnivel, 4ª impresión, Compañía Editorial Continental S.A. México, Paginas 149 – 154

Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. (1998). Mecánica de suelos tomo I fundamentos de la mecánica de suelos. (Vigésima reimpresión de la tercera edición). México. Editorial Limusa.

Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. (1999). Mecánica de suelos tomo II teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. (Decimoséptima reimpresión de la segunda edición). México. Editorial Limusa.

Lazo Margán Leonardo y Sánchez Ángeles Gilberto, Primera Edición (1981). "Una Fisonomía de la Ingeniería de Tránsito", Editorial Miguel Ángel Porrúa S.A. Págs. 47 – 59, 113 - 124 , 167 - 181, 207 – 223.

Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, Secretaria de Obras Publicas, Vías Terrestres, Autor: Ing. Jorge Luis Heinen Treviño

Montes de Oca Miguel (1982) Topografía, 4ª edición, Representaciones y Servicios de Ingeniería, México, Paginas 106 – 111, 127 – 132.

Núñez Ricardo (1997, 1998) Apuntes de Topografía I y II Instituto Politécnico Nacional.

Olibera, B.F., "Estructuración de Vías Terrestres", Ed. CECOSA, México, 1986

Proyecto Geométrico de Carreteras Modernas, Autor: John H Jones, Capitulo I



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



Rico Rdz. A. y del Castillo H. (1996). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*, Vol. 1. (Decimotercera edición). México. Editorial Limusa.

Rico Rdz. A. y del Castillo H. (1998). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*, Vol. 2. (Duodécima edición). México. Editorial Limusa.

Rico-Del Castillo, "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres", Ed. LIMUSA, 17ª. Reimpresión, México, D.F. 2001

S.C.T. (1984) *Normas Técnicas Complementarias* 1ª edición, México, Páginas 37 – 40.

S.C.T. (1991) *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*, 4ª Reimpresión, México, Páginas 33 – 62, 297 – 394.

S.C.T. (1991) *Manual de procedimiento electrónico* 2ª reimpresión México 2000

S.C.T. Cuarta Reimpresión (1991). "Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras", Págs. 68, 447 - 470.

S.C.T. Dirección General de Servicios Técnicos, "Diseño Hidráulico y Geotécnico de Obras de Drenaje Menor y Complementario", México, D.F. 2002

S.C.T. Normas de Estudios Hidráulico-Hidrológico para Puentes, Procesamiento de información, N-PRY-CAR-1-06-003/00, México, D.F. 2000

S.C.T. Quinta Edición (1986), "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras", Subsecretaría de Infraestructura. Págs. 7 a la 521.

S.C.T.(1991) *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*. 4ta Reimpresión México Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Pg. 351 -355 Y 395

S.C.T. Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México D.F. 1986, Quinta edición

Secretaría de Obras Públicas, Dirección General de Caminos De Mano de Obra, "Manual de Drenaje de Caminos", México, D.F. Junio de 1952

Secretaría de Obras Públicas, Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, Pág. 2, 3, 4, 5, 6,7, México 1974

Tratado General de Topografía II, Revisado y Ampliado Por Los Doctores:, C. Reinhertz y O. Eggert

Varios, Seminario de Titulación "Proyecto de Caminos Guadalajara Tepic", I P N, México D.F. 2003

Varios, Seminario de Titulación "Proyecto Geométrico México Tuxpan", I P N, México D.F. 2000

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT),

S.C.T. N-PRY-CAR-10-01-002/99, Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT), México D.F. 2000.

S.C.T N-PRY-CAR-10-01-003/99, Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT), México D.F. 2000.

S.C.T. N-PRY-CAR-10-01-004/99, Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT), México D.F. 2000.

S.C.T. N-PRY-CAR-10-01-005/99, Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT), México D.F. 2000.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
PROYECTO GEOMÉTRICO DE LA AUTOPISTA MÉXICO-TUXPAN
KM 183+000 AL 190+000 ORIGEN ECATEPEC, EDO. DE MÉX.



S.C.T. N-PRY-CAR-10-01-006/99, Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT), México D.F.2000.

S.C.T. N-PRY-CAR-10-01-007/99, Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT), México D.F.2000.

S.C.T. N-PRY-CAR-10-01-008/99, Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT), México D.F.2000.

S.C.T. N-PRY-CAR-10-01-009/99, Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa SCT), México D.F.2000.

S.C.T N-C.T.CAR.1.01.001/00 (Desmonte), Secretaria de Comunicaciones y Transportes, México D.F.2000.

S.C.T N-C.T.CAR.1.01.002/00 (Despalme), Secretaria de Comunicaciones y Transportes, México D.F 2000.

S.C.T N-C.T.CAR.1.01.008/00 (Bancos), Secretaria de Comunicaciones y Transportes, México D.F 2000.

S.C.T N-C.T.CAR.1.01.009/00 (terraplenes), Secretaria de Comunicaciones y Transportes, México D.F 2000.

www.alcatsl.com/ (2003) Maquinaria menor, imágenes

www.carreteros.org

www.caterpillar.com

www.construaprende.com

www.google / buscador de imágenes / topografía

www.grupottq.com.mx

www.inegi.gob

www.kellytractor.com (2003) Manuales de Maquinaria y Equipo Caterpillar, imágenes.

www.sokkia.com