

143  
28j  
U



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

VIA DEL FERROCARRIL INTERIOR DEL  
COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS

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 :

JORGE WALTER ROJAS ZAMARRIPA

México, D. F.

1987



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

	PAGINA
1. INTRODUCCION.....	1
2. JUSTIFICACION DE LA OBRA.....	5
3. PROYECTO DEL TRAZO.....	12
3.1 Especificaciones y criterios de proyecto...	13
3.1.1 Normas Generales.....	13
3.1.2 Alineamiento Horizontal.....	16
3.1.3 Alineamiento Vertical.....	25
3.1.4 Vias Auxiliares.....	37
3.1.5 Equipo Rodante y Tractivo.....	38
3.2 Estudios de Campo.....	43
3.2.1 Topografía.....	43
3.2.2 Geotecnia.....	45
4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....	52
4.1 Subestructura.....	53
4.1.1 Corte.....	54
4.1.2 Terraplen.....	56
4.1.3 Drenaje.....	65
4.2 Superestructura.....	68
4.2.1 Sub-balasto.....	68
4.2.2 Balasto.....	69
4.2.3 Durmientes.....	75
4.2.4 Rieles.....	77
4.2.5 Accesorios.....	84
5. CONCLUSIONES.....	94
BIBLIOGRAFIA.....	97

*CAPITULO*

*PRIMERO*

**INTRODUCCION**



## 1.- INTRODUCCION

Una de las necesidades más urgentes para nuestro país es la de alcanzar la autosuficiencia en la producción de petroquímicos. Como parte de la infraestructura que se está desarrollando en la zona sureste del país para alcanzar tal fin, se realiza la construcción de diversos complejos petroquímicos - en los cuales se cuentan con plantas con una capacidad de producción a la altura de los más grandes del mundo.

Para el óptimo funcionamiento de los mismos es necesario contar con un sistema de transporte terrestre acorde a las necesidades, en donde el transporte ferroviario debe complementarse con el transporte automotor teniendo cuidado que éstos no sean competitivos para obtener la mayor rentabilidad social posible y un desarrollo acelerado.

El presente trabajo se basa en las futuras instalaciones dentro del Complejo Petroquímico Morelos, en el cual para lograr lo anteriormente citado es necesario determinar cuáles serán los productos que se moverán por ferrocarril fundamentando se principalmente en su costo mínimo terrestre, consecuencia de la mínima resistencia entre el riel y rueda, del gran tonelaje de un tren derivado de usar menor cantidad de energéticos por tonelada. en base a la infraestructura ferroviaria que se encuentra en la región, es posible mover varios productos.

A continuación se dará una breve descripción de las plantas a las que el ferrocarril les prestará servicio.

#### PLANTA DE OXIDO DE ETILENO Y GLICOLAS

Esta planta emplea como materia prima el etileno y utilizando como agente de oxidación el oxígeno, se obtiene el óxido de etileno, tendrá una producción de óxido de etileno de 200,000 toneladas al año y de 125,000 toneladas al año de glicoles.

Entre sus usos está la fabricación de fibras sintéticas - (poliéster y dacrón), películas, detergentes, anticongelantes, etc.

#### PLANTA DE POLIETILENO

La producción de esta planta será de 100,000 toneladas al año, empleando como materia prima el etileno. Entre sus principales usos está la fabricación de plásticos, bolsas, cables, juguetes, moldes, etc.

#### PLANTA DE POLIPROPILENO

Con una capacidad de 100,000 toneladas por año y empleando como materia prima el propileno, la producción de esta planta tendrá los siguientes usos en: películas, resinas, componentes electrónicos, etc.

Por otra parte, para lograr un buen funcionamiento del ferrocarril es necesario un diseño adecuado respetando las instalaciones que se encuentran dentro del complejo, así como los estudios de campo realizados para la construcción del mismo.

*CAPITULO*

*SEGUNDO*

**JUSTIFICACION DE LA OBRA**

## 2. JUSTIFICACION DE LA ORPA

El Complejo Petroquímico Morelos se encuentra localizado dentro de los ejidos Gavilán de Allende y Pajaritos ocupando un área de 380 hectáreas. Aproximadamente a 8 Km. de la ciudad de Coatzacoalcos se encuentra el acceso principal al complejo.

Junto con los complejos de Pajaritos y la Canchrejera ya en operación y Laguna de Ostión en proyecto, se constituirá un nuevo polo de desarrollo industrial que podrá suministrar en primer lugar al mercado nacional y después al internacional.

Petróleos Mexicanos por ley dictada en 1958, se reserva la producción de la petroquímica básica, dejando a las empresas mixtas o privadas, la petroquímica secundaria. De esta manera PEMEX planificó el desarrollo de sus industrias a mediano y largo plazo, incluyendo la infraestructura necesaria no solamente para cubrir sus necesidades, sino también para promover la creación de otras industrias que eventualmente pudieran ser atractivas para los inversionistas de empresas mixtas y privadas.

Entre las empresas que tienen plantas y proyectos de inversión en esta área y que utilizarán como materia prima los productos petroquímicos básicos producidos en los diferentes complejos, se encuentran: Fertilizantes Mexicanos, Industrias-Resistol, Cloro de Tehuantepec, Cydsa-Bayer, Celanese Mexicana Alhamex, Mexaro, Tetraetilo de México, Industrias Químicas del Istmo y Sales del Istmo.

Entre las obras de infraestructura que se han desarrollado en la región tenemos: la construcción de la presa "La Canchrejera" con una capacidad total de almacenamiento de - - - --

40.000,000 m<sup>3</sup> que dotará de agua al complejo Cangrejera, al de Pajaritos, al de Morelos, así como a todas las industrias y poblaciones existentes. La construcción de la Terminal Marítima de Pajaritos la cual cuenta con doce muelles. La construcción de un aeropuerto en la zona de Canticas al sureste de Coatzacoalcos.

Las principales vías de comunicación terrestre están constituidas por la carretera transistmica que une a Coatzacoalcos con Villahermosa y el sureste del país, limitado en su acceso por el puente Coatzacoalcos. Con una mayor intensidad de tránsito se observa la vía Coatzacoalcos-Minatitlán, a partir de esta última se multiplica la red carretera que une a los estados de Oaxaca, Veracruz y Chiapas.

Por otra parte, a la ciudad de Coatzacoalcos convergen -- dos líneas ferroviarias que son la división sureste de los Ferrocarriles Nacionales de México en su ruta desde México a Salina Cruz y la frontera con Guatemala y los Ferrocarriles Unidos del Sureste en su ruta a la ciudad de Mérida, Yucatán. De este último, aproximadamente a 8 Km. de la ciudad de Coatzacoalcos se localiza un peine de vías que es la que hace la conexión al Complejo Morelos.

En el interior del complejo la vía del ferrocarril llegará a las bodegas de polietileno y polipropileno, al almacén de materias primas y al almacenamiento de óxido de etileno.

Al almacén de materias primas llegarán catalizadores y reactivos que se emplearán en diversas plantas, los cuales provienen de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara.

El óxido de etileno el cual se manejará con carros-tanque se venderá al grupo IDESA (Industrias Derivadas del Etileno, -

S.A.) en Puebla y a POLIOLES, S.A. en la Ciudad de México.

El polietileno se enviara a casi todos los estados del país (México, Oaxaca, Merida, Veracruz, Tabasco, Guadalajara, Monterrey, etc.), los clientes en la Ciudad de México son en alta y en baja densidad, este producto llegará a la Ciudad de México a unas bodegas y de allí se suministrará a los demás estados de la Republica.

El polipropileno tambien se enviara a la Ciudad de México y de allí se enviara como el polietileno a varios estados.

Entre los factores que se tomarón en cuenta para seleccionar al ferrocarril tenemos:

-Dentro de la zona se cuenta con una infraestructura ferroviaria bastante sólida, la cual se comunica con varios estados, lo que permite penetrar en zonas que no estan comunicadas por carretera.

-Por otra parte tenemos que la red carretera cuenta únicamente con dos carriles y por lo tanto no es posible mandar todos los productos por este sistema, ya que tenemos que tomar en cuenta que existen más complejos y refinarias que utilizan este sistema de transporte.

-Existen productos que son peligrosos en su manejo y transportación, como el óxido de etileno, y que en caso de que ocurriera un accidente, existirian mayores perdidas si estos se mandaran por carretera.

-El ferrocarril se utilizara para transportar mercancías a larga distancia, de preferencia las más pesadas, más voluminosas y a granel, por ejemplo: el polietileno y el polipropileno que serán cargados a granel.

-Otro factor que se tomo en cuenta es la capacidad de carga entre las unidades de transporte ferroviario y transporte carretero. Así, para movilizar el polietileno y el polipropileno con una producción total de 550 ton. por día, utilizando furgones con una capacidad de carga de 50 tons. se emplearían 11 unidades, en cambio empleando trailers con una capacidad de 20 tons. se emplearían 28 unidades diariamente.

-Se tomo en cuenta que a las compañías que se les ofrece el servicio cuentan con patios dentro de sus instalaciones.

-Respecto al aspecto económico, se tomarón las tarifas entre uno y otro medio, se hace una clasificación por clases, en ferrocarriles, las clases van de la 1 a la 20 y de la 1 a la 5 en el autotransporte, la clase depende de las características del producto a mover: estado físico, manejabilidad, peligrosidad, etc.

Así tenemos que el polietileno y el polipropileno empleando el ferrocarril caen dentro de la 5a. clase y el óxido de etileno en la 4a. clase. En el autotransporte el Polietileno y el polipropileno caen en la 3a. clase, y el óxido de etileno cae dentro de una clasificación de efectos para vehículos tipo tanque a presión atmosférica (esta clasificación es especial para PEMEX).

- Otro factor que afecta a la tarifa es la distancia, empleando el ferrocarril tenemos:

De la ciudad de Coatzacoalcos a la ciudad de Puebla: 590 Km. y de la ciudad de Coatzacoalcos a la ciudad de México: 718 Km.

Por otra parte utilizando el sistema de autotransporte tenemos:



De la ciudad de Coatzacoalcos a la ciudad de Puebla: 510 Km. y de la ciudad de Coatzacoalcos a la ciudad de México: 628 Km.

A continuación se analiza la tarifa correspondiente a cada sistema de transporte, afectados por la distancia y la clase.

Así tenemos:

Para el polietileno y el polipropileno.

	FERROCARRIL	AUTOTRANSPORTE
A MEXICO	\$16,103.00/TON	\$16,655.00/TON
A PUEBLA	\$14,200.00/TON	\$14,466.00/TON

Para el óxido de etileno.

	FERROCARRIL	AUTOTRANSPORTE
A MEXICO	\$17.41/LITRO	\$17.43/LITRO

De donde se observa, que las tarifas son casi las mismas entre los sistemas de transporte, pero como se dijo anteriormente, se tomarón en cuenta varios factores (infraestructura, capacidad de carga, manejabilidad, peligrosidad, etc.), los cuales nos permitieron determinar la factibilidad entre cada sistema y así dar la solución más adecuada.





*CAPITULO*

*TERCERO*

**PROYECTO DEL TRAZO**

### 3. PROYECTO DEL TRAZO

#### 3.1 Especificaciones y criterios del proyecto

Para el buen funcionamiento de la vía, se requiere de un diseño adecuado y una construcción eficiente. Para lograr lo anterior fué necesario considerar la ubicación de las plantas a las cuales se les vá a proporcionar el servicio, así como también respetar las instalaciones adyacentes, como es el caso de los puentes de los racks de tuberías que se conectan al área de quemadores, en los cuales para poder cruzar por abajo de ellos fué necesario respetar un galibo de 7.00 metros.

También se consideró la seguridad dentro de las instalaciones, por lo que la vía corre por la parte perimetral del complejo; aunque es un poco más largo el trayecto para llegar a las bodegas se tiene un mayor grado de seguridad, además de que se evita el cruzar por varias calles con lo cual se vería afectado el tránsito de vehículos.

##### 3.1.1 Normas Generales

A continuación se establecen los requisitos necesarios para el diseño y construcción de la vía ferrea.

###### -Kilometraje

Cuando el ladero, espuela o el peine de vías arranque de una vía troncal o principal, se indicará el kilometraje y denominación del punto de conexión. En el caso de que el proyecto se apoye en un ladero, espuela, vía de operación o de cualquier otro tipo, se indicará además, la distancia que hay del punto -

de conexión del proyecto al punto de conexión de la vía de apoyo, y el kilometraje de este último respecto a la principal. - En un patio, se referirá la conexión a un kilometraje perfectamente conocido.

-Tangentes y curvas

Se marcarán todas las tangentes que interesen en el proyecto, así como las que resulten del mismo, también el nombre y cadenamamiento correspondiente de los puntos de interés.

Deben indicarse los datos de todas las curvas del proyecto, dichos datos comprenderán: grados y radio de curvatura, de flexión, longitud y subtangente. Poniéndose el radio y la subtangente al milímetro; estos datos se presentarán en forma de tabla, con el número correspondiente a cada curva.

-Grado de curvatura

El grado máximo de las curvas horizontales estará regido por la base rígida de las locomotoras que operen en el lugar. - Cuando la operación de los carros-tanque se haga con equipo propio o por que dada la longitud de las vías pueda operarse con madrinas se podrá aumentar el grado de curvatura.

Este grado nunca deberá ser mayor de  $14^{\circ}$  (grados), el grado máximo empleado es de  $12^{\circ}30'$ .

-Cambios

Dentro de las zonas industriales, complejos, refinerías, etc., las vías que se conecten a la vía principal, se podrán emplear los juegos de cambios del número 9, 8, 7 y 6. Recomendándose los del número 8, por ser el más usual.

**-Separación entre vías**

La separación mínima de una vía con respecto a la troncal vías de operación, laderos y vías de pasada será de 5.0 metros

**-Separación entre vías y estructuras**

La distancia que se aceptará entre el eje de una vía y el paño de una construcción, no será menor de 2.50 metros en cualquier caso.

**-Derecho de vía**

Se marcará el derecho de vía correspondiente a la troncal así como la de proyecto que será de 20.0 metros.

**-Descarriladores**

Se pondrán descarriladores a 60.0 metros de los puntos de comexión de cualquier vía que tenga una pendiente mayor de - - 0.3% y descienda hacia dicha conexión. A partir de las puntas-de agujas (P.A.)

**-Perfil de laderos y peine de espuelas**

El perfil se hará por separado, indicando en forma tabulada: acotaciones, que abarcará: elevaciones del terreno, elevaciones de la formación y los espesores que resulten de la diferencia de las dos anteriores, ya sea en corte o terraplén.

**-Localización**

Se pondrá un renglón de localización, en el cual se indique el alineamiento horizontal del ladero o espuela, marcando las curvas izquierdas o derechas de acuerdo con el cadenamien-to; así como las longitudes de las tangentes en metros que resulten del proyecto y que deben aparecer en la planta.

#### -Tangentes y curvas verticales

Se indicarán las longitudes de las tangentes verticales, así como las pendientes que tengan. También se indicarán las longitudes de las curvas verticales. Para su diseño se tomarán los siguientes parámetros

- a).- La pendiente máxima será de 2%
- b).- La variación máxima permitida en curvas verticales, será la que se indica:  
En columpio.- 0.02% por estación de 20 metros  
En cima.- 0.04% por estación de 20 metros

Se recomienda que las curvas verticales empiecen en estación cerrada de 20.0 metros o en media estación. Indicándose pendiente de entrada y salida.

#### -Limitación

En una curva vertical no debe colocarse un juego de cambio, por lo que tanto en la vía de apoyo como en la de proyecto la pendiente en un tramo de 30.0 metros o por lo menos la longitud de la curva del cambio a partir del punto de conexión se conservará constante.

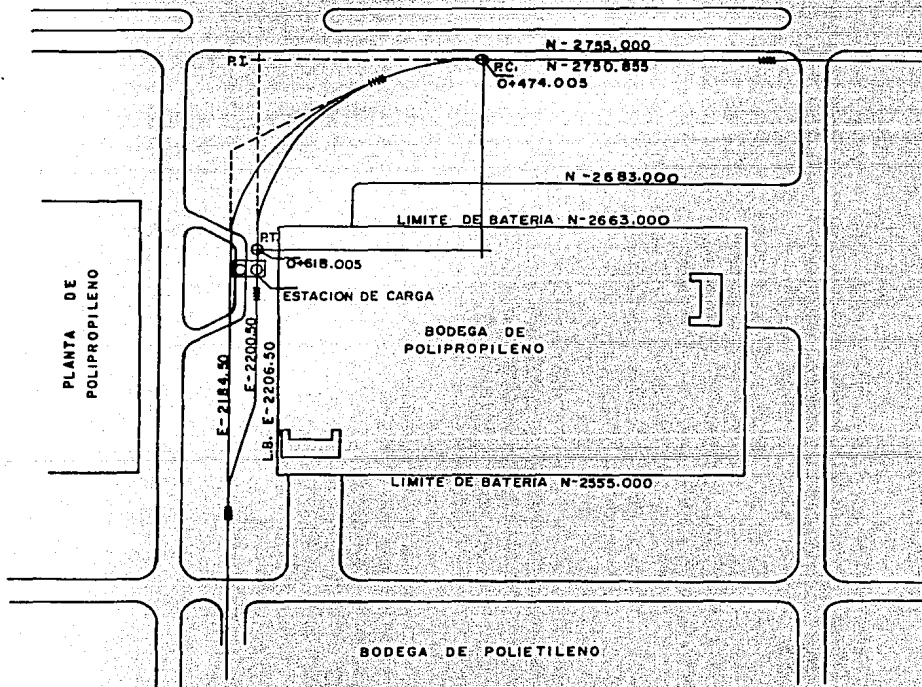
En el tramo anterior se considerarán espesores nulos por estar el cambio construido en un terraplén ya existente, esta condición se conservará aún en el caso de que la vía de apoyo sea también proyecto, ya que de otro modo habría duplicidad de terracerías en el tramo comprendido por la conexión.

### 3.1.2 Alineamiento horizontal



**Grado de curvatura**

De acuerdo a la localización que tienen las plantas dentro del complejo y debido a que dos de ellas (polipropileno y polietileno) se les prestará servicio y sus hodegas se encuen-



tran juntas, fué necesario para el buen funcionamiento de la bodega de polipropileno la construcción de una espuela para poder realizar la carga (figura). Tomando en cuenta los criterios de proyecto anteriormente señalados se obtuvo una deflexión de  $90^{\circ}00'$ ,  $PI = 0+565.86$  y a criterio del proyectista el radio- $R = 91.855$ , por lo que el grado máximo de curvatura fué de  $12^{\circ}30'$

### Curvas Circulares Simples

Como la velocidad máxima que se permitirá dentro del complejo es de 10 Km/hora, se pueden emplear este tipo de curvas cuidando de la sobre-elevación para que se obtenga un buen funcionamiento de la vía. Se denomina curva circular simple, cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular, según el sentido del cadenamiento, las curvas simples pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha.

Las curvas circulares simples tienen como elementos característicos los mostrados en la figura 1, los datos de que se parte para calcular los demás elementos de la curva son deflexión ( $\Delta$ ), cuerda (C) y radio (R).

La deflexión se mide directamente con transportador en el proyecto en planta del eje de la vía, aunque después de ir a trazar el proyecto al terreno, habrá que medirlo con tránsito para tener su valor real entre las tangentes marcadas y recalcular los elementos de la curva.

La cuerda depende de la curva a trazar, lo más común es que se tome de 20 metros.

ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE.

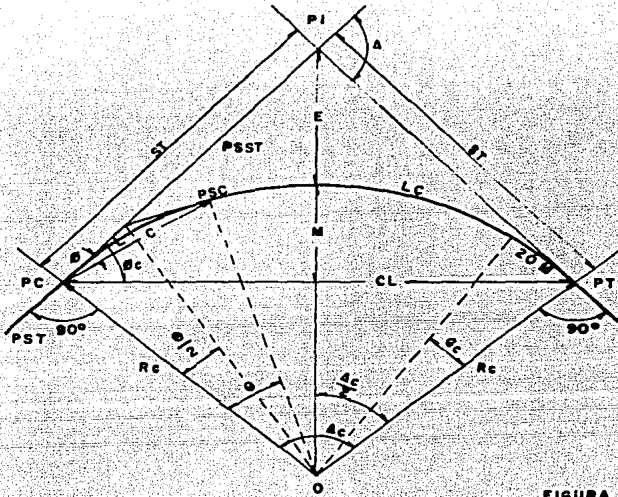


FIGURA 1

PI	Punto de interseccion de la prolongacion de las tangentes
PC	Punto en donde comienza la curva circular simple
PT	Punto en donde termina la curva circular simple
PST	Punto sobre tangente
PSST	Punto sobre subtangente
PSC	Punto sobre la curva circular
O	Centro de la curva circular
A	Angulo de deflexion de las tangentes
Ac	Angulo central de la curva circular
θ	Angulo de deflexion a un PSC
β	Angulo de una cuerda cualquiera
βc	Angulo de la cuerda larga
Gc	Grado de curvatura de la curva circular
Rc	Radio de la curva circular
ST	Subtangente
E	Externa
M	Ordenado Medio
C	Cuerda
CL	Cuerda larga
L	Longitud de un arco
Lc	Longitud de la curva circular

El radio queda al criterio del proyectista, adaptándose lo mejor que se pueda a la configuración del terreno para no producir terracerías costosas.

Los demás elementos de la curva se calculan de la forma tradicional.

Ejemplo:

Se realiza el cálculo de la curva No. 9

$$\text{Datos: } \Delta = 90^{\circ}00' 1$$

$$PI = 0+565.86$$

$$R = 91.855$$

Grado de curvatura: Es el ángulo subtendido por un arco de 20m

$$G_c = \frac{1145.92}{R_c} = \frac{1145.92}{91.855} = 12.5^{\circ} = 12^{\circ}30'$$

Subtangente (ST): Del triángulo rectángulo PI-O-PT:

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta c}{2} = 91.855 \tan \frac{90}{2} = 91.855 \text{ m}$$

Longitud de curva (Lc): Es la longitud del arco entre el P.C y el P.T.

$$\frac{L_c}{2\pi R_c} = \frac{\Delta c}{360^{\circ}} ; L_c = \frac{\pi \Delta c}{180^{\circ}} R_c$$

$$\text{si tomamos en cuenta que } R_c = \frac{1145.92}{G_c}$$

$$\text{tenemos: } L_c = 20 \frac{\Delta c}{G_c} = 20 \times \frac{90}{125} = 144.000,$$

Cad. P.C. = Cad. P.I. - S.T.

Cad. P.C. = 0+565.860

-0+091.855

0+474.005

Cad. P.T. = Cad. P.C. + L.C.

Cad. P.T. = 0+474.005

+0+144.000

0+618.005

Con todos los datos obtenidos se procedió a calcular coordenadas de cada uno de los puntos (de comienzo, intersección y tangencia). En la tabla No. 1 se muestran en forma tabulada -- los datos de cada una de las curvas que se encuentran dentro -- del complejo.

Trazo de la curva circular.

Determinados todos los elementos de la misma, en el campo se fijará primero el P.I. y cadeneará la S.T. para fijar el -- P.T. Se coloca el aparato en el punto correspondiente al P.C. -- con ceros del límb y la alidada coincidiendo, se fijará el mo vimiento general y se dará la primera deflexión.

Las deflexiones se calculan, según el grado de curva.  
Deflexión de 20 m.

$$\delta_{20} = \frac{Gc}{2} = \frac{12^{\circ}30'}{2} = 6^{\circ}15'$$

Deflexión por metro

$$\delta_m = 1.5g = 18^{\circ}45''$$

Cálculo de la deflexión de la primera estación cerrada o sea - la 0+480

$$\text{Defl.} = 0+480 - (0+474.005) \times 18.75' = 1^{\circ}52'$$

Las deflexiones de las estaciones siguientes se calculan sumándole sucesivamente la deflexión por 20 metros hasta llegar a la estación 0+600 y la deflexión del P.T. se calcula de la siguiente manera.

$$\text{Defl. P.T.} = \text{defl. (0+600)} + (0+618.005 - (0+600)) \times 18.75' = \text{este valor nos debe dar igual a } \frac{\Delta}{2}$$

REGISTRO

ESTACION	P.V.	DEFLEXION	NOTAS
P.T. = 0+618.005		45°00'	= $\frac{\Delta}{2}$
	+600	39°22'	
	+580	33°07'	
	+560	26°52'	
	+540	20°37'	
	+520	14°22'	
	+500	8°07'	
	+480	1°52'	
P.C. = 0+474.005			

DATOS DE LAS CURVAS DE LAS VIAS DEL FERROCARRIL

CURVA No.	GRADO "G"	DEFLEXION "A"	RADIO "R"	SUB-TANGENTE "ST"	LONGITUD CURVA LC	C O O R D E N A D A S		
						PUNTOS	X(E)	Y(N)
1	10°00'00"	72°56'22"	114.737	84.807	145.879	PC	1226.663	1635.768
						PI-1	1241.588	1719.245
						PT	1325.776	1729.469
2	4°00'00"	6°55'28"	286.537	17.336	34.622	PC	2408.391	1860.940
						PI-2	2425.600	1863.030
						PT	2442.936	1863.030
3	12°00'00"	90°00'00"	95.668	95.668	150.000	PC	2597.332	1863.030
						PI-3	2693.000	1863.030
						PT	2693.000	1958.698
4	10°00'00"	90°00'00"	114.737	114.737	180.000	PC	2693.000	2791.013
						PI-4	2693.000	2905.750
						PT	2578.263	2905.750
5	6°14'00"	7°09'00"	183.927	11.490	22.940	PC	2142.760	2905.750
						PI-5	2131.270	2905.750
						PT	2119.870	2907.180
6	6°14'00"	7°09'00"	183.927	11.490	22.490	PC	2102.840	2909.320
						PI-6	2091.490	2910.750
						PT	2080.000	2910.750
7	6°14'00"	7°09'00"	183.927	11.490	22.940	PC	2693.000	2627.509
						PI-7	2693.000	2635.999
						PT	2691.570	2650.400
8	10°00'00"	82°51'00"	114.737	101.243	165.700	PC	2691.570	2650.400
						PI-8	2678.968	2750.855
						PT	2577.725	2750.855
9	12°30'00"	90°00'00"	91.855	91.855	144.000	PC	2292.355	2750.855
						PI-9	2200.500	2750.855
						PT	2200.500	2659.000

DAIOS DE LAS CURVAS DE LAS VIAS DEL FERROCARRIL

CURVA No.	GRADO "G"	DEFLEXION "A"	RADIO "R"	SUB-TANGENTE "ST"	LONGITUD CURVA LC	C O O R D E N A D A S		
						PUNTOS	X(E)	Y(N)
10	6°14'00"	16°85'00"	183.927	26.530	52.700	PC	2200.500	2610.500
						PI-10	2200.500	2583.943
						PT	2192.000	2558.457
11	6°14'00"	16°25'00"	183.927	26.530	52.700	PC	2192.000	2558.487
						PI-11	2184.500	2533.030
						PT	2184.500	2506.500
12	6°14'00"	7°09'00"	183.927	11.490	22.940	PC	2257.205	2743.865
						PI-12	2246.585	2739.465
						PT	2236.600	2733.781
13	12°30'00"	60°21'00"	91.855	53.407	96.560	PC	2230.911	2730.542
						PI 13	2184.500	2704.124
						PT	2184.500	2650.720
14	6°14'00"	7°09'00"	183.927	11.490	22.940	PC	1215.554	1573.614
						PI-14	1217.576	1584.925
						PT	1218.174	1596.399
15	12°00'00"	92°59'10"	95.668	100.788	154.977	PC	1218.267	1598.159
						PI-15	1223.517	1698.810
						PT	1122.729	1698.810
16	12°00'00"	90°00'00"	95.668	95.668	150.000	PC	1073.668	1698.810
						PI-16	978.000	1698.810
						PT	978.000	1794.478
17	6°14'00"	7°09'00"	183.927	11.490	22.940	PC	978.000	2268.510
						PI-17	978.000	2280.000
						PT	976.570	2291.400
18	6°14'00"	7°09'00"	183.927	11.490	22.940	PC	970.230	2341.940
						PI-18	968.800	2353.340
						PT	968.800	2364.830
19	6°14'00"	7°09'00"	183.927	11.490	22.940	PC	965.230	2381.799
						PI-19	963.800	2393.199
						PT	963.800	2404.689



### 3.1.3 ALINEAMIENTO VERTICAL

#### Tangentes

Las empleamos para poder proyectar sobre un plano vertical el desarrollo de la subrasante, cuando dos tangentes se intersectan a este punto se le denomina PIV.

La pendiente de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma, la pendiente longitudinal máxima permitida por Petróleos Mexicanos en sus especificaciones generales es del 2%, la cual en ningún caso se llegó a cumplir ya que la máxima obtenida fué de 1.796%.

#### Curvas verticales.

Este tipo de curvas se emplean para que en su longitud se efectúe el paso gradual de un tramo en el que la subrasante tiene una pendiente determinada a otro en que la pendiente es diferente. Debiendo dar por resultado una vía de operación segura, eliminando los choques y tirones entre carros y entre éstos y la locomotora, además de que se protege a la vía, se tendrá una apariencia agradable y características de drenaje adecuados.

#### Tipos de curvas verticales.

Las curvas verticales pueden tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, recibiendo el nombre de curvas en columpio o en cresta respectivamente, variaciones de estas curvas se presentan cuando las pendientes de las tangentes de entrada y salida tienen signos contrarios o el mismo signo.

Ejemplo:

Se realiza el cálculo de la curva vertical # 3

Datos :  $P1 = -1.60$

$P2 = +0.00$

$PIV = 16.182$

$V = 0.02$  ; de las especificaciones anteriormente se  
ñaladas.

Diferencia algebraica de pendientes

$$\frac{-1.60}{5} = -0.32$$

$$\frac{0.00}{5} = 0.00$$

$$V = (-0.32) - (-0.0) = -0.32$$

$$L = \frac{V}{v} = \frac{0.32}{0.02} = 16 \text{ estaciones de } 20 \text{ metros}$$

$$16 \times 20 = 320 \text{ metros}$$

$$\text{el P.C. es } \frac{320}{2} = 160$$

$$\therefore 160 \times 0.016 = 2.56$$

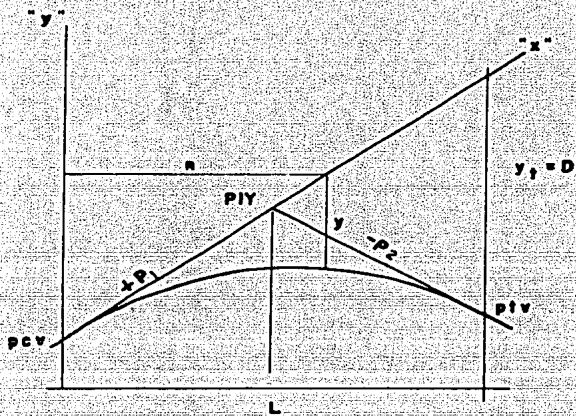
$$\text{COTA DEL P.C.V.} = 2.56 + 16.182 = 18.742$$

$$\text{COTA DEL P.T.V.} = 16.182 + 0.00 = 16.182$$

$$\text{COTA DEL A} = 16.182 - 2.56 = 13.622$$

$$D = \text{P.T.V.} - \text{A} = 16.182 - 13.622 = 2.56 \text{ m}$$

La forma de las curvas verticales es el de una parábola -  
cuya ecuación es :  $Y = KX^2$



- PCV** - Punto en donde comienza la curva vertical
- PIV** - Punto de intersección de las Tangentes
- PTV** - Punto en donde termina la curva vertical
- P1** - Pendiente de la Tangente de entrada en por ciento
- P2** - Pendiente de la Tangente de salida en por ciento
- L** - Longitud de la curva
- D** - Ordenada del punto final de Tangente
- n** - Distancia horizontal del PCV a un punto cualquiera
- y** - Ordenada vertical de un punto cualquiera a partir del eje de las "x" (Subscrente)

**ELEMENTOS DE LAS CURVAS VERTICALES**

**FIGURA 2**

Para determinar el valor numérico de K, se toma un punto de coordenadas conocido y se despeja K de la ecuación.  
Punto de coordenadas conocidos.

$$P.C.V (0,0)$$

$$P.T.V (16, 2.56)$$

tomando el P.T.V.

$$K = \frac{Y}{x^2} ; K = \frac{2.56}{16^2} = 0.01$$

$$Y = 0.01 X^2$$

donde X es el número de la estación (n)

$$\therefore Y = 0.01 n^2$$

con -1.6%, cada 20 metros, baja 0.32 m.

Para mayor facilidad se tabularán todos los resultados de la curva.

ESTACION	N	N <sup>2</sup>	COTAS EN LA TANGENTE	Y	COTAS EN LA CURVAS
6 + 920	0	0	18.742	0.000	18.742
6 + 940	1	1	18.422	0.010	18.432
6 + 960	2	4	18.102	0.040	18.142
6 + 980	3	4	17.782	0.090	17.872
7 + 000	4	16	17.462	0.160	17.622
7 + 020	5	25	17.142	0.250	17.392
7 + 040	6	36	16.822	0.360	17.182
7 + 060	7	49	16.502	0.490	16.992
7 + 080	8	64	16.182	0.640	16.822
7 + 100	9	81	15.862	0.810	16.672
7 + 120	10	100	15.542	1.000	16.542
7 + 140	11	121	15.222	1.210	16.432
7 + 160	12	144	14.902	1.440	16.342
7 + 180	13	169	14.582	1.690	16.272
7 + 200	14	196	14.262	1.960	16.222
7 + 220	15	225	13.942	2.250	16.192
7 + 240	16	256	13.622	2.560	16.182

o

### Sección Transversal

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

En las figuras 3 y 4 se muestran las diferentes secciones tanto para corte como para terraplén con sus respectivas especificaciones.

### Tipos de coronas

#### Para terraplén

El ancho de la sub-corona (terracerías) será de 6.60 metros y la corona del balastado de 3.04 metros, con 38 centímetros de espesor y con un talud de 2:1. El talud de las terracerías recomendado por geotecnia fué de 1.5:1

#### Para corte

El ancho de la sub-corona será de 5.76 metros y la corona del balastado de 3.04 metros, con 38 centímetros de espesor y con un talud de 2:1. El talud de corte recomendado por geotecnia fué de 0.5:1. Tendrá cunetas a ambos lados de la cama con una separación entre sí de centro a centro de 6.96 metros. El talud hacia el lado de la vía será de 2:1 y hacia el otro lado el talud propio del corte.

### Sobre-elevación

Con el fin de contrarrestar la tendencia de los vehículos a deslizarse lateralmente al pasar éstos por una curva, debido

a la fuerza centrífuga, se procede a elevar la curva por su lado exterior (ya que la fuerza centrífuga provoca mayor presión sobre este lado del riel) con lo cual se provoca igualar las presiones de las ruedas del equipo, a esta elevación en la curva se le conoce con el nombre de sobre-elevación.

Si la sobre-elevación es escasa, el riel exterior tendrá un desgaste excesivo por su parte interna debido al empuje lateral de los trenes; por el contrario, si esta sobre-elevación es excesiva el riel interior sufrirá mayor desgaste debido a que soportará mayores cargas. Mientras mayor sea la velocidad a que circulen los trenes por una curva, mayor deberá ser la sobre-elevación. Por otro lado, la sobre-elevación deberá ir aumentando conforme aumente el grado de curvatura.

La sobre-elevación no debe proporcionarse en forma brusca porque esto originaría un balanceo brusco del equipo, aún a bajas velocidades, para esto se hace un cambio gradual de la sobre-elevación en las curvas circulares; este cambio gradual se hace sobre la tangente en proporción de 1.3 cms. (1/2") por cada 10 metros (33') de manera que al comenzar la curva se tenga ya la sobre-elevación completa.

La fórmula empleada para el cálculo de la sobre-elevación es la que aparece en el Reglamento de Conservación de Vías y Estructuras para los Ferrocarriles Mexicanos.

$$e = 0.001016 v^2 G$$

Donde: e = sobre-elevación en centímetros

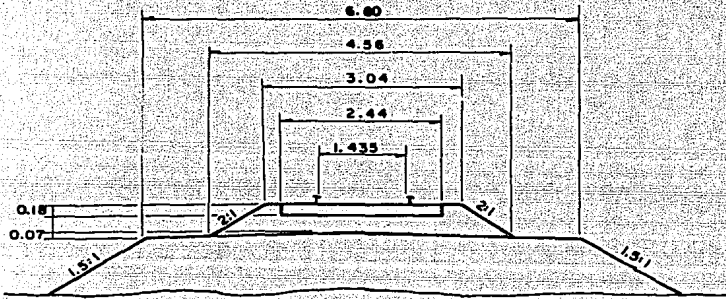
v = velocidad en kilómetros por hora

g = grado de la curva para cuerdas de 20 m.

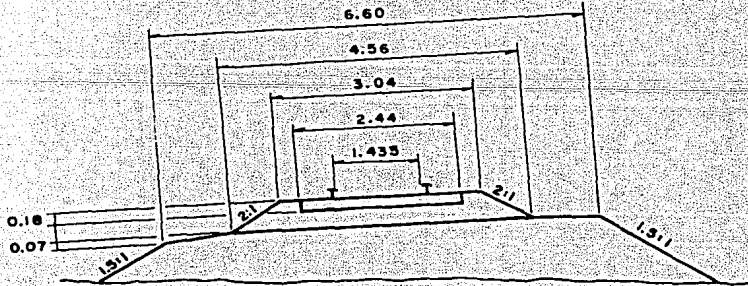
También se cita a continuación la tabla para sobre-elevación del riel exterior, para vía ancha del Reglamento citado anteriormente.



TIPOS DE CORONAS PARA TERRAPLEN EN VIAS



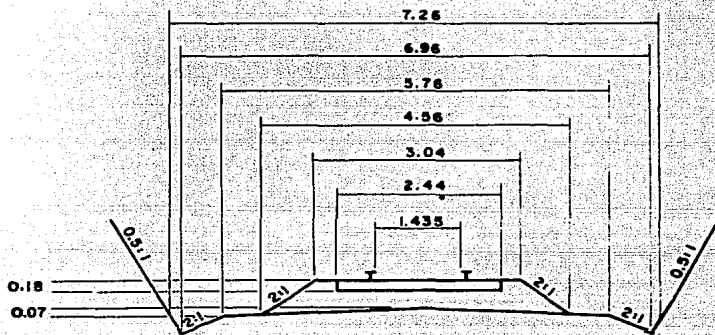
TERRAPLEN EN TANGENTE



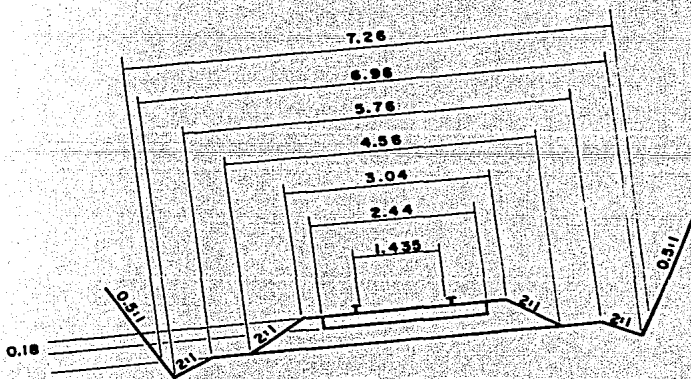
TERRAPLEN EN CURVA



TIPOS DE LECHOS PARA CORTES EN VIAS



CORTE EN TANGENTE



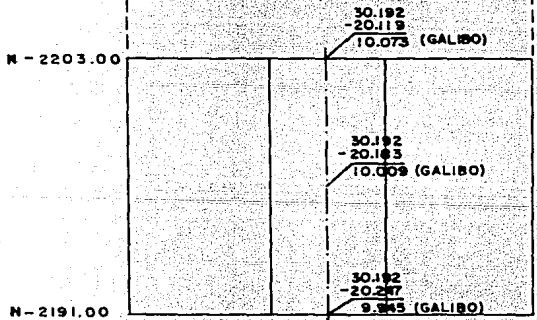
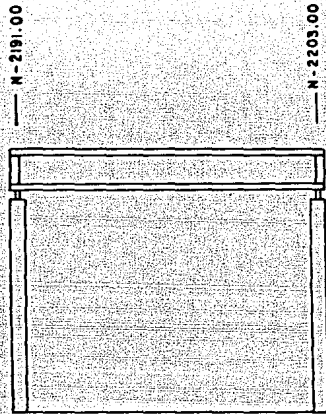
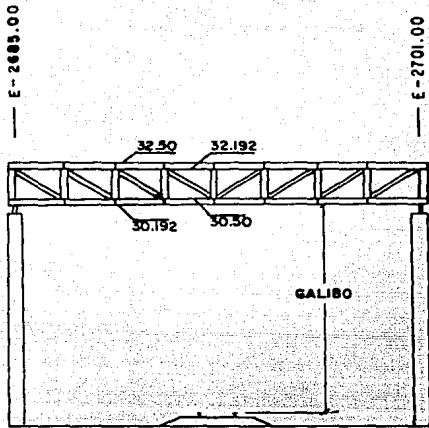
CORTE EN CURVA

Galibo para puentes.

Debido a que la vía del ferrocarril vá a cruzar tres puentes de los racks de tuberías (norte, centro y sur) en los kilómetros 6+625.065, 6+863.065 y 7+187.065 de la vía principal, - los cuales tienen un ancho de 12 metros y que llegarán al sistema de desfogue y quemado, fué necesario determinar una altura que no debería ser ocupada por ningún elemento de la superestructura, por lo que el galibo mínimo especificado fué de -- 7.00 m.

El galibo anteriormente citado se mide a partir de la elevación del hongo del riel, enseguida se muestra la sección de galibo para el Rack centro, como en esta parte de la vía se encuentra en curva vertical, en la planta se muestran las diferentes elevaciones en 3 puntos de la misma, las cuales cumplen lo anterior.

SECCION DE GALIBO  
RACK CENTRO



KM 6+867.065

KM 6+863.065

KM 6+859.065



### 3.1.4 Vías auxiliares

Se les menciona así al desvío de la vía principal hacia una de ladero y/o espuela, llamándosele ladero a la vía auxiliar conectada en sus dos extremos a una principal ó a otra auxiliar y espuela a la vía auxiliar conectada solamente en un extremo a una principal ó a una de ladero.

Dentro del complejo se encuentran tres laderos y una espuela, un ladero comienza en el KM 4+984.166 con una longitud de 1059.26 metros, el cual conectará a la vía principal con el peine de vías en las llenadoras de carros-tanque.

Otro ladero comienza en el KM 7+291.574 con una longitud de 719.23 metros, que conectará a la vía principal con la bodega de polipropileno.

El tercer ladero que conectará a la vía principal con el almacén de materias primas, comienza en el KM 8+070.581 y contará con una longitud de 192.99 metros.

La única espuela que se tendrá en el complejo, comienza en el KM 0+474.005, del ladero que conecta a la bodega de polipropileno; esta espuela se conectará a los silos que almacenarán polietileno y tendrá una longitud de 397.22 metros.

### 3.1.5 Equipo tractivo y rodante

El equipo tractivo está constituido por los diferentes tipos de locomotoras empleadas dentro del complejo debido a que las velocidades permitidas son bajas y a que se necesita gran fuerza de tracción, se emplean locomotoras diesel-eléctricas para servicio de patio, las cuales nos proporcionan también una visibilidad perfecta en ambos sentidos; las potencias usuales de estas locomotoras son del orden de 600,800 y 1100 H.P.

En este tipo de locomotoras se tienen tres partes principales.

- a) El motor diesel
- b) El generador
- c) los motores de tracción

El motor diesel es el que produce la energía, la cual es transformada por el generador (conectado directamente al motor diesel en energía eléctrica, la cual es transmitida a los motores de tracción para así accionar las ruedas motrices a través de un tren de engranajes. El generador está proyectado para que pueda producir simultáneamente, tanto corriente continua para los motores de tracción, como corriente alterna para iluminación, motores eléctricos, etc.

La locomotora que se vá a emplear en el complejo es la General Electric con una potencia de 800 H.P., las características de la misma se presentan en la figura.

El equipo rodante a emplear lo constituyen los vehículos para carga, entre los que tenemos furgones de carga de diferen

tes capacidades desde 50,000 Kg., carros plataforma y carros --tanque para el transporte de óxido de etileno con una capacidad de 20,000 galones; las características de este último se presentan en la figura.

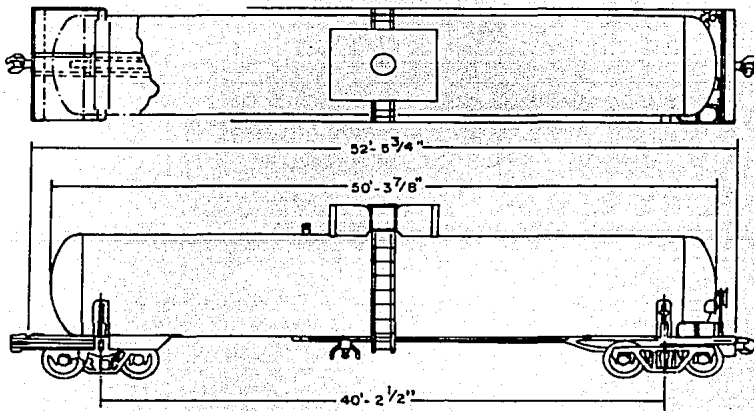
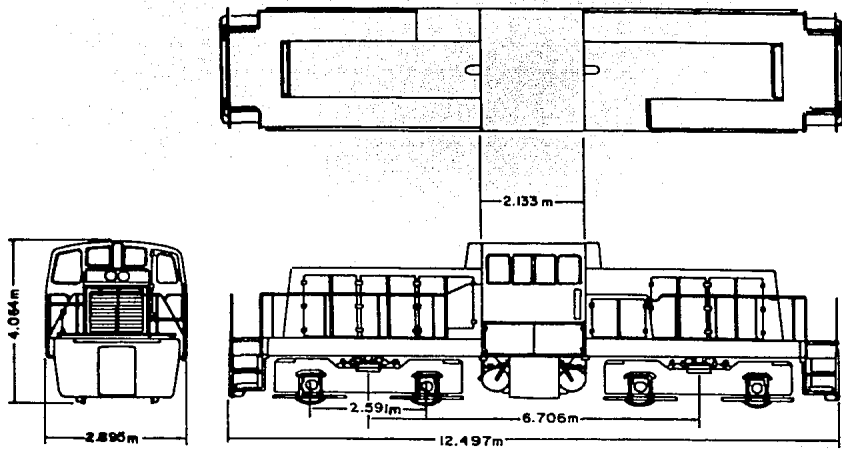
Para obtener un previsible comportamiento de los equipos --que se pretenden operar es necesario conocer las fuerzas que --van a actuar en éstas.

La fuerza en el movimiento de los cuerpos es la causa de --la aceleración y la resistencia es cualquier fuerza en oposi---ción o retardante.

En todos los casos en que la fuerza es mayor que la resistencia, la carga se acelerará. A medida que la aceleración continúa, la velocidad aumenta, la fuerza tractiva disminuye y la resistencia aumenta hasta que lleguen a igualarse. En este punto se obtiene la "velocidad de equilibrio". Las fuerzas de oposición que actuarán en los equipos son las siguientes:

#### Resistencia al rodamiento

La resistencia al rodamiento de las locomotoras y equipo --de arrastre es producto de varios factores variables (peso, velocidad, tamaño, tipo de cojinetes, configuración, viento, temperatura, etc.) y solamente por pruebas puede determinarse con exactitud. Los cálculos para determinar el comportamiento del --equipo en general, deben poderse determinar en forma práctica.-- Entre las distintas fórmulas que se emplean para calcular la resistencia de un tren, la más conocida y universalmente aceptada es la desarrollada por W.J. Davis.





$$R = 1.3 + \frac{29}{\omega} + 0.045*V + \frac{0.0005*AV^2}{\omega n}$$

Donde: R= Resistencia en Lbs/tonelada en vía recta a nivel

$\omega$  = Peso por eje en toneladas

n = Número de ejes por carro

A = Sección transversal del carro en pies cuadrados

V = Velocidad en millas por hora.

\* estos factores son para carros de carga, para locomotoras -- Diesel eléctricas son 0.03 y 0.0024 respectivamente.

En la fórmula, la expresión  $1.3 + \frac{29}{\omega}$  representa la resistencia de la superficie del muñón y chumaceras ;  $0.045V$  representa la resistencia de las cejas ; y  $\frac{0.0005*AV^2}{\omega n}$  representa la resistencia del aire.

#### Resistencia por pendiente

La carga transmitida por las ruedas sobre una vía en pendiente, produce una componente horizontal prácticamente igual al peso multiplicado por la pendiente, o sea por cada uno por ciento de pendiente, la resistencia es de 20 Lbs/ton.

Conociendo la elevación y la distancia recorrida, la resistencia por pendiente queda expresada por la fórmula.

$$\frac{\text{Elevación} \times 100}{\text{Distancia recorrida}} \times 20 \text{ Lbs/ton.}$$

#### Resistencia por curvatura

La construcción de la vía, la velocidad, el largo y peso del tren y otros factores hacen imposible dar una fórmula para

encontrar la resistencia debida a las curvas en un tramo de --  
vía.

Las ruedas del equipo tractivo y de arrastre van rígida--  
mente montadas a sus ejes, de tal manera que al entrar a una -  
curva existe la necesidad de que la rueda que pisa el riel ex--  
terior recorra una distancia mayor que la rueda que pisa el --  
riel interior. Esta condición se ajusta automáticamente gra--  
cias a la conicidad de la pisada de las ruedas, que provoca un  
deslizamiento del eje. Esto dá lugar a una resistencia adicio--  
nal sobre todo porque el ajuste mencionado es generalmente in--  
suficiente y se provoca un deslizamiento de ambas ruedas.

El efecto de los grados de curvatura en la resistencia al  
movimiento del tren se ha determinado por medio de pruebas. Pa--  
ra fines prácticos se considera que un grado de curvatura ofre--  
ce la misma resistencia al movimiento del tren que una pendien--  
te del 0.05%; ésto equivale a 1 libra/ton. por cada grado de -  
curvatura.

## 3.2 Estudios de campo

Los estudios de campo que se realizaron para la construcción del Complejo Petroquímico Morelos, son los que se emplearon para la construcción de la vía del ferrocarril.

### 3.2.1 Topografía

Para el trazo y localización de las diferentes obras que realiza Petróleos Mexicanos en el área, cuenta con un sistema de coordenadas local de construcción el cual tiene origen en el Complejo Petroquímico Pajaritos en mojonera colocada al oriente de la planta de Etileno. Referidos a este sistema, el Complejo Petroquímico Morelos se encuentra en el primer cuadrante, por lo que sus coordenadas son al norte y al este. En esta mojonera se encuentra también localizado el banco de nivel, con elevación 8.630 M.S.N.M.

La localización se efectuó por procedimientos fotogramétricos y reconocimientos terrestres. El levantamiento se llevó a cabo con diferentes brigadas simultáneamente, el control azimutal se efectuó con orientaciones astronómicas por el método de "distancias zenitales del sol" empleando un teodolito T1 -- con una precisión de  $\pm 6$  segundos, un termómetro (que registra la temperatura a la sombra) y un radio de onda corta para obtener la hora del meridiano  $90^\circ$  de Greenwich. Estas observaciones se realizaron en la mañana entre las 8 y 10 horas y a mediodía entre las 14 y 16 horas.

Para la medición de las distancias entre vértices de la poligonal se utilizó un distanciómetro electrónico RED 1A con un alcance de 3 kilómetros y una precisión de  $\pm 1$  centímetro, junto con un prisma circular.

Para la nivelación de precisión se utilizó un nivel automático NA2 con micrometro de placa planoparalela montado sobre el objetivo y estadales Filadelfia.

Para el trazo de la vía se realizará un estacado perfectamente alineado con teodolito, sobre la línea del proyecto, hincándose trompos a ras de piso, con una longitud mínima de 20 cm. y espaciados entre sí cada 20 metros, colocándose además una estaca testigo por cada trompo, sobresaliendo del terreno 30 cm., dicha estaca se coloca perpendicularmente al eje del trazo del lado izquierdo del sentido del levantamiento y a una distancia de 50 cm.

El trazo quedará referenciado por los puntos de inflexión los puntos de curva y por los puntos sobre tangente, espaciados equidistantemente entre puntos extremos de la tangente con una distancia aproximada de PST a PST de 500 metros.

Paralelamente a estos trabajos se establecerán los bancos de nivel que servirán para el control altimétrico de las nivelaciones del eje y de las secciones. El espaciamiento de los bancos de nivel a lo largo del eje del trazo será de 500 metros aproximadamente y quedarán a una distancia perpendicular del eje del trazo de 15 metros.

### 3.2.2 Geotecnia

Con el objeto de contar con la información necesaria para el proyecto de la integración de plantas del Complejo Petroquímico Morelos, se realizó un estudio general del subsuelo. Este estudio se apoya en 16 sondeos distribuidos en el área y en -- los ensayos de laboratorio practicados en muestras recuperadas

Los sondeos son del tipo mixto, combinando el procedimiento de penetración estandar con muestreo inalterado mediante doble barril Denison o tubo dentado a rotación en suelos de alta consistencia y Shelby hincado a presión en suelos de consistencia blanda. Las muestras obtenidas con estos procedimientos -- fueron de 10 cm. de diámetro.

El procedimiento de penetración estandar se realizó con--forme a la norma ASTM D-1586, obteniendo muestras alteradas representativas y midiendo la resistencia a la penetración.

Por medio de las pruebas de laboratorio a todas las muestras se les determinó:

- a) Grupo del Sistema Unificado de Clasificación de suelos
- b) contenido de agua. W

A muestras de suelos típicos se les determinó además

- c) límites de consistencia líquido y plástico,  $W_L$  y  $W_p$  y
- d) Composición granulométrica y porcentaje de partículas finas. (fracción que pasa la malla No. 200)

En adición a nuestras inalteradas seleccionadas se les determinó:

- e) Resistencia en compresión no confinada, qu

f) resistencia al corte en compresión triaxial de los tipos: no consolidada - no drenada, Cq ; consolidada - no drenada, Sr ; y consolidada - drenada, Sl.

g) compresibilidad en consolidación unidimensional, y

h) peso específico relativo, Ss.

Del análisis e interpretación de los resultados de la exploración de campo y de los ensayos de laboratorio, se determinó que hasta las profundidades exploradas, el subsuelo está compuesto por dos unidades principales.

La primera unidad (Unidad I) está constituida por suelos residuales que se extienden en toda el área del complejo, aflora en las partes topográficamente prominentes (cerca de la cota 20.0m), quedando cubierta en las zonas bajas por la segunda unidad (Unidad II), formada por depósitos aluviales.

Unidad I.

En los suelos residuales de esta unidad se distinguen cuatro estratos principales, cuyas propiedades se resumen en la tabla I .

Estrato 1. Arcilla de alta plasticidad (CH) con arena fina, de consistencia media a firme, es de color anaranjado con manchas y capas aisladas amarillas, café y gris.

Estrato 2. Arcilla de plasticidad media a alta (CL y CH) con arena fina en proporción variable y capas intercaladas de suelos limo-arenosos y areno-limosos. Es de color café claro y café amarillento con manchas rojizas y anaranjadas. Su consistencia aumenta con la profundidad de blanda a muy dura, por lo que en cuanto a sus propiedades se ha dividido en los substratos 2a, 2b y 2c.

Estrato 3. Formado por suelos arcillosos y limosos muy duros - de color gris claro con arena fina y fósiles marinos, --- fuertemente cementados con carbonato de calcio.

Estrato 4. Arena arcillosa (SC) de color gris verdoso, muy compacta y cementada con carbonato de calcio, conteniendo fósiles marinos y poca grava fina.

TABLA 1

Sondeo	Coordenadas*		Elevación*	Longitud	Profundidad**
	N (m)	E (m)	brocal (m)	(m)	del NF (m)
SM-4471	1700	470	21.70	21.10	3.40
SM-4472	1865	780	5.04	25.03	0.35
SM-4473	1850	1165	13.63	34.85	0.00
SM-4474	2578	1089	16.63	28.35	7.80
SM-4475	2660	1090	5.31	26.85	0.00
SM-4476	2550	1500	13.81	24.35	2.85
SM-4477	2710	1590	34.07	35.10	11.25
SM-4478	2700	1510	30.34	29.32	8.75
SM-4479	2870	1430	23.00	23.70	0.20
SM-4480	3050	1310	32.60	30.25	10.25
SM-4481	3050	1630	28.94	29.90	9.50
SM-4482	3000	1915	16.63	29.35	7.50
SM-4483	2950	2460	5.00	25.75	0.30
SM-4484	2800	2935	4.67	22.80	0.00***
SM-4485	2300	2920	11.07	25.75	0.00***
SM-4486	1980	2970	13.96	28.60	0.00

\*Datos proporcionados por el Depto. de Geotecnia de PEMEX

\*\*Medido durante y después de la ejecución de los sondeos - hasta estabilizarse el nivel.

\*\*\*En estos sondeos se encontró artesianismo con baja presión a partir de 6.4m (SM-4484) y de 5.6m (SM-4485).



## Unidad II

Los depósitos aluviales que la forman son mezclas de suelos finos y arena, distinguiéndose dos estratos principales, - uno preferentemente arcilloso en la superficie (Estrato A) y - otro arenoso (Estrato B) bajo aquél, las propiedades se resumen en la tabla II.

Estrato A. Arcilla arenosa, CL y CH, muy blanda a medianamente firme y arena arcillosa, SC, de baja compacidad, en capas intercaladas de colores gris y café. Erráticamente contiene materia vegetal en descomposición, que se presenta en forma de inclusiones pequeñas y bolsas aisladas. En general el estrato es de baja resistencia al esfuerzo cortante y de compresibilidad media a alta.

Estrato B. Arena arcillosa, SC y arena limosa SM, de compacidad irregular, media a alta con algunas lentes sueltas; - la arena es de cuarzo, de granulometría fina a media con bajo contenido de arena gruesa y de grava fina; al igual que el estrato A, presenta un contenido errático de materia orgánica. Los suelos se presentan en capas de colores gris y café.

En cuanto al nivel freático, su profundidad en el área -- del complejo varía con la topografía y con las épocas de lluvia y estiaje. Los niveles medidos durante la exploración pueden estar afectados por corrientes internas, evidenciadas por la presencia de veneros en algunas partes bajas del terreno.



TABLA 2. RESUMEN DE PROPIEDADES DEL SUBSUELO DE LA UNIDAD I

PROPIEDAD	ESTRATO 1	ESTRATO 2			ESTRATO 3	ESTRATO 4
		2a	2b	2c		
HS (m)	28.9 a 34.1	24.8 a 32.8	6.6 a 26.9	-6.3 a 23.5	-12.8 a 20.3	-6.1 a 10.7
E (m)	0.7 a 4.1	5.5 a 9.5	1.1 a 7.0	1.7 a 8.2	2.0 a 18.0	>8.9
N (golpes)	2 a 9	0 a 18	17 a 35	>50	>50	>50
W %	30 a 48	34 a 56	30 a 45	26 a 44	20 a 45	15 a 35
WL %	56	54 a 75	54 a 81	40 a 62	36 a 77	-
WP %	27	22 a 35	25 a 36	19 a 30	17 a 27	-
F %	65	62 a 100	65 a 100	62 a 97	53 a 100	11 a 46
S <sub>e</sub> (ton/m <sup>3</sup> )	2.59 a 2.72 0.86 a 1.46 1.68 a 1.91	2.55 a 2.68 1.04 a 1.40 1.70 a 1.80	2.53 a 2.66 0.75 a 1.05 1.70 a 1.90	2.54 a 2.64 0.53 a 1.05 1.77 a 2.06	2.54 a 2.69 0.53 a 1.04 1.82 a 2.11	2.56 a 2.66 0.51 a 0.90 1.87 a 2.17
q <sub>u</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	5.8 a 14.9	5.2 a 13.5	7.2 a 15.1	11.3 a 58.6	20.7 a 198.7	-
c <sub>q</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	-	5.4 a 11.6	6.7 a 9.4	10.5 a 26.5	56.5 a 117.5	-

HS, elevación del horizonte superior del estrato.

E, espesor del estrato

El nivel freático varía entre las Elevs. 11.0 a 22.8 m

## Hidrología

Las condiciones regionales que se encuentran fueron obtenidas de las estaciones climatológicas que se localizan en diversos puntos de la región, los cuales se mencionan a continuación:

Vientos: Dirección vientos reinantes de NE a SW  
Dirección vientos dominantes de Norte a Sur  
Velocidad: Media 12 Km/h  
Máxima 165 Km/h  
Diseño 200 Km/h

Precipitación pluvial: Máxima en una hora 90 mm  
Máxima en 24 horas 440 mm  
Máxima en 30 días 880 mm  
Media anual 3100 mm

Temperatura: Máxima 42.0°C  
Mínima 11.8°C  
Media anual máxima 38.6°C  
Media anual mínima 13.8°C  
Media mensual máxima 41.5°C  
Media mensual mínima 12.0°C

Humedad: Media mensual máxima 95%  
Media mensual mínima 50%  
Media anual 82%

Atmósfera: Presión barométrica máxima	1022.9 milibarios
Presión barométrica media	1010.0 milibarios
Presión barométrica mínima	997.1 milibarios
Presión atmosférica	750.0 mm Hg.
Corrosión atmosférica	Corrosión por contami- nación atmosférica --- (brisa marina) SO <sub>2</sub> y - SO <sub>3</sub>

*CAPITULO*

*CUARTO*

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

## 4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

### 4.1 Subestructura

A lo largo de toda la vía, el terreno natural varía de diferentes formas, desde zonas planas hasta partes con inclinación pronunciada, lo que ocasiona que existan volúmenes a mover tanto para corte como para terraplén. Pevio a estas operaciones se realizan los siguientes trabajos:

Desmante.

Consiste en retirar la vegetación existente en el derecho de vía con el fin de alojar los cortes y terraplenes, evitar la presencia de materia vegetal en la obra, impedir daños a la misma y permitir buena visibilidad de acuerdo a lo fijado en el proyecto. Las operaciones de desmante podrán hacerse a mano o con máquina, se realizará a mano cuando el lugar sea inaccesible para la maquinaria o cuando el sitio esté alejado o aislado, ya que resulta más económico que emplear maquinaria. Además el desmante deberá estar terminado cuando menos un kilómetro adelante del frente de ataque de las terracerías.

Despalme.

Consiste en la extracción y el retiro de la capa superficial del terreno natural que por sus características, sea inadecuado para los rellenos y las terracerías, así como para el desplante de terraplenes y estructuras. El despalme se ejecutará solamente en material A y deberá haberse terminado dentro de los 500 metros contiguos adelante de cada frente de ataque de las terracerías.

#### 4.1.1 Cortes

Se entiende por cortes las excavaciones a cielo abierto para formar la sección de la obra, la cual quedará alojada abajo del terreno natural. Se consideran también como cortes la ampliación o abatimiento de taludes, extracción de derrumbes, etc.

Los materiales de cortes, de acuerdo con la dificultad que presentan para su extracción y carga, se clasificarán tomando como base los 3 tipos siguientes:

##### Material A

Son los suelos agrícolas, los limos, las arenas y cualquier material blando o suelto y los poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.6 centímetros (3"), que pueden ser eficientemente excavados con motoescrepa de 90 a 110 caballos de potencia sin auxilio de arados o tractores empujadores, aun que ambos se utilicen para obtener mayores rendimientos.

##### Material B

Los materiales más comunmente clasificables en este tipo son las rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas, tepetates y las piedras sueltas menores de 75 centímetros y mayores de 7.6 centímetros, que por la dificultad de extracción y carga, sólo pueden ser excavados eficientemente por tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable, de 140 a 160 caballos de potencia, sin el uso de arado o explosivos, aunque por conveniencia se utilizan éstos para aumentar el rendimiento.

### Material C

Lo constituyen principalmente las rocas basálticas, las areniscas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos, andesitas sanas y las piedras sueltas con una dimensión mayor de 75 centímetros, que por la dificultad de su extracción, solo pueden ser excavados mediante el empleo de explosivos.

### Ejecución.

Las excavaciones en los cortes se ejecutarán siguiendo un sistema de ataque que facilite su drenaje natural, construyendo las cunetas para que desagüen, sin perjudicar los terraplenes. Los materiales obtenidos de los cortes serán empleados en la formación de terraplenes o si no tienen uso serán enviados a los bancos de desperdicio.

En los cortes para la formación del terraplén de la línea del ferrocarril, la excavación se llevará a una profundidad de 30 cm. abajo de la capa subrasante de proyecto para formar la cama.

Antes de iniciar los cortes en los tramos de terracerías compensadas, la construcción de alcantarillas y/o muros de sostenimiento siempre deberá haberse terminado dentro de los 500-metros contiguos adelante de cada frente de ataque.

Cuando por sus características, el material producto de los cortes no sea adecuado para la formación de los terraplenes, éstos se realizarán con materiales de préstamos, los cuales pueden ser laterales o de banco.

#### 4.1.2 Terraplenes

Son las terracerías cuya sección queda alojada arriba del terreno natural. Se consideran también como tales, el tendido de los taludes, el relleno de excavaciones adicionales abajo de la sub-rasante, en cortes, etc.

Los materiales que se emplean en la construcción de los terraplenes serán aquellos que provengan de cortes y/o de préstamos. Para fines de la formación de los terraplenes, los materiales que se empleen en la construcción de los mismos se clasificarán de la siguiente manera:

- a) Material no compactable
- b) Material compactable

**Material no compactable.** Son los materiales susceptibles de acomodarse por bandeado de tractor, o con equipo de construcción; son los fragmentos de roca provenientes de mantos sanos, tales como: basaltos, conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos, andesitas, etc., dependiendo de su tamaño se clasifican en medianos y chicos. Los medianos son aquellos mayores de 20 cm. y menores de 75 cm., con menos de 10% de fragmentos mayores o de suelo. Los chicos son los mayores de 7 cm. y menores de 20 cm. con menos de 10% de fragmentos medianos o de suelo.

Cualquiera de los materiales enunciados anteriormente pueden utilizarse en el cuerpo del terraplén, tendidos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores. No deben emplearse en la capa subrasante.

**Material compactable.** Son los materiales compactables con equipo, son los suelos con partículas menores de 7.6 cm (3") se --



clasifican también dependiendo del tamaño, en partículas gruesas y partículas finas.

Las partículas gruesas son aquellas en que más de la mitad del material se retiene en la malla No. 200 y son las gravas y arenas; las gravas y arenas pueden ser limpias en las que menos del 5% pasa la malla No. 200 y con finos en los que más del 12% pasa la malla No. 200, estos materiales deben ser compactados al 90% en el cuerpo del terraplén y al 95% en la capa subrasante.

Las partículas finas son aquellas en que más de la mitad del material pasa la malla No. 200 y son los limos y las arcillas, cuyo límite líquido hasta 100%, pueden emplearse como los anteriores, si el límite líquido es mayor de 100%, son sueltos altamente orgánicos y no deberán usarse.

Cuando se empleen rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates, en los cuales se tenga duda, éstos se someterán a la siguiente prueba

Se tenderá una capa del espesor que permita el tamaño máximo del material, la cual no deberá ser menor de 30 cm., en todo el ancho del terraplén y en 20 metros de longitud.

Se regará agua sobre la capa, en cantidad aproximada de 100 litros por metro cúbico de material.

Se someterá la capa regada al tránsito de un tractor de orugas con garra y peso de 20 toneladas, pasando 3 veces por cada uno de los puntos que forman la superficie.

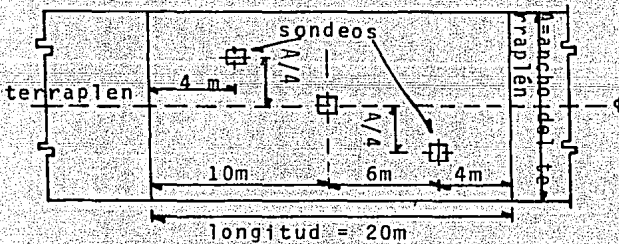
Se realizarán sondeos a cielo abierto en los 20 cm. superiores de la capa, con volumen aproximado de medio metro cúbico.

co en cada sondeo.

El material producto de los sondeos deberá tener como máximo un 20% en volúmen, de material retenido en la malla de 76 milímetros (3").

El material retenido deberá contener como máximo, al 50% del volúmen total de fragmentos de roca mayores de 15 cm. (6").

Se tomará el promedio de los resultados en 3 sondeos efectuados en distintos lugares, el primero a cuatro metros del lado extremo medidos en el sentido del eje de 20 metros, con centro a una distancia de dicho eje igual a un cuarto de la longitud del eje normal; el segundo en el centro geométrico del área compactada y el tercero sobre la prolongación de la recta definida por los centros de los dos sondeos anteriores, en posición diagonalmente opuesta al primero y a la misma distancia que éste del sondeo central, como se muestra en la figura.



## Ejecución

Siempre que la topografía del terreno lo permita, los terraplenes se construirán por capas sensiblemente horizontales en todo el ancho de la sección, el espesor de las capas dependerá del tipo de material a utilizar, como se indicó anteriormente.

En caso contrario si la topografía del terreno presenta lugares inaccesibles para el equipo de construcción, como depresiones profundas y angostas o laderas muy pronunciadas, donde no sea posible la construcción por capas compactadas o acomodadas en toda la altura del terraplén, éstas se rellenarán a volteo hasta la mínima altura necesaria, para formar una plantilla constituida por la corona del terraplén parcialmente formado, en la que se pueda operar el equipo, prosiguiendo con la construcción por capas compactadas de ese nivel en adelante.

La compactación de los terraplenes se realizarán uniformemente en todo el ancho de la sección, al grado de compactación requerida que es al 85 y 95 por ciento del peso volumétrico seco máximo Próctor estándar, aplicando al material uniformemente la humedad requerida.

Cuando el material contenga mayor grado de humedad que el óptimo, antes de iniciar la compactación, se eliminará el agua exedente, volteando el material con movimiento lento y diagonal de la motoconformadora, para orearlo hasta que adquiera el grado de humedad adecuado para su compactación.

Con el fin de obtener una mejor liga entre las capas de material, efectuada la compactación de una de estas, su superficie se escarificará y se agregará agua si es necesario, an

tes de tender la siguiente capa.

La capa subrasante deberá tener como mínimo 30 cm. de espesor, la cual se irá formando con una o varias capas de material.

Con el objeto de lograr que con el equipo de compactación se alcance el grado de compactación señalado anteriormente, en toda la sección del terraplén, lo cual no es posible obtener en las orillas, éste se construirá con una corona más ancha -- que la teórica del proyecto y con un talud diferente, que se encontrará con el talud teórico del proyecto en la línea de los ceros, obteniéndose así las cuñas laterales de sobre ancho en los cuales la compactación podrá ser menor que la fijada. En el proyecto se incluirá las dimensiones de las cuñas de sobre ancho, las que serán recortadas una vez que se haya terminado la construcción del terraplén, dejando el talud debidamente afinado. El material resultante del recorte de las cuñas de sobre ancho, se extenderá uniformemente sobre el talud hasta el pie de los terraplenes, sin obstruir la sección de drenaje.

Cuando se emplean materiales no compactables en la construcción de los terraplenes, al formar las capas, en cada una el material se acomodará con 2 tránsitos de tractor con peso de 20 toneladas, avanzando y retrocediendo la máquina con movimiento roncoado. El terraplén se formará hasta una elevación tal en que no queden salientes aisladas a menos de 30 cm. abajo de la subrasante de proyecto. Los terraplenes se terminarán hasta subrasante.

En cortes con excavación adicional abajo de la subrasante ésta se obtendrá construyendo un terraplén de relleno sobre la cama, empleando para ello los materiales adecuados.

Cuando en la formación del terraplén se empleen 2 o más materiales, éstos se mezclarán en seco con el objeto de obtener un material uniforme.

Para el mezclado y el tendido se empleará motoconformadora, la cual extenderá el material y se procederá a incorporar le agua por medio de riegos y mezclados sucesivos, para alcanzar la humedad fijada y hasta obtener homogeneidad en granulometría y humedad. A continuación se extenderá en capas sucesivas de materiales sin compactar, cuyo espesor no deberá ser mayor de 15 centímetros.

Cada capa extendida se compactará hasta obtener el grado fijado, sobreponiéndose las capas hasta obtener el espesor y sección fijados en el proyecto. Durante el tiempo que dure la compactación se darán riegos superficiales de agua, con el fin de compensar la pérdida de humedad por evaporación.

En las tangentes, la compactación se iniciará de las orillas hacia el centro y en las curvas, de la parte interior de la curva hacia la parte exterior.

No deberá iniciarse la construcción de terraplenes antes de terminarse las alcantarillas y muros de sostenimiento ordenados, la construcción de los cuales deberá ir por lo menos -- 500 metros adelante de las terracerías.

#### Determinación de volúmenes

Conocidas todas las áreas en cada una de las secciones, se procede a calcular los volúmenes de las terracerías, ya sea en corte o en terraplén, el volumen de material se calcula por tramos entre secciones consecutivas a cada 20 metros o menos -

si la configuración del terreno así lo requiere, calculando -- por el método del promedio de áreas extremas, en la cual tenemos que:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} d$$

d es la distancia y es igual a 20 metros por lo que nos queda:

$$V = (A_1 + A_2) 10$$

Esta fórmula nos facilita mucho los cálculos debido a su sencillez, aunque no es muy exacta es aceptable, ya que por lo general dá valores más grandes para los volúmenes. Para poder llevar un control se ordenan en una tabla y se procede a calcular los volúmenes de terracería.

Los volúmenes producto de corte se verán afectados por su coeficiente de abudamiento ya que el material al excavar y extraerse aumenta de volumen; este coeficiente es dado por geotecnica y el cual es de 1.2

Cuando una de las áreas sea igual a cero, como en el caso de los puntos de paso de corte a terraplén o viceversa, el volumen será el área de la otra sección dividida entre dos y multiplicada por la distancia entre las secciones.

En los puntos de paso se debe tener cuidado, ya que si el terreno es inclinado, aunque en el eje no haya movimiento de material, si existe área en corte y en terraplén en ese punto, una se promediará con la sección de atrás y la otra con la de adelante.

Enseguida se dan los volúmenes de corte y de terraplén en los diferentes kilometrajes.

KILOMETRAJE	volúmen de corte (m <sup>3</sup> )	volúmen de terraplén (m <sup>3</sup> )
VIA PRINCIPAL		
5+000-5+500	32807	-----
5+500-6+000	74697	-----
6+000-6+500	28729	334
6+500-7+000	28360	292
7+000-7+500	4772	2068
7+500-8+000	2288	28015
8+000-8+263	17754	3373
ESPUELA A BODEGAS		
0+000-0+500	7876	15895
0+500-0+870	20791	3889
ESPUELA A CARROS TANQUE		
0+000-0+500	1874	10697
0+500-1+059	24911	8902
TOTAL:	244859	73465

VOLUMENES DE CORTE Y TERRAPLEN

### Curva Masa

Mediante una gráfica representamos a la curva masa, en donde las abscisas representan el cadenamiento y las ordenadas los volúmenes de excavación o relleno, los volúmenes que se van obteniendo se van acumulando y para esto consideramos positivos los cortes y negativos los terraplenes.

Como en las abscisas tenemos las estaciones del cadenamiento, se dibuja de izquierda a derecha y como los volúmenes de corte aumentan el valor de las ordenadas por tener signo positivo, resulta que la curva masa sube de izquierda a derecha en los cortes, teniendo un máximo en el límite donde termina el corte. A partir de ese punto, baja de izquierda a derecha ya que los volúmenes de los terraplenes hacen disminuir el valor de la ordenada, que seguirá decreciendo hasta donde termina el terraplén y empieza el corte.

Obtenida la gráfica, trazamos la línea de compensación, la mejor línea de compensación es aquella que corta el mayor número de veces a la curva masa, ya que da los acarrees mínimos.

Cuando la curva queda encima de la línea compensadora, los acarrees de material se harán hacia adelante y cuando la curva queda debajo, los acarrees serán hacia atrás.

El área comprendida entre la curva masa y la línea compensadora, es el producto de un volumen por una distancia y nos representa al volumen por la longitud media de acarreo, lo que se expresa en metros cúbicos estación.



## Drenaje

El objetivo del drenaje es el de controlar las aguas que lleguen a la vfa, reduciéndolas al máximo y darles rápida salida.

Para que el drenaje sea bueno, es necesario evitar que el agua circule en cantidades excesivas y que al escurrir por las cunetas, no se estanque en éstas y reblandezca las terracerías.

En el diseño de las obras de captación (como las cunetas) se debe considerar el ancho permisible de la superficie libre de escurrimientos. Dicho ancho depende sobre todo de la forma de la sección transversal de la cuneta, de su pendiente longitudinal y del gasto que transporta. En todo caso, es posible reducir el gasto escurrido y con ello el ancho de la superficie libre colocando lavaderos a lo largo de la cuneta, que conduzcan sobre rápidos revestidos de fuerte pendiente, el gasto total o parcial de la misma hasta las partes bajas del terraplén y de ahí, siguiendo los cauces naturales de drenaje hasta una alcantarilla.

A continuación se realiza el cálculo de la cuneta.

Empleando el método racional para el cálculo del gasto tenemos:

$$Q = 0.278 C i A$$

Siendo

Q = Gasto máximo para el área total ( $m^3/seg$ )

A = Área de drenaje ( $km^2$ )

C = Coeficiente adimensional que representa la relación - precipitación/escorrimento.

i = Intensidad de precipitación para la frecuencia elegida ( $mm/hr$ )

0.278 = Coeficiente que hace homogéneas las variables para obtener  $m^3/seg$ .

Tenemos:

$$C = 0.40$$

$$i = 90 \text{ mm/hr.}$$

$$A = 0.00363 \times 0.20 = 0.00073 \text{ km}^2$$

$$\therefore Q = 0.01 \text{ m}^3/seg.$$

La sección de la cuneta es:



Los elementos geométricos de la sección son:

$$A = \frac{0.5 \times 0.3^2}{2} + \frac{2 \times 0.3^2}{2} = 0.1125 \text{ m}^2$$

$$P = 0.3^2 + (0.5 \times 0.3)^2 + 0.3^2 + (2 \times 0.3)^2$$

$$\Rightarrow 1.006 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{0.1125}{1.006} = 0.112$$

$$S = 0.001$$

$$\bar{n} = 0.013 \text{ de chow}$$

De la fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{\bar{n}} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0.013} (0.112)^{2/3} (0.001)^{1/2}$$

$$= 0.56 \text{ m/seg.}$$

$$Q = A.V$$

$$= 0.1125 \times 0.56$$

$$= 0.06 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

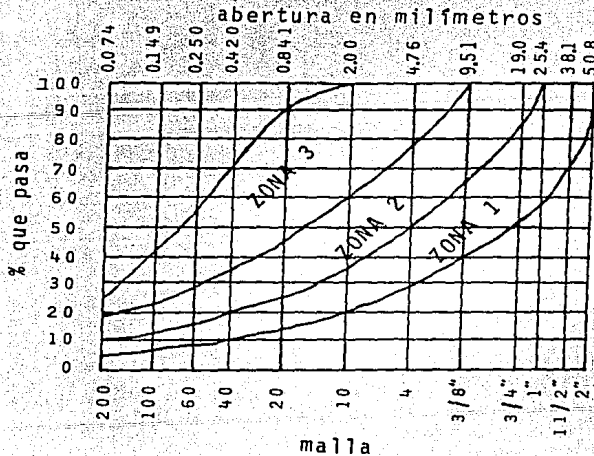
Por lo que la sección es correcta.

## 4.2 Superestructura

### 4.2.1 Sub-balasto

El sub-balasto es la capa de material seleccionado que se construye sobre las terracerías terminadas, resistente a la penetración del balasto y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en éstas. Esta capa está constituida por materiales procedentes de suelos, depósitos naturales o rocas alteradas, generalmente sin ningún tratamiento previo a su utilización. Cabe señalar que los materiales que van a formar esta capa cumplan con las siguientes características:

- a) Granulometría.- La curva granulométrica de los materiales a utilizar debe estar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 de la siguiente figura



- b) Contracción lineal.- El valor máximo admisible para este parámetro será del 6 por ciento.
- c) Valor cementante.- El valor mínimo admisible para este parámetro será de 4.5 kg/cm<sup>2</sup>
- d) Valor relativo de soporte estándar.- El valor mínimo admisible para este parámetro será de 30 por ciento.
- e) Equivalente de arena.- El valor mínimo admisible para este parámetro será de 20 por ciento.
- f) Compactación.- La capa de sub-balasto deberá compactarse a noventa y cinco por ciento, mínimo de su peso volumétrico seco máximo.

Los materiales utilizados como sub-balasto serán: Tepetates de mina, arena o cenizas.

#### 4.2.2 Balasto

El balasto es el material petreo seleccionado que cumple con los requisitos y normas especificadas, obtenido de sitios apropiados por sus características físicas y extracción económica, producto de la trituración del material explotado de un banco de roca, el cual se coloca sobre el sub-balasto, debajo de los durmientes y entre ellos y cuya función es: confinar -- los durmientes, oponiéndose a sus desplazamientos longitudinal y transversal, distribuir las cargas que se transmiten al sub-balasto y a las terracerías, asegurar el drenaje del agua pluvial; además sirve de elemento nivelador para la conservación de la rasante. Los materiales que van a formar esta capa debido a su origen y a los procedimientos para su producción, de -

berán cumplir con las siguientes características:

- a) Granulometría.- De acuerdo con el tamaño máximo, el material deberá cumplir con alguna composición y granulometría de las que se citan en la tabla.
- b) Equivalente de arena.- Las partículas de material que pasen la malla No. 4 (4.76 mm) deberán tener un equivalente de arena no menor de 80 por ciento.
- c) Peso volumétrico.- Si como balasto se vá a emplear material pétreo ligero o la escoria de fundición, éste deberá tener un peso volumétrico mínimo de 1,100 kg. por metro cúbico.
- d) Desgaste.- El valor máximo admisible para este parámetro será del 40 por ciento determinado por la prueba de los Angeles.
- e) Índice de durabilidad.- El valor máximo permisible para este parámetro será del 35 por ciento.
- f) Intemperismo acelerado.- El valor máximo admisible para este parámetro será del 10 por ciento.
- g) Forma de las partículas.- El material empleado deberá contener como mínimo, el 60 por ciento en peso de partículas angulares o trituradas, con el objeto de que sea altamente friccionable.

Los materiales utilizados como balasto serán: piedra triturada, escoria de fundición, grava de río, grava de mina, gránulo desintegrado, etc. materiales que generalmente requieren ser triturados, cribados y/o lavados para su utilización.

La construcción del sub-balasto y/o balasto se iniciará cuando las terracerías estén terminadas.

**T A B L A**  
**BALASTO : COMPOSICION Y GRANULOMETRIA**

<b>DENOMI- NACION</b>	<b>POR CIENTO EN PESO QUE PASA LA MALLA DE</b>									
	76.20 mm (3")	63.50 mm (2 1/2")	50.80 mm (2")	38.10 mm (1 1/2")	25.40 mm (1")	19.05 mm (5/4")	12.70 mm (1/2")	9.53 mm (3/8")	4.76 mm MALLA -- No. 4	2.38 mm MALLA -- No. 8
1	100	90-100	- -	25-60	-- -	0-10	0-5	- -	- -	- -
2		100	95-100	35-70	0-15	- -	0-5	- -	- -	- -
3			100	90-100	20-55	0-15	- -	- -	- -	- -
4				100	90-100	40-75	15-35	0-15	0-5	- -
5				100	95-100	- -	25-60	- -	0-10	0-5

La descarga de los materiales que se utilicen en la construcción del sub-balasto y/o balasto, deberá hacerse sobre las terracerías terminadas.

Los procedimientos de ejecución del sub-balasto así como el proporcionamiento de los materiales, serán fijados en el -- proyecto. En términos generales, la secuencia de estas operaciones será la siguiente:

a) Cuando se empleen dos o más materiales se mezclarán en seco, con objeto de obtener un material homogéneo.

b) Se extenderá parcialmente el material con motoconformadora y se procederá a incorporarle agua por medio de riegos y mezclados sucesivos, hasta alcanzar la humedad fijada y obtener homogeneidad. A continuación se extenderá en capas sucesivas, cuyo espesor será tal que se logre la compactación fijada

c) Cada capa extendida se compactará hasta alcanzar un -- grado no menor del 95 por ciento sobreponiéndose las capas hasta obtener el espesor y sección fijadas; se escarificará superficialmente cada capa antes de tender la siguiente, a fin de -- ligarlas debidamente. Se darán riegos superficiales de agua, -- durante el tiempo que dure la compactación, únicamente para -- compensar la pérdida de humedad por evaporación.

d) En las tangentes, la compactación se iniciará de las -- orillas hacia el centro y en las curvas, de la parte interior -- hacia el exterior.

Para dar por terminada la construcción del sub-balasto -- y/o balasto, se verificará el alineamiento, perfil, sección, -- espesor y acabado, de acuerdo con lo fijado en el proyecto con las siguientes tolerancias.



- A) Ancho de la sección, del eje a la orilla - - - + 10 cm.
- B) Profundidad de las depresiones observadas colocando una regla de 3m. de longitud paralela y normalmente al eje - - - - - + 2 cm.

C) Espesor; la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de las diferencias calculadas restando el espesor real obtenido en cada punto de prueba; el espesor real promedio correspondiente a todos los puntos de prueba, siempre deberá ser igual o menor que catorce centésimos (0.14) del espesor real promedio; además el valor absoluto de las diferencias entre los espesores real y de proyecto, correspondiente al 84% como mínimo, de las determinaciones realizadas, siempre deberá ser igual o menor que el 10% de los espesores de proyecto. Lo anterior se puede expresar también de la siguiente manera:

$$\sqrt{\frac{(e_1 - \bar{e})^2 + (e_2 - \bar{e})^2 + \dots + (e_n - \bar{e})^2}{n}} \leq 0.14\bar{e}$$

Y  $\{e - e\} \leq 0.1e$ , en el 84% de los casos

En donde:

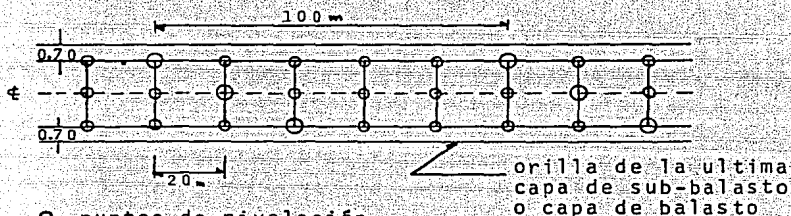
$e$  = espesor de proyecto

$e_1, e_2, \dots, e_n, e_r$  = espesores reales encontrados al efectuar los sondeos y nivelaciones

$\bar{e} = \frac{e_1 + e_2 + \dots + e_n}{n} =$  espesor real promedio correspondiente a todos los puntos de prueba.

$n$  = número de verificaciones del espesor real hechas en el tramo. La longitud de cada tramo será de 1 kilómetro o menos, con la siguiente distribución.

La distribución de los puntos donde se llevan a cabo los sondeos para las verificaciones de espesor y compactación y aquellos en donde se determinen los niveles para fines de espesores y tolerancia, deberá ser la indicada en la figura.



- puntos de nivelación
- puntos de nivelación y sondeo

Además se harán los sondeos que se indiquen como necesarios para controlar las fracciones indicadas y las que se originen por razones de procedimiento de construcción o de interrupciones en la obra. Se tomará en cuenta adicionalmente lo siguiente:

A) Para los sondeos:

- 1) no deberá dañarse la parte contigua a los mismos.
- 2) el espesor del sub-balasto y/o balasto determinado a partir de los sondeos realizados, deberá ser igual al espesor fijado en el proyecto, con la tolerancia indicada anteriormente
- 3) se rellenarán los huecos en cada uno de los sondeos, usando el mismo material de sub-balasto y/o balasto.

B) En las nivelaciones para verificar los espesores

- 1) se nivelará la corona de las terracerías terminadas utilizando nivel fijo y comprobando la nivelación. Para cada sec

ción transversal, que deberá estar a una distancia máxima de 20 m de las contiguas.

- 2) Una vez terminado el sub-balasto y/o balasto se volverán a nivelar los mismos puntos y para las mismas secciones señaladas en el sub-párrafo anterior.
- 3) A partir de las cotas de ambos seccionamientos en todos los puntos antes indicados, se obtendrán los espesores de sub-balasto y/o balasto.

#### 4.2.3 Durmientes

También son denominados traviesas y son las piezas que se colocan transversalmente sobre el balasto para que puedan proporcionar un soporte adecuado a los rieles de la vía, además, proporcionan un medio para que los rieles se conserven con seguridad a la distancia correcta del escantillón.

Las clases de durmientes empleados son: de madera, de concreto hidráulico presforzado y mixtos, de acero y cemento hidráulico reforzado.

Para nuestro caso se van a emplear durmientes de madera, debido a que se encuentran tramos con fuerte curvatura que someten a los durmientes a esfuerzos inaceptables en el caso de que éstos sean de concreto y a la placa única de hule, por lo que también se requieren de placas de acero.

Las características que deben de cumplir los durmientes, para que garanticen un buen funcionamiento son:

- 1).- Clases de madera: Para el caso de los durmientes que deban ser de maderas duras o semiduras se emplean maderas como: cacho de toro, guirisña, quiebrahacha, havi, nan--

che, etc., o pino para el caso de maderas suaves.

- 2).- Durabilidad: Para que la madera que se va a emplear en los durmientes garantice una larga duración, ésta deberá estar completamente libre de cualquier pudrición.
- 3).- Forma y dimensiones: La forma de los durmientes será la rectangular, o sea, deberán ser rectos, sus cabezas cortadas en ángulo recto al eje de la pieza y sus caras superior e inferior paralelas y limpias de corteza; las dimensiones serán las reglamentarias: siete pulgadas de grueso ocho pulgadas de ancho y ocho pies de largo (7" x 8" x 8') en el sistema inglés, en el sistema decimal: 0.18x0.21x 2.44 metros. No se podrán aceptar los durmientes que varíen mas de una pulgada (1") en sus medidas.
- 4).- Espaciamiento: Para poder permitir un calzamiento correcto con herramientas manuales deberá existir entre durmiente y durmiente por lo menos 10 pulgadas (10") de separación, pudiendo variar entre 50 y 60 centímetros la separación de centro a centro de los mismos.
- 5).- Juego de durmientes para cambios: Con el fin de evitar errores en las longitudes y mala colocación, los durmientes que se van a emplear en los cambios, deberán venir acompañados de los mismos.
- 6).- Entalladuras y perforaciones: Cuando se deban realizar estas acciones, se harán antes de la preservación del durmiente.
- 7).- Preservación: Con el objeto de aumentar la duración de los durmientes, evitando la putrefacción de los mismos, se introduce una sustancia que destruye la vida de los organismos que ocasionan dicha pudrición, se aceptan como -

substancias de preservación: la creosota, el cloruro de zinc y las sales de sodio.

- 8).- Rechazo: Los durmientes serán rechazados cuando presenten agujeros de más de 2 cm. de diámetro por 8 cm. de profundidad, nudos de más de 2 cm. de diámetro y rajaduras de 7 cm. de extensión.

Los durmientes transportados en plataformas y/o trailers se colocarán sobre terreno plano, resistente y drenado, formando tongas, apoyados y acomodados de tal manera que no se deformen. En las maniobras se evitarán los impactos.

Cuando se utilicen durmientes de madera de diferente dureza, en las curvas se colocarán de preferencia los de maderas duras o semiduras y en las tangentes los de maderas blandas.

La distribución de los durmientes se hará sobre el subbalasto o balasto terminado, de acuerdo con la dotación por kilómetro que fije el proyecto. En general, la dotación mínima será de 1830 durmientes por kilómetro de vía.

Los durmientes se colocarán centrados y normales al alineamiento horizontal, espaciándolos conforme al proyecto, de tal manera que cuando se coloquen los rieles, sus juntas de unión queden entre 2 durmientes.

#### 4.2.4 Rieles

Es la barra perfilada de acero que nos permite sustentar y guiar el equipo móvil, está formado por tres partes: cabeza u hongo, alma y patín.

El hongo o cabeza se diseña considerando que va a estar -

en contacto con las ruedas cuyas pestañas tiene que guiar, por lo que la altura del hongo debe ser mayor a lo necesario para la resistencia del mismo, además de que se provee de una reserva para su desgaste. Por lo tanto, en la altura total del riel se debe distinguir la parte del material correspondiente a la rodadura y la parte necesaria para resistir la acción de las cargas a las que el riel va a ser sometido como viga. Por lo general la parte correspondiente a desgaste por rodadura es de 1.5 cm., cuando un riel haya experimentado un desgaste de esa magnitud debe ser retirado.

La relación entre el ancho del hongo y la altura del mismo, debe ser tal que el desgaste del ancho no obligue a retirar el riel antes de que haya que hacerlo por desgaste vertical, la relación entre el ancho y la altura debe ser de 1.6 a 1.7 como máximo. El ancho de la cabeza del riel varía de 6 a 7 cm., tendiendo a acercarse al de la superficie de rodadura de la rueda, ya que así se reduce el desgaste vertical y se aumenta la superficie de apoyo de las bridas disminuyendo su desgaste y dando origen a juntas menos desfavorables. La superficie de rodadura es combeada con el fin de reducir el desgaste reciproco entre rueda y riel.

El alma se diseña con el fin de absorber los efectos de corte y flexión producidos por la acción de las cargas transversales, lo cual ha conducido al diseño de almas con espesor variable siendo mayor en la base y junto al hongo.

El patín se diseña para darle al riel su resistencia máxima y una superficie contra las fuerzas transversales que provocan el volteo.

Una distribución adecuada de metal entre el hongo, alma y patín es la siguiente: 40%, 22% y 38% respectivamente.

El riel para que pueda soportar los impactos provocados por la rueda, es endurecido en sus puntas, sin que ello signifique la eliminación de la vibración, pero logra reducirla y darle mayor vida al riel.

Esfuerzos del riel y base durmiente.

El riel es una viga cuyo peralte y momento de inercia le proporciona cierto momento resistente o módulo de sección que precisa concordar con la máxima carga rodante y su impacto, sobre una serie de durmientes donde pueden fallar uno o más contiguos a los durmientes que soportan la carga analizada, produciéndose claros reales, hasta el triple del normal espaciamiento entre los durmientes.

Esta condición, produce presiones máximas sobre un solo durmiente, el cual debe reaccionar en su apoyo de balasto sin hundirse y a su vez debe soportar la flexión sin deformarse ni romper las planchuelas o juntas de rieles por excesiva tensión.

Las variables a considerar son: área de apoyo del durmiente, espaciamiento entre durmiente, reacción del balasto, calibre o módulo del riel, peso por eje y el impacto considerado.

Cálculo de los esfuerzos del riel y base durmiente.

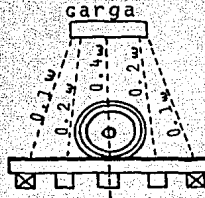
La locomotora que se empleará es de 105 ton. de peso sobre 4 ejes. El coeficiente de impacto está en función de la velocidad máxima de proyecto, la cual es de 25 km/hora, por lo que tenemos que es de 1.05, por lo tanto la carga por eje será

$$\frac{105}{4} (1.05) = 27.56 \text{ toneladas}$$

El espaciamiento de los durmientes es de 50 cm., con sección de 18 x 21 x 244 cm., si solamente calzamos o compactamos apoyo para los 2/3 extremos (dejando flojo el centro) el área de apoyo por durmiente será:

$$21 \times 244 \times 2/3 = 3416 \text{ cm}^2$$

Por otra parte, experimentalmente se ha comprobado que en promedio el durmiente bajo la carga, soporta 0.4W y reparte a cada lado 0.2W al próximo durmiente y 0.1 al tercer durmiente, en los casos en que los 5 durmientes estén suficientemente calzados y en buen estado para reaccionar por igual.



Esta hipótesis, solo es factible por breve período con -- durmientes y balasto nuevos y recién calzados a máquina.

La realidad permite operar vías con límites de 2 fallas - a cada lado de un apoyo fijo, o sea cargar el riel con claros-dobles, que producen carga sobre el apoyo de 65% W o sea:

$$0.65 \times 27.56 = 17.91 \text{ toneladas.}$$

la presión máxima sobre el balasto resultaría:

$$P_o = \frac{17910 \text{ kg}}{3416 \text{ cm}^2} = 5.24 \text{ kg/cm}^2$$



en tanto que la presión media es:

$$p = \frac{0.4 \times 27560 \text{ kg}}{3416 \text{ cm}^2} = 3.23 \text{ kg/cm}^2$$

#### Estabilidad de la vía

La vía es una estructura que se deforma elástica o permanentemente bajo diversos esfuerzos, la resistencia depende del calibre del riel, de la superficie de apoyo de los durmientes, de la fuerza de fijación y especialmente del espesor y calidad del balasto.

Para calcular el momento flexionante en el riel se emplea la expresión desarrollada por la Asociación Americana de Ferrocarriles.

$$M = P \cdot \left( \frac{EI}{64U} \right)$$

M: Momento flexionante en el riel

E: Módulo de elasticidad del acero (30,000 lb/ft<sup>2</sup>)

I: Momento de inercia del riel

U: Módulo de elasticidad de la vía

= carga por unidad lineal

deformación unitaria de la vía

P: Carga por rueda

U: es variable (entre 900 lb/ft<sup>2</sup> y 1200 lb/ft<sup>2</sup>) con un valor medio de 7 kg/cm<sup>2</sup>= 980 lb/ft<sup>2</sup>

#### Inestabilidad de la vía

Para su cálculo emplearemos la expresión de los ferrocarriles franceses:

$$\text{Indice de inestabilidad} = 100 \frac{2R}{\left(2R + \frac{I}{d}\right)^2}$$

- R: Peso o calibre del riel en kilos por metro lineal  
T: Peso del durmiente y sus accesorios (kg)  
d: distancia centro a centro de los durmientes (m)

#### Marcas en rieles nuevos

Para indicar la calidad y su clasificación, el riel nuevo se marca de la siguiente manera:

Extremos sin pintar:	Primera clase, bajo carbón
Extremos pintados de azul:	Primera clase, alto carbón
Extremos pintados de amarillo:	Primera clase, rieles "A"
Extremos pintados de verde:	Primera clase, rieles cortos de 7.31 a 11.58 m (24 a 38 pies)
Extremos pintados de blanco:	Segunda clase, longitudes de 7.31 a 11.89 m (24 a 39 pies)
Extremos pintados de café:	Rieles especiales en longitudes de 7.31 a 11.89 m (24 a 39 pies)

#### Rieles soldados

Debido a que las juntas de unión o planchuelas deberán quedar fuera de los cruceros con las calles es necesario que se suelden los rieles, para lo cual se empleará el método de soldadura aluminotérmico.

#### Procedimiento aluminotérmico

Previo al soldado de los rieles, éstos se limpian, alinean y nivelan y se procede a darles la separación de 16 milímetros entre puntos con una cuña calibradora de holguras, realizado esto se coloca el molde (en donde se efectuará la fusión del acero) que es un crisol metálico el cual consta de -

dos partes que se ajustarán al riel, sujetándolas con abrazaderas y relleno los huecos que quedan entre el molde y el riel con arcilla refractaria, para proceder al precalentamiento, el cual podrá ser rápido o lento, el método rápido emplea sopletes de oxígeno-gasolina durante cinco minutos hasta que se alcance una temperatura de 1000 grados centígrados con un tono rojo cereza claro; el método lento usa propano y aire requiriendo de 8 minutos para alcanzar dicha temperatura.

Momentos antes de que acabe el precalentamiento se verificará que el molde continúe sellado mediante la inspección de las juntas de unión en la cual no deberán aparecer llamas, lo cual indicaría la existencia de fugas.

Previamente los metales de hierro y aluminio se vertieron a granel en las porciones indicadas por el fabricante, dependiendo del calibre del riel y del contenido de carbón en el acero del mismo; el material para soldadura viene mezclado y empacado en bolsas de poliéster, de modo que solo se precisa de tapar el fondo del crisol, introducir el material de soldadura y colocar una pólvora especial (catalizador) y encender con flama, que al arder desarrolla una elevada temperatura, provocando una reacción en cadena entre los materiales, la cual dura entre 20 y 25 segundos, acabada la reacción se deja reposar el crisol para lograr la total separación del acero fundido y la escoria y dar tiempo a que la temperatura de los extremos de los rieles se iguale en toda la sección, transcurrido su tiempo de decantación se destapa el tapón del fondo y fluye la fundición entre los rieles, dejando la escoria alrededor y el buen acero en el perfil soldado.

Realizada la colada se dejará que se enfríe durante unos 3 o 4 minutos para que los metales se solidifiquen y proseguir con marro, tajadera y cincel el recorte de la escoria excedente alrededor de la junta y al enfriarse se procede a forjar y al esmerilado en serie, para terminar con el pulido del hongo de un riel y la inspección visual y con detector manual, de los resultados.

La soldadura ya terminada debe tener un aspecto en el cual no debe apreciarse ningún defecto o porosidad en la zona de unión del metal fundido con el laminado ni arena vetrificada que profundice en el hongo del riel.

#### 4.2.5 Accesorios

Los diferentes accesorios que se emplearán en la construcción de la vía son los siguientes:

- Juntas de unión
- Juegos de cambio
- Dispositivos de sujeción y de apoyo
- Lubricadores

#### Juntas de unión

En las juntas de unión se utilizarán los siguientes materiales:

- a) Planchuelas
- b) Tornillos de vía
- c) Roldanas de presión y tuercas

Las juntas de riel se localizan entre dos durmientes, donde el esfuerzo cortante es nulo y existe momento flexionante -

máximo positivo, en la viga continua que representa el riel, - la junta debe permitir la libre dilatación por lo que se debe de limpiar y lubricar adecuadamente además de engrasarla para protegerla de la corrosión y evitar así las juntas rígidas.

La expansión resulta permisible por la forma ovalada de los agujeros en tanto que el diámetro del tornillo lo determina su esfuerzo cortante deducido de la tensión por temperatura. Todas las planchuelas serán fijadas asegurándolas con el número completo de tornillos y tuercas, apretando primero las del centro, la fijación de los tornillos será alternada, es decir uno con la tuerca por dentro y el siguiente con la tuerca por fuera del riel. Las juntas se colocarán suspendidas y solamente se colocarán apoyados en los sapos, los tornillos empleados serán de 25 x 127 mm. (1" de diámetro por 5" de largo), rosca-rolada y tuerca hexagonal.

#### Juegos de cambio

Los juegos de cambio están básicamente constituidos por:

- a) Sapo
- b) Agujas con sus barras de conexión y placas de deslizamiento
- c) Arbol y barra de cambio
- d) Rieles guía
- e) Contrarrieles
- f) Accesorios menores

Para ilustrar mejor como trabaja un cambio se hace uso de la siguiente figura.



Las agujas que son la parte móvil del cambio, están formadas por dos rieles debidamente arriostrados y provistos de un mecanismo especial para moverlos alrededor de los puntos fijos B y F que se denominan puntas de las agujas. El juego del cambio corresponde a la distancia AA' ó DD' que se mueven las puntas de las agujas al cambiar de una vía a la otra. Los rieles guía son aquellos que unen el cruce K del carril con el talón BF. El cruce K permite que las pestañas de las ruedas pasen sin dificultad por el punto donde se cruzan las dos vías. En los rieles opuestos al cruce K se colocan unos contrarrieles RR'. Las puntas de las agujas se mueven en todos los cambios, sobre un durmiente mayor que los de la vía y que recibe el nombre de durmiente de las puntas.

Cuando un tren entra al cambio por el talón de las agujas se dice que ha tomado el cambio de talón y cuando entra al cambio por las puntas de aguja se dice que lo ha tomado de punta. Las agujas BA y FD se mantienen paralelas mediante las barras-T. El tirante J denominado varilla de maniobra se prolonga hacia el exterior de la vía hasta llegar a la palanca de maniobras que es con la que se mueven las agujas de la posición ---BFDA a la BFD'A y viceversa.

Al instalar el cambio de acuerdo a la localización que se fijó para el P.A. (punta de agujas) y ya conocido el número -- del sapo se realiza el siguiente procedimiento.

- a).- Se hacen los ajustes necesarios en los rieles para situar las juntas inmediatas a la punta de agujas en el lugar indicado en el plano.
- b).- Se coloca el juego de madera de cambio.
- c).- Se coloca el contrarriel de la vía principal 6 de la vía de donde saldrá el cambio de tal modo que la distancia -- del lado del escantillón del sapo a la cara del contrarriel el donde pasa la ceja de la rueda, sea de 1.387 m. (4' - - 6 5/8"), para la vía con escantillón estándar la separación del contrarriel y del riel es de 4.76 cm. (1 7/8")
- d).- Se coloca el sapo y la guía recta o principal y después - se colocan los demás accesorios del cambio.

#### Dispositivos de sujeción y de apoyo

Los dispositivos de sujeción y de apoyo que se van a emplear son los que a continuación se citan:

- a) Placas de asiento metálicas.
- b) Clavos de vía.
- c) Anclas.

Con el fin de evitar el degollamiento de los durmientes, por el desgaste que se produce por la acción abrasiva del riel sobre los durmientes, se emplean las placas de asiento metálicas, una placa bien diseñada y bien colocada en el durmiente evitará el desgaste mecánico de los durmientes.

Las dimensiones de la placa de asiento a emplear son las siguientes:  $10 \frac{1}{2} \times 7 \frac{3}{4}$ " (26.67 cm. por 19.68 cm.) con lo cual aseguramos una correcta distribución de las cargas, espesor de  $\frac{1}{2}$ " (1.27 cm.) con cuatro perforaciones de  $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$ " (1.90 cm. x 1.90 cm.) con radio de  $\frac{1}{16}$ " (0.16 cm.) en las esquinas.

Los clavos y las anclas a emplear dependen del tipo de ancla y de riel utilizados, por lo que se emplearán clavos de ferrocarril de  $6 \times \frac{5}{8}$ " (15.24 cm. x 1.59 cm.)

Entre las recomendaciones que se hacen para el empleo de placas y el clavado de la vía tenemos:

Al colocar la placa se debe tener el cuidado de ver que éstas tengan el apoyo firme y parejo sobre el durmiente con el fin de que ajusten bien sobre la base del riel, igualmente se vigilará que las placas no se pongan invertidas.

No es recomendable el uso de calzas de madera en vez de las placas metálicas.

Los clavos deben clavarse verticalmente con la cara en contacto con la base del riel, de tal forma que no sea necesario enderezarlos durante la operación.



En la operación anterior el riel no debe ser golpeado ni al ponerlo a escantillón.

Los clavos deben ser colocados en tal forma que los exteriores queden cargados al lado contrario de los interiores, -- que irán en el sentido del cadenamamiento.

En tangentes los rieles se fijarán con no menos de 2 clavos, ó sea cuatro por durmiente para los dos rieles.

En ningún caso el clavo deberá quedar apoyado sobre los extremos de las planchuelas.

#### Lubricadores

Los lubricadores serán de bomba fija, accionada por las ruedas del equipo rodante, que aplicará un lubricante grafitado a las cejas de las ruedas en cantidad suficiente y regulable.

#### Ejecución

La secuencia de las operaciones y los requisitos que deberán cumplirse para armar la vía clavada serán las siguientes:

Sobre el sub-balasto terminado se realizará la distribución de los durmientes, siendo la dotación mínima de 1830 durmientes por kilómetro de vía.

Los durmientes se colocarán centrados y normales al alineamiento horizontal, espaciándolos a una distancia máxima de 55 cms., de tal manera que cuando se coloquen los rieles, sus juntas de unión queden entre dos durmientes.

Las placas de asiento se limpiarán por ambas caras y se colocarán sobre los durmientes en su posición definitiva; el patín del riel deberá quedar siempre dentro y paralelo a las costillas de la placa de asiento y tendrá con respecto al eje del durmiente, una inclinación de uno a cuarenta (1:40) hacia el centro de la vía, la que se dará por medio de la placa de asiento o por la entalladura del durmiente.

Los rieles se colocarán sobre las placas de asiento, fijando el riel y la placa con los clavos de la vía. Se fijará primero el riel de un lado y luego, conservando el escantillón el riel opuesto, los rieles no deberán golpearse. Las juntas de rieles deberán quedar cuatrapeadas. Los clavos deberán penetrar verticalmente dentro de las perforaciones hechas de antemano que servirán como gufa. Las anclas se sujetarán a presión al patín de los rieles y deberán quedar en contacto con las caras verticales de los durmientes debiendo emplearse un mínimo de 16 anclas para cada riel estándar, distribuidas uniformemente a lo largo del mismo, excepto en las juntas. Las anclas del riel opuesto se colocarán en el mismo durmiente en que se colocaron las del primero.

Cuando sea necesario hacer perforaciones de campo en los rieles, éstas se harán con taladro y broca, se deberá evitar que se altere el material, por calentamiento excesivo.

El armado de las juntas de unión será de la siguiente manera: se limpiarán las superficies de contacto entre rieles y planchuelas y se extenderá sobre éstas una capa de grasa grafiada, haciendo coincidir las perforaciones de las planchuelas con las de los rieles; se colocarán los tornillos con las cabe

zas alternadas, las roldanas de presión y las tuercas que se apretarán ligeramente. Una vez sujeto el riel al durmiente las tuercas se continuarán apretando, primero las centrales y después las extremas en cada junta de unión, hasta dar al tornillo una tensión de 15,000 kg. Para alcanzar esta tensión, se emplearán llaves especiales, las cuales se destrabarán al alcanzar la tensión fijada. A los tres meses de iniciado el tránsito de trenes, se revisará la tensión dada a los tornillos, la cual no deberá ser menor de 10,000 kg.

En las juntas de unión, la separación entre los extremos de rieles se calibrará, empleando separadores de metal o de fibra de acuerdo con la temperatura de los rieles en el momento de su colocación, la cual se medirá con termómetros para riel. En rieles con longitud estándar, o sea de 11.89 metros (39 pies), el espesor de los separadores deberá ser el indicado en la siguiente tabla:

Temperatura de los rieles estándar en el momento de su tendido, en grados centígrados	Espesor de los separadores en milímetros
Menos de 0° . . . . .	7
De 0° a 10° . . . . .	5.5
De 10° a 25° . . . . .	3
De 25° a 40° . . . . .	1.5
De más de 40° . . . . .	0

Para rieles cortos, el espesor del separador será proporcional a los valores anotados.

Los separadores se quitarán cuando se tengan doce tramos de riel estándar tendidos. Todo el riel tendido en un día deberá quedar sujeto a los durmientes, al dar por concluido el trabajo diario.

Las juntas de unión deberán quedar fuera de los cruceros con calles. Para esto, se emplearán rieles soldados de la longitud necesaria, con contrarrieles.

El escantillón se medirá a 1.6 centímetros abajo de la superficie de rodamiento y deberá ser de 1435 milímetros en tangentes y curvas hasta de 6 grados, en curvas de mayor grado aumentará como se indica en la siguiente tabla.

Grado de curvatura G	Escantillón en milímetros
Hasta 6°00' . . . . .	1435.0
De 6°01' a 7°00' . . . . .	1437.5
De 7°01' a 8°00' . . . . .	1440.0
De 8°01' a 9°00' . . . . .	1442.5
De 9°01' a 10°00' . . . . .	1445.0
De 10°01' en adelante	1447.5

#### Alineamiento y nivelación

El alineamiento y la nivelación de la vía se efectuará en forma simultánea, como se indica a continuación.

Se hincarán estacas de referencia a una separación máxima

de 50 metros para alineamiento y nivelación a lo largo de la vía, en los cuales se marcará el riel de proyecto a que debe quedar la parte superior del hongo del riel.

Para darle las elevaciones que le correspondan a la vía, se iniciará nivelando de un punto de cota conocida (banco), con el fin de asegurarse de darle a la vía su elevación correcta para su cómoda operación.

La nivelación se ejecutará calzando los durmientes con el balasto utilizando equipo especial, por tramos sucesivos hasta que los rieles alcancen el nivel de proyecto.

Después de terminados el alineamiento y la nivelación, se procederá a perfilar el balasto hasta obtener la sección de proyecto.

Para verificar el alineamiento y la nivelación en las tangentes, se colocarán referencias permanentes por pares, una a cada lado de la vía, equidistantes al eje de la misma con un espaciamiento longitudinal máximo de 500 metros; también se colocarán referencias en forma permanente en los puntos de iniciación y terminación de las curvas circulares.

Para dar por terminada la construcción de la vía se verificarán el alineamiento y la nivelación teniendo las siguientes tolerancias:

- A) Alineamiento con respecto al eje de la vía - - - - -  $\pm 3\text{mm}$ .  
los cuales deberán irse desvaneciendo en una distancia no menor de 15 metros.
- B) Nivelación con respecto a la rasante - - - - -  $\pm 3\text{mm}$ .  
los cuales deberán irse desvaneciendo en una distancia no menor de 10 metros.

*CAPITULO*

*QUINTO*

**CONCLUSIONES**

## 5.- CONCLUSIONES

Dentro de los objetivos que se buscan con la construcción del Complejo Petroquímico Morelos está el de lograr la autosuficiencia en varios productos petroquímicos, en donde el ferrocarril tendrá un papel importante, ya que tendrá que abastecer de insumos así como de dar salida a la materia prima que emplearán las diferentes compañías, en lo futuro también tendrá una destacada participación ya que en la actualidad, productos como el polietileno y el polipropileno se tienen que importar. Durante los primeros cinco meses del presente año, se realizarán importaciones por 92,456 y 40,475 toneladas respectivamente, con la puesta en funcionamiento del complejo, se logrará la autosuficiencia de polipropileno, del cual habrá excedentes los cuales se exportarán; para tal fin habrá una vía desde el complejo hasta los muelles de Pajaritos en donde se embarcará. Como se ve uno de los objetivos del proyecto del ferrocarril, es el de fomentar el desarrollo de la industria petroquímica.

Por otra parte es necesaria la modernización de la infraestructura del transporte ferroviario y de la operación para que se constituyan en el eje de la estrategia para el transporte interior de la carga, a fin de que este medio recupere la función primordial de mover grandes volúmenes o grandes distancias a bajo costo, para que se pueda constituir en uno de los elementos principales del desarrollo económico del país.

En la actualidad varias de las políticas gubernamentales se han centrado en este propósito como es la modernización de la vía Coatzacoalcos-Salina Cruz; se puso en servicio parte de la nueva vía México-Veracruz, la cual sustituye al segmento -- más accidentado y escabroso de esta ruta, se continúa con la construcción del eje transversal Manzanillo-Guadalajara-Monterrey, con lo que se evitará cruzar el centro del país y se puso en funcionamiento la doble vía México-Querétaro.

Como se vé estamos en un momento, el cual se debe de aprovechar para que los ferrocarriles ocupen el lugar que siempre deberían de tener dentro de la economía nacional.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- MEMORIA DESCRIPTIVA DEL COMPLEJO PETROQUIMICO MORELOS
- 2.- FERROCARRILES  
Francisco M. Togno
- 3.- VIAS DE COMUNICACION  
Carlos Crespo Villalaz
- 4.- TOPOGRAFIA  
Miguel Montes de Oca
- 5.- MANUAL DE PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS  
Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas
- 6.- VIAS FERREAS  
Normas para construcción e instalaciones  
Secretaria de Comunicaciones Y transportes
- 7.- DRENAJE EN CARRETERAS Y AEROPUERTOS  
Gilberto Sotelo
- 8.- TERRACERIAS  
Normas para construcción e instalaciones  
Secretaria de Comunicaciones y Transportes
- 9.- NORMAS TECNICAS PARA ESTRUCTURAS Y CIMENTACIONES DE  
CONCRETO EN FERROCARRILES  
Secretaria de comunicaciones y transportes
- 10.- LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES  
Alfonso Rico