

99
143

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

Apuntes de la Materia
"SISTEMAS DE
TRANSPORTE TERRESTRE"

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A

Jesús Rafael Núñez García

MEXICO DISTRITO FEDERAL.

1 9 8 2



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-269 T.E.



Escuela Nacional
de Ingenieros

Al Pasante señor JESUS RAFAEL NUÑEZ GARCIA,
P a s a n t e

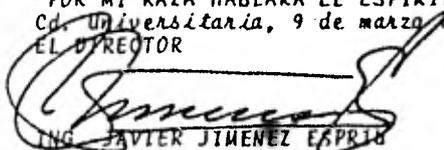
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Salvador Canales de la Parra, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

APUNTES DE LA MATERIA "SISTEMAS DE TRANSPORTE TERRESTRE"
PARTE III.

- I. Historia de las redes de carreteras y ferrocarriles.
- II. Especificaciones geométricas de los dos sistemas de transporte.
- III. Trazo, nivelación, perfil y rasantes en los dos sistemas, sus especificaciones y diferencias.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 9 de marzo de 1987
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU


JJE/06LH/ser

HISTORIA DE LAS REDES PARA LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

TERRESTRE EN MEXICO

Los pueblos prehispánicos fueron los que trazaron las principales - rutas y caminos actuales, mismos que encontraron los españoles a su llegada; todos iban de Tenochtitlán a Occidente, hasta el Nayarit y había comunica- ción con la zona purépecha, en Michoacán, al Norte hasta la Quemada y las - Huastecas, en las sierras y costas del golfo también estaban comunicadas; - hacia el Sur, las veredas conducían hasta el Señorío de Tultepec, en la Cos- ta de Guerrero hasta Oaxaca y el Soconusco. También existía una ruta hacia- las Higueras (Honruas) que en realidad conducía a la región de Campeche y - Yucatán.

Lo cierto es que los españoles sólo transformaron las veredas pre- hispánicas en caminos de herradura; pero los extendieron principalmente ha- cia el norte y el Noroeste conforme avanzaban en su colonización. Les fue - relativamente fácil, gracias a esas rutas, adueñarse de los dominios azte- cas y de los señoríos independientes en la región de Mesoamérica.

Como los españoles andaban tras los metales preciosos, se aventura- ron más allá de los límites establecidos por los Mexicanos. En 1546 descubrie- ron las Minas en Zacatecas y dos años después ya había allí una gran ciudad. Esto sirvió para que nuevas expediciones comenzaran lo que primero los con- dujo a Chihuahua; también se extendieron hacia Querétaro, Guanajuato, San - Luis Potosí y Guadalajara, estos caminos eran llamados "Reales de las Minas". Los pueblos nómadas reaccionaron de modo violento hacia estas expansiones, - lo que hizo que el Virreinato estableciera puestos militares. Hacia los co-

mienzos del Siglo XVIII el movimiento colonizador pareció estabilizarse y por lo tanto también se estabilizaron los caminos. En el año de 1803 el único cambio que se notó fue que algunos de los principales caminos se convirtieron en carreteras o adecuados para viajar en carretas. Según declaraciones de Humboldt en esa época dijo "En efecto sobre la Mesa Central se viaja en coches de cuatro ruedas en todas direcciones desde la capital hasta Guanajuato, Durango, Chihuahua, Valladolid, Guadalajara y Perote, pero a causa del mal estado actual de los caminos, no se ha establecido carreteo para el transporte de géneros; y se prefiere el uso de acémilas, de modo que millares de caballos y mulas en largas recuas, cubren los caminos de México. Tan sólo para el transporte de mercancías entre México y Veracruz, el camino más transitado, se empleaban más de 70 mil mulas.

En la época independiente no hubo cambio, es más se puede decir que empeoró por los 11 años de guerra de independencia y las guerras civiles que le sucedieron.

En 1853 se creó el Ministerio de fomento de colonización, industria y comercio, al cual se encomendaron las obras públicas y principalmente los caminos. En 1857 se informó que había 20 ingenieros que restauraban los caminos existentes y proyectaban otros nuevos. En fin que en 50 años de vida independiente no hubo cambios importantes en la red de caminos de México. Y, a mayor abundamiento, la introducción de los ferrocarriles que siguieron rutas paralelas a las carreteras de entonces, hizo que la construcción de caminos casi se suspendiera por completo, y aún que la conservación de los existentes pasara a los gobiernos de los esta-

dos. La intensidad del tráfico entre México y Veracruz hizo de esta ruta, la más importante del país. Pero fueron los Consulados (Organizaciones de Comerciantes) los que dotaron de caminos carreteros. El Consulado de Veracruz construyó por Jalapa y Perote; el de México por Orizaba y Córdoba, -- ambos fueron de "peaje" cuyo producto se destinaba para las restauraciones en 1824 el gobierno disolvió los Consulados y se encargó del cobro de los peajes.

En la época porfiriana se saltó de la vereda y el camino de herradura directamente al ferrocarril por medio de concesiones de empresas extranjeras; por lo cual tuvo un enorme impulso. Se abandonó la apertura de nuevas carreteras y la conservación de las existentes. Y estos empeoraron tanto que los muy pequeños progresos logrados desde la Independencia desaparecieron.

Con respecto a las carreteras decimos que sólo a partir de 1925 -- puede hablarse de una verdadera política de caminos en México. Esto a causa de que la Revolución y el uso intenso que se le había dado a los ferrocarriles dejaron a éstos (equipos y vías) en muy malas condiciones; por -- otra parte la popularización del automóvil dieron por resultado el impulso al mejoramiento de los caminos con nuevas técnicas de construcción. En todo el mundo se llegó a pensar y en México también que los automóviles llegarían a desplazar a los ferrocarriles.

El Presidente Plutarco Elías Calles, creó la Comisión Nacional de Caminos, y un impuesto especial sobre ventas de primera mano de gasolina, para dotar de fondos a esa Comisión, la cual se encargaría de construir, -- conservar y mejorar los caminos mexicanos.

Este Organismo principió siendo independiente hasta el año de 1931 en que se agregó a la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

Se trataba entonces de "construir carreteras a como diera lugar". -- Siendo su planeación elemental, otra vez se pensó en comunicar a la Ciudad de México con las ciudades y puertos costeros y fronterizos más importantes del país. La primera fue la de México-Puebla siguiendo las de Veracruz Acapulco, Toluca, Querétaro, Guadalajara y hacia el norte la de Ciudad --- Juárez.

El régimen Cardenista marcó de modo importante esa política. En -- 1930 estableció formalmente el sistema de cooperación del Gobierno Federal con los gobiernos de los estados, ésto para construir caminos estatales y

así la norma siguió siendo construir. Se dedicaba el 80 y el 90% de los presupuestos respectivos.

El gobierno del General Avila Camacho tuvo que enfrentarse a las dificultades en los transportes de materiales básicos y primarios hacia la frontera del Norte, pues los ferrocarriles a pesar del intenso trabajo a que fueron sometidos no eran suficientes por sí solos y las carreteras troncales no auxiliaban lo suficiente.

El gobierno con ayuda de créditos y técnicas extranjeras emprendió entonces la rehabilitación ferroviaria, al mismo tiempo que intensificó la construcción de carreteras troncales.

Hacia el año de 1938 se contaba con 8,463 kms. de carreteras de los que sólo 6,428 kms, eran transitables en todo tiempo. Como habíamos mencionado sólo se tenía una troncal al norte, la de México-Ciudad Juárez, y aparte de los caminos a Veracruz y Acapulco, no existían rutas transversales, transitaban en "todo tiempo". Pero de 1939 a 1950 se terminaron tres grandes troncales hacia el norte, quedando comunicadas con la ciudad de México las ciudades de: Tijuana, Nogales y Nuevo Laredo. También una troncal al sur a Ciudad Cuauhtémoc con la que por vez primera quedó comunicada por carretera la frontera con Guatemala.

En el año de 1943 había 15,456 kms. de los cuales casi su totalidad eran transitables, en este tiempo se dio preferencia a construir carreteras en zonas carentes de toda comunicación y a fomentar caminos veci

nales y una red de caminos que en su primera etapa actuaran como líneas secundarias alimentadoras de los ferrocarriles, pero el gobierno del Lic. Miguel Alemán se propuso terminar los troncales en construcción; así como impulsar la construcción de carreteras que además de alimentar a los ferrocarriles, uniesen el territorio nacional, construir caminos vecinales y lograr la rehabilitación total de los ferrocarriles.

En este mismo período del gobierno se creó la Constructora que a partir del 3 de junio de 1959 con el nombre de (C.P.F.I.S.C.) Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, la cual sólo administra y conserva los caminos directos (autopistas) y los puentes de cuota.

En la actualidad ya se cuenta con una red de más de 185,000.00 kms. de carreteras para automóviles y se ha comunicado por medio de estos vehículos al 57% del Territorio Nacional. Sintetizando la política de los caminos según el Ing. Javier Barros Sierra será integrar la infraestructura económica del país y coadyuvar el desarrollo económico mediante nuevas fuentes de trabajo, la apertura de regiones aún inexploradas y el mejoramiento técnico y económico de los transportes y la integración social del país.

F E R R O C A R R I L E S

En 1865 se comenzó la construcción de ferrocarriles que se terminó prácticamente en 1910 habiéndose construido 9128 km. casi todos de norte a sur exceptuando dos de México a Veracruz, el Transísmico de Salina-Cruz a Coatzacoalcos y tramos de otros ferrocarriles como parte del Chihuahua Pacífico que se llamaba Kansas City-México y Oriente y el de Durango, Dgo. - al salto Dgo.

De 1910 a 1934 no hubo construcción de ferrocarriles, en 1934 el General Lázaro Cárdenas ordenó la formación de una empresa paraestatal que se llamó la Ferromex hizo la construcción del ferrocarril Caltzonzn (Uruapan) Apatzingan, después se disolvió la compañía alrededor de 1940 y se creó la Dirección General de Construcción de Ferrocarriles que siguió con el ferrocarril del sureste que va de Coatzacoalcos a Campeche y que se inauguró en 1950 con una longitud de 735 km., el Sonora a Mexicali Baja California con una longitud de 523 km. y que se inauguró en 1948, se siguió con la construcción del ferrocarril Achotal-Medias Aguas con longitud de 20 Kms. y es un acortamiento para el ferrocarril transísmico al ferrocarril San Carlos Ciudad Acuña. Se trabajó en el ferrocarril Durango Mazatlán con curvatura máxima de ocho grados en el cual se hicieron todas las terracerías, los túneles y los puentes quedando abandonado desde 1955, en 1956 se reinició la construcción del ferrocarril Chihuahua Pacífico, el cual quedó terminado y fue inaugurado en 1961. En 1963 se inició el ferrocarril México-Cuautla, el cual se terminó en 1965.

Se inició la doble vía de Huehuetoca a Querétaro, se hizo la construcción de el ferrocarril Viborillas-Villa de Reyes y del ramal Rinconcillo-Poz Blanco (Dolores Hidalgo, Gtc.) estos se terminaron en 1975.

En 1980 se terminó la construcción del ferrocarril a las Truchas con una longitud de 250 Kms. La doble vía de Huehuetoca está por terminarse y se inicia la construcción de una doble vía electrificada (México-Querétaro). En total suman de 1910 a la fecha 2500 Kms. lo que nos dá un total de 11,628 Kms. de la red ferrocarrilera nacional la cual para que funcionara de acuerdo a los que necesita el país debería de ser 100,000 Kms, es decir nos falta construir alrededor de 90,000 Kms. de ferrocarriles y los caminos que deberán dar servicio a estos ferrocarriles.

EJEMPLO:

Los medios de transporte son fundamentales para que pueda haber -- producción y para demostrarlo vamos a poner un ejemplo:

En un lugar hemos producido maíz pero no hay camino donde puedan entrar camiones y hay que sacarlo en un tramo de 50 kilómetros a lomo de mula.

Una mula puede caminar 50 kilómetros en un día con una carga de -- 80 kilogramos.

Una mula se alquila a razón de \$500.00 por día si dividimos \$500.00 entre 80 kgs., nos dará el precio de un kilogramo $\frac{\$500.00}{80 \text{ kgr.}} = \6.25 kilogramo.

Si el maíz tiene un precio de garantía de \$3.00/kgr. no conviene sacarlo a lomo de mula a \$6.25/kgr.

Si transportamos en camión esa misma distancia, costará el transporte de 50 kms., de un costal de 80 kgr. a razón de \$16.00 por costal --

$$\frac{\$16.00}{80 \text{ kgr.}} = \$0.20/\text{kgr.}$$

Si transportamos ese mismo costal de 80 kgr. por avión, costaría su transporte de 50 kms. \$160.00 aproximadamente, es decir a razón de --- \$2.00/kgr. Si el mismo costal de 80 kgr. se transporta por ferrocarril -- costaría su transporte de 50 kms. \$1.60 aproximadamente, es decir \$0.02 - kgr. de lo cual concluimos que el F.C. es el medio más económico de transporte.

Esto no siempre resulta lo más económico pues algunas ocasiones - el producto tiene que transportarse en forma rápida para evitar que los - productos se pierdan debido a las características del mismo.

El ejemplo anterior es una comprobación numérica de lo necesario - que son los ferrocarriles para el futuro económico de México para lo cual debemos extender la red y hacer caminos alimentadores a la brevedad posi- ble.

ESPECIFICACIONES GEOMETRICAS PARA LAS CARRETERAS.

CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS

CLASIFICACION.

Los caminos se clasifican de acuerdo con su capacidad de tránsito en la forma siguiente:

- A.1) Tipo "Especial", para un T.D.P.A. (tránsito diario promedio anual) - superior a tres mil, equivalente a un T.H.M.A. (tránsito horario máximo anual) mayor de trescientos vehículos.
- A.2) Tipo "A" para un T.D.P.A. de mil quinientos a tres mil, equivalente a un T.H.M.A. de ciento ochenta a trescientos sesenta vehículos.
- A.3) Tipo "B" para un T.D.P.A. de quinientos a mil quinientos equivalente a un T.H.M.A. de sesenta a ciento ochenta vehículos.
- A.4) Tipo "C" para un T.D.P.A. de cincuenta a quinientos, equivalente a un T.H.M.A. de seis a sesenta vehículos.
- A.5) Tipo D. y E antigua "Brecha" para un T.D.P.A. hasta de cincuenta, -- equivalente a un T.H.M.A. hasta de seis vehículos.

En el número de vehículos indicados en el párrafo anterior está - considerado un 50% de vehículos pesados.

Los caminos de tipo "Especial", requieren, por el gran volumen de - tránsito que van a desalojar de un proyecto mejor estudiado y ser especial.

El proyecto de los caminos "A", "B" y "C" deberán ajustarse a los - anchos de corona y de carpeta indicados en las tablas Nos. 1, 2, y 3, los -

valores dados en ellas, para las otras características son solo de carácter limitativo.

B) Velocidad de proyecto.- La velocidad de proyecto es definida por la A.A.S.H.O., como la velocidad determinada por diseño y correlación de las características geométricas de un camino para la operación de vehículos. Es la máxima seguridad y velocidad que pueden conservarse sobre una sección determinada del camino cuando las condiciones son favorables, esto siempre que las características del diseño del camino sean conservadas.

Camino tipo especial con camellón central, para separar los sentidos de circulación y especificaciones superiores al tipo "A"

Características Geométricas	Unidades	CAMINO TIPO "A"			
		Terreno Plano y Lomerío Suave	Lomerío Fuerte	Montañoso poco Escarpado	Montañoso muy Escarpado
Velocidad de Operación	Km/H.	100	80	70	60
Velocidad de Proyecto	Km/H.	70	60	50	40
Ancho de corona	M.	9.00	9.00	8.50	8.00
Ancho de carpeta	M	6.10	6.10	6.10	6.10
Grado máximo de Curvatura	Grados	8°	11°	16°30°	26°
Pendiente Gobernadora	%	20	3.5	4.0	4.5
Pendiente Máxima	%	4.0	5.0	5.5	6.0

TABLA No. 1

CAMINO TIPO "B"

Características Geométricas	Unidades	Terreno Plano y Lomerío		Montañoso	Montañoso
		Suave	Fuerte	poco Escarpado	Muy Escarpado
Velocidad de Operación	Km/H.	80	70	60	50
Velocidad de Proyecto	Km/H.	60	50	40	35
Ancho de corona	M.	8.00	8.00	7.50	7.00
Ancho de car- peta	M.	6.10	6.10	6.10	5.50
Grado Máximo de Curvatura	Grados	11°	16°30'	26°	35°
Pendiente Gobernadora	%	2.5	3.5	4.5	5.0
Pendiente Máxima	%	4.5	5.5	6.0	6.5

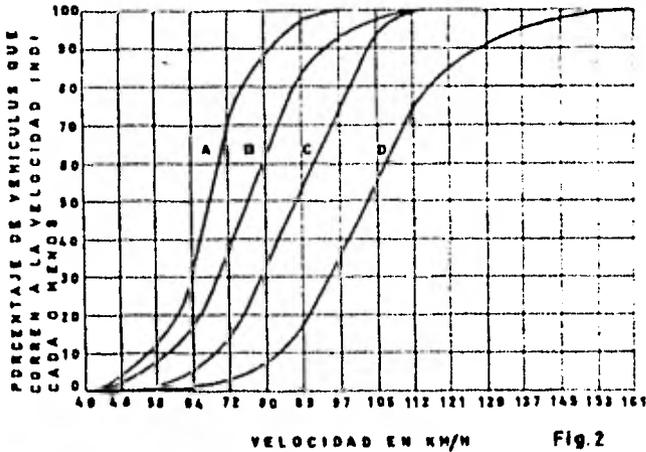
TABLA No. 2

CAMINO TIPO "C"

Características Geométricas	Unidades	Terreno Plano y Lomerío Suave	Lomerío Fuerte	Montañoso poco Escarpado	Montañoso muy Escarpado
Velocidad de Operación	Km/H.	70	60	40	35
Velocidad de Proyecto	Km/H.	50	40	30	25
Ancho de Corona	M.	7.00	7.00	6.50	6.00
Ancho de carpeta	M.	5.50	5.50	5.50	5.50
Grado Máximo de Curvatura	Grados	16°30'	26°	47°	67°
Pendiente Gobernadora	%	3.0	4.0	4.5	5.0
Pendiente Máxima	%	5.0	6.0	6.5	7.0

TABLA No. 3

A.A.S.H.O. recomienda que el grado del proyecto de la velocidad sea lo más grande posible para satisfacer las necesidades de casi todos los conductores en la actualidad y para la vida futura del camino. Esto es muy difícil de llevarlo a la práctica por muchas razones, como puede



A= Velocidad para carreteras rurales.

B= Velocidad para carreteras rurales modernas.

C= Velocidad para supercarreteras rurales modernas (Vel. limitada)

En primer lugar el promedio de velocidad ha aumentado con el tiempo aproximadamente uno y medio Km/Hr. anualmente y así puede seguir aumentando. En segundo lugar, en un tiempo determinado, las preferencias individuales y criterios respecto a la velocidad que debe conservarse muestra una variación considerable según lo indican las curvas C y D. Nótese que donde el límite de velocidad es aumentado, un proyecto de velocidad de 112

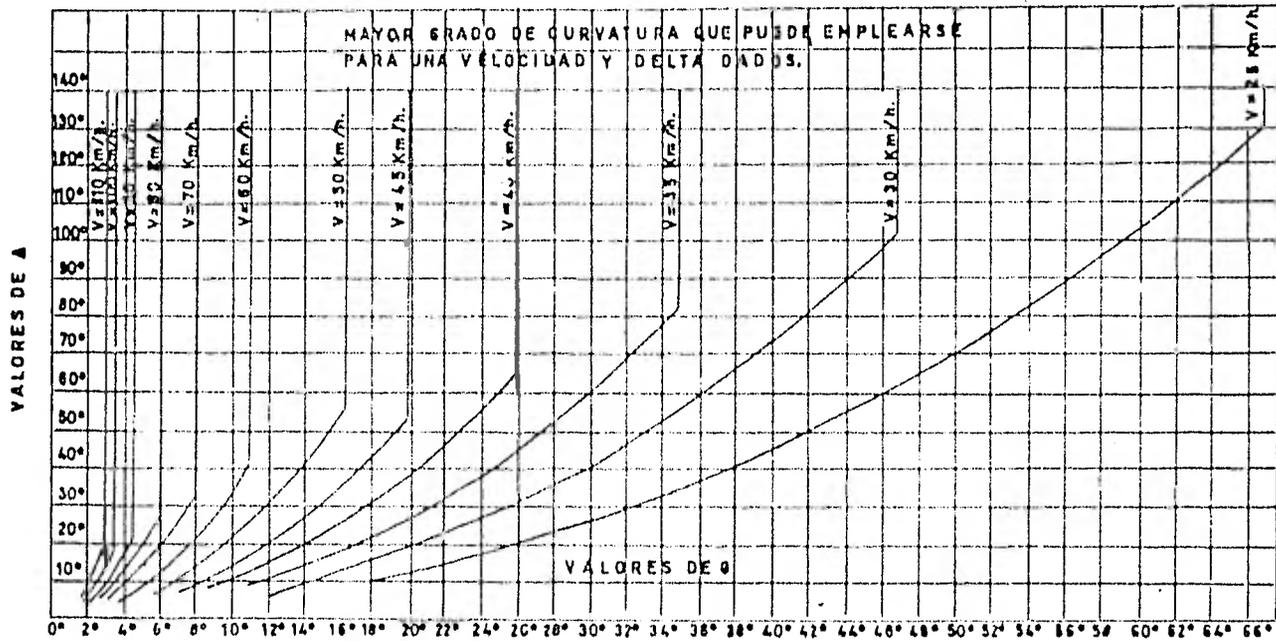
Km/Hr. y casi el 10% algunas veces refiriéndose a ellos como, operadores-peligrosos, sobre pasan los 128 Km/Hr. La selección de la velocidad de -- proyecto apropiado es en extremo importante, porque determina el límite - de curvatura, la distancia de velocidad y otras características geométricas.

Puesto que la disposición de fondos a veces son limitados, existe la tendencia a reducir la velocidad de proyecto para ahorrar dinero. Sin embargo, el hacerlo así no es aconsejable. Cuando la economía es necesaria debe practicarse en otros conceptos que no sean las características - geométricas. La sección del camino puede ser mejorada y ensanchada a costo razonable. La superficie pavimentada puede ensancharse y mejorarse en cualquier fecha futura según los fondos de que se dispongan. Pero las características geométricas de alineamiento, pendiente y distancia de visibilidad, una vez que se han efectuado en el terreno y unidas a la superficie del pavimento y derecho de vía, son éstas, más difíciles y caras de - corregirse.

La práctica de revisión detallada de A.A.S.H.O. es clasificar los caminos primero como rurales o urbanos y luego las supercarreteras y otros.

La topografía de los terrenos por donde estarán los caminos está - clasificada como: plana, lomerío y montañoso, delinándose de la siguiente manera:

En topografía plana: cortes y terraplenes hasta de 3.00 Mts. Son comunes, pendientes de 3% o menos pueden ser obtenidas sin afectar el alineamiento.



GRAFICA No.2

En topografía de lomerío: cortes y terraplenes se dan hasta de 24.00 Mts. y la máxima pendiente en tramos cortos.

En topografía montañosa: las terracerías tienen cañones profundos y pendientes escarpadas, aquí se requieren las máximas pendientes.

A.A.S.H.O. recomienda velocidades de proyecto mínimas en carreteras inter-estatales, clasificadas por su topografía y localización según Tabla No. 4; obsérvese que la máxima velocidad de proyecto que se muestra en dicha tabla es de 112 Km/Hr., sin embargo, algunos ingenieros proponen que cuando sea posible se proyecten velocidades de 160 Km/Hr. Ellos sostienen que aún tomando en cuenta las limitaciones del operador y vehículo para desarrollar 160 Km/Hr entre más alta sea la velocidad de proyecto, - más seguridad se tiene en garantizar buenas carreteras para las necesidades futuras, así como el aumento de seguridad de operación.

El diseño de altas velocidades, estipuladas para carreteras interestatales, se basan en el hecho, de que aunque su costo sea grande, debe formarse una red de carreteras de alto volumen y alta velocidad. En cambio el diseño de velocidad para carreteras rurales está más supeditado a su costo, que la más de las veces está limitado.

Cambios repentinos a la velocidad de proyecto en un camino deben ser evitados, particularmente en caminos de alta velocidad. Algunos diseñadores prefieren hacer este cambio en incrementos de 8 Km/Hr. y no en incrementos de 16 Km/Hr., como aconseja la A.A.S.H.O.

TABLA No. 4

VELOCIDAD DE PROYECTO MÍNIMO EN CARRETERAS INTER-ESTATALES

Clase de Camino	Descripción Topográfica (Tipo de Terreno)	Unidad	Velocidad
Rural	Terreno Plano	KM/Hr.	112
Rural	Terreno Ondulado	KM/Hr.	97
Rural	Terreno Montañoso	KM/Hr.	80
	Urbano	KM/Hr.	80

C) Alineamiento Horizontal.- (Esto es respecto a las curvas horizontales).

Las curvas circulares tienen como datos característicos los siguientes:

C1) Grado de curvatura (Gc) cuyo valor está dado por la fórmula

$$Gc = \frac{180^\circ a}{R} = \frac{1145.92}{Rc}$$

en donde:

- Gc = Grado de curvatura en grados
- a = Arco de veinte metros de longitud
- Rc = Radio de curva circular en metros

Los valores máximos que se deben considerar para las distintas velocidades de proyecto quedan indicados en las Tablas 1, 2 y 3.

C.2) Radio de curvatura (Rc), que está ligado directamente a el Grado de --

Curvatura según la fórmula:

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

R_c = Se expresa en metros

C.3) Angulo de Deflexión (A), que es el ángulo medido directamente en el terreno entre la prolongación de la tangente anterior y la siguiente. Su valor se expresa en grados. Cuando se trata de una curva circular comprendida entre espirales, el ángulo de deflexión de aquellas es - A_c y está dado por la igualdad:

C.5) Longitud de curva (L_c) cuyo valor está dado por la fórmula:

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

en donde:

L_c = Longitud de curva, se expresa en metros

Δ = Deflexión, en grados

G_c = Grado de curva, en grados.

C.6) Distancia mínima de velocidad, llamémosla "m".- Toda curva circular debe satisfacer la distancia de visibilidad de parada, para una velocidad de proyecto y grado de curvatura dados. Para ello cuando exista un obstáculo en el lado interior de la curva, la distancia "m" mínima que debe haber entre él y el centro del carril interior de la curva está dada por la fórmula que aparece en la gráfica No. 1, en la que se dan los valores mínimos de "m" para valores distintos de "v" y -- "G_c" y para 5.50 y 6.10 metros de ancho de carpeta.

C.7) La sobre-elevación en las curvas circulares (S), se calcula con la --

siguiente fórmula:

$$S = Gc \frac{S \text{ máx.}}{G, \text{ Máx.}}$$

S = Sobre-elevación dado en % (por ciento)

S máx = Sobre-elevación máxima para G Máx. admitida -12%

Gc = Grado de curvatura que se trate, en grados.

Gc máx = Grado máximo admitido para cada velocidad en -
grados (Dado por la Gráfica No. 2)

C.8) La ampliación en curvas circulares es la distancia que se agrega al ancho normal de la corona y de la carpeta, en el lado interior de las curvas circulares. Es función de la velocidad de proyecto, del grado de curvatura y del ancho de carpeta, se obtiene por medio de la Tabla No. 5 La ampliación determinada se mantendrá para toda la longitud de la curva circular.

siguiente fórmula:

$$S = Gc \frac{S \text{ máx.}}{G. \text{ Máx.}}$$

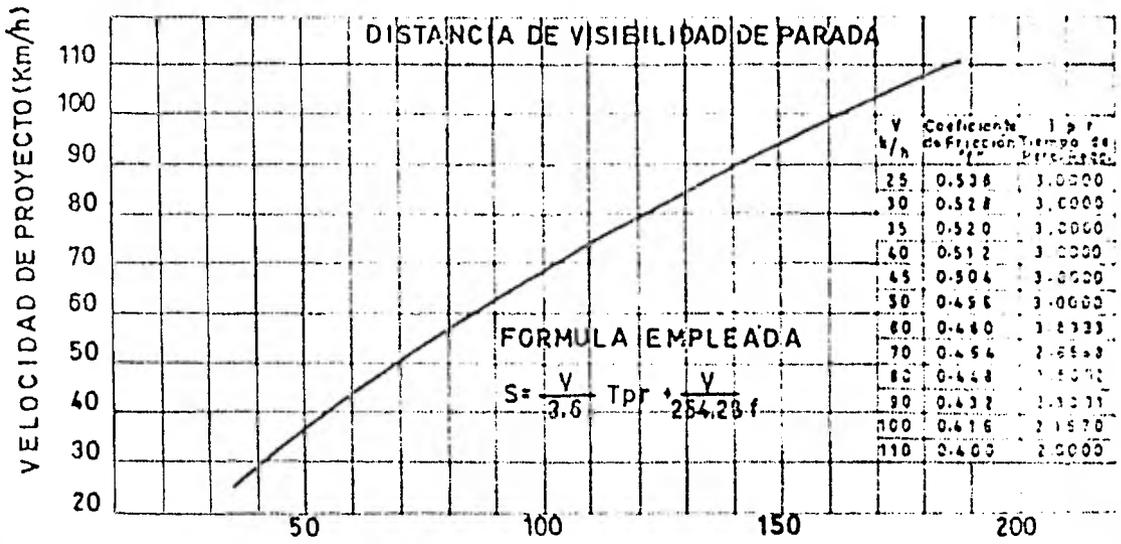
S = Sobre-elevación dado en % (por ciento)

S máx = Sobre-elevación máxima para G Max. admitida -12%

Gc = Grado de curvatura que se trate, en grados.

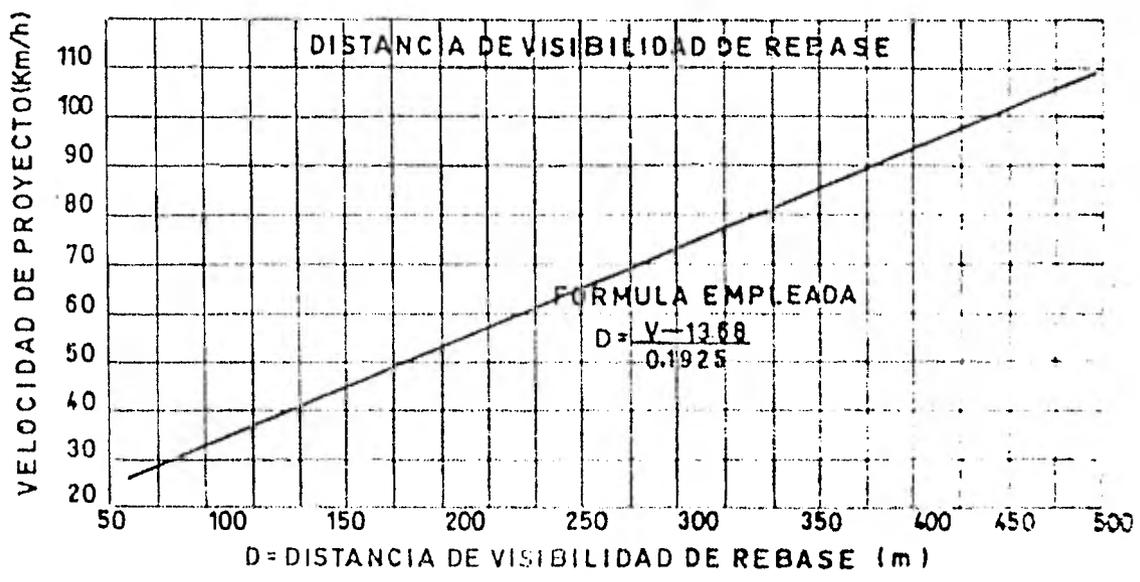
Gc máx = Grado máximo admitido para cada velocidad en -
grados (Dado por la Gráfica No. 2)

C.8) La ampliación en curvas circulares es la distancia que se agrega al -
ancho normal de la corona y de la carpeta, en el lado interior de las
curvas circulares. Es función de la velocidad de proyecto, del grado-
de curvatura y del ancho de carpeta, se obtiene por medio de la Tabla
No. 5 La ampliación determinada se mantendrá para toda la longitud de
la curva circular.



S = DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)

GRAFICA N.º.4



D = DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE (m)

GRAFICA N.º.3

AMPLIACION DE CURVAS (EN CENTIMETROS)

Grado de Curva	V=25 Km/h	V=30 Km/h	V=35 Km/h.		V=40 Km/h.		V=45 Km/h.		V=50 Km/h	
	550	550	550	610	550	610	550	610	550	610
0°30'	40	40	40	10	50	20	50	20	50	20
1°00'	50	50	50	20	50	20	50	20	50	20
1°30'	50	50	50	20	50	20	60	30	60	30
2°00'	50	60	60	30	60	30	60	30	60	30
2°30'	60	60	60	30	60	30	70	40	70	40
3°00'	60	60	70	40	70	40	70	40	70	40
3°30'	60	70	70	40	70	40	80	50	80	50
4°00'	70	70	70	40	80	50	80	50	80	50
4°30'	70	70	80	50	80	50	80	50	90	60
5°00'	70	80	80	50	80	50	90	60	90	70
5°30'	80	80	80	50	90	60	90	60	90	70
6°00'	80	80	90	60	90	60	90	60	100	70
6°30'	80	80	90	60	90	60	100	70	100	70
7°00'	80	90	90	60	90	60	100	70	100	70
7°30'	90	90	90	60	100	70	100	70	110	80
8°00'	90	90	100	70	100	70	110	80	110	80
8°30'	90	100	100	70	100	70	110	80	110	80
9°00'	90	100	100	70	110	80	110	80	120	90
9°30'	100	100	110	80	110	80	120	90	120	90
10°00'	100	100	110	80	110	80	120	90	120	90
10°30'	100	110	110	80	120	90	120	90	130	100
11°00'	100	110	110	80	120	90	130	100	130	100
11°30'	110	110	120	80	120	90	130	100	130	100
12°00'	110	120	120	90	130	100	130	100	140	110
12°30'	110	120	120	90	130	100	140	100	140	110
13°00'	110	120	120	90	130	100	140	110	140	110
13°30'	120	120	130	100	130	100	140	110	150	120
14°00'	120	130	130	100	140	110	140	110	150	120
14°30'	120	130	130	100	140	110	150	120	150	120
15°00'	120	130	140	110	140	110	150	120	150	120
15°30'	130	130	140	110	140	110	150	120	160	130
16°00'	130	140	140	110	150	120	150	120	160	130
16°30'	130	140	140	110	150	120	160	130	160	130
17°00'	130	140	150	120	150	120	160	130		
17°30'	140	140	150	120	160	130	160	130		
18°00'	140	150	150	120	160	130	170	140		
18°30'	140	150	160	130	160	130	170	140		
19°00'	140	150	160	130	160	130	170	140		
19°30'	150	150	160	130	170	140	170	140		
20°00'	150	150	160	130	170	140				
20°30'	150	160	170	140	170	140				
21°00'	150	160	170	140	170	150				
21°30'	160	160	170	140	180	150				
22°00'	160	170	170	140	180	150				
22°30'	160	170	180	150	180	150				
23°00'	160	170	180	150	190	160				
23°30'	170	170	180	150	190	160				
24°00'	170	180	180	150	190	160				
24°30'	170	180	190	160	190	160				
25°00'	170	180	190	160	200	160				
26°00'	180	190	190	160	200	170				
27°00'	190	190	200	170						
28°00'	190	200	200	170						
29°00'	190	200	210	180						
30°00'	200	210	220	190						

T A B L A No. 5

C.9) Tangente de transición (T.T.) Esta sirve para unir las curvas circulares a las tangentes - su longitud se calcula con la misma fórmula - que la de la espiral de transición.

C.10) Curvas Espirales de Transición. Su longitud (L_e ó T.T.). Están en -- función de la velocidad de proyecto y del grado de curva circular. - Se emplearan cuando lo fije el proyecto. Su cálculo está basado en - la siguiente fórmula:

$$L_e \text{ ó T.T.} = msa;$$

en donde:

L_e = Longitud de Espiral (ó de Tangente de Transición) en metros

m = Constante que varía entre 54.2 y 125.0 (para velocidades de 25 Km/Hr. a 110 Km/Hr.

S = Sobre-elevación de la curva circular correspondiente, se -- expresa en (%) por ciento.

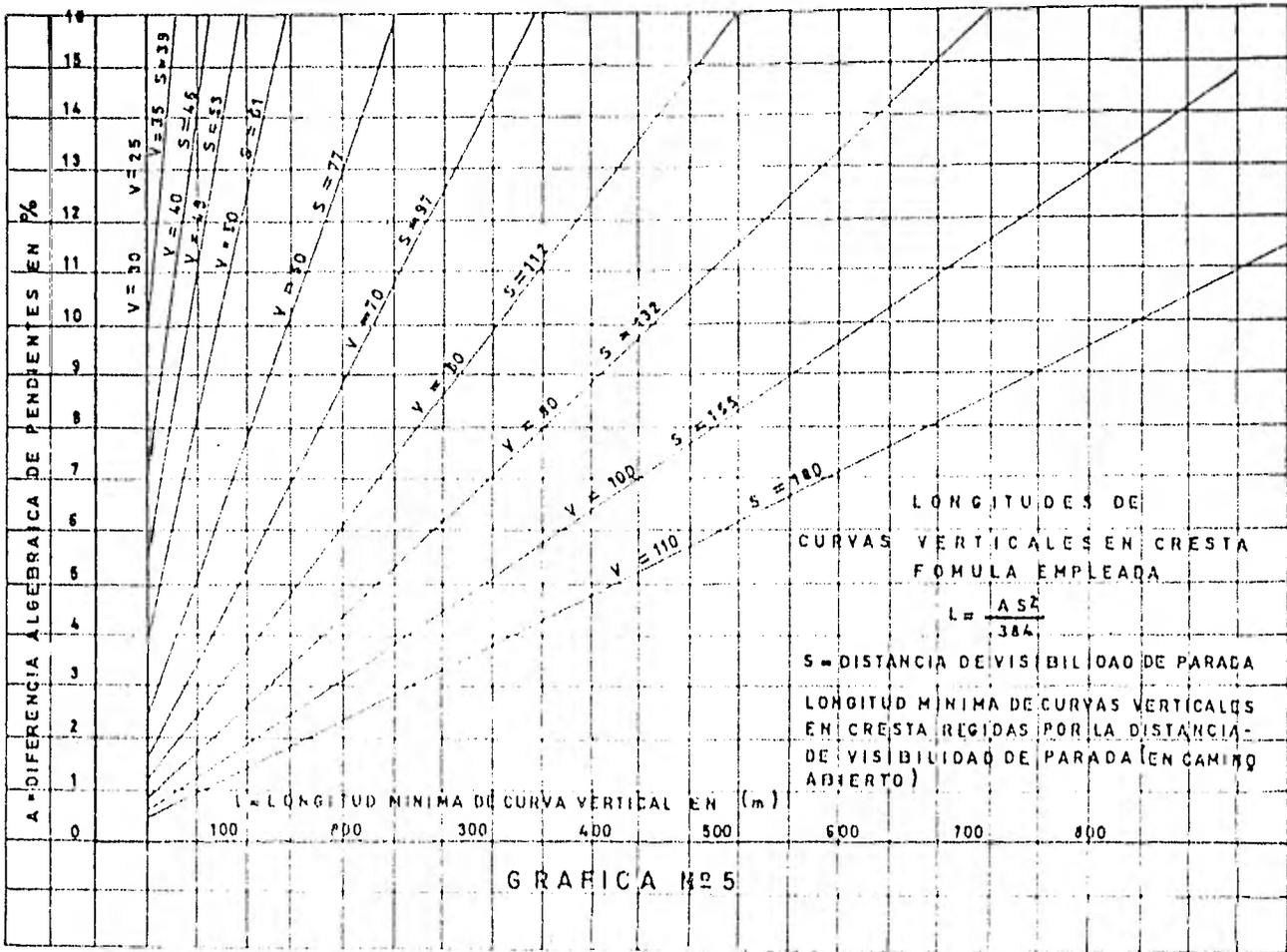
a = Ancho de carpeta, se expresa en metros.

El ángulo de deflexión total de una curva espiral (θ_e) está dado por la fórmula:

$$\theta_e = \frac{L_e}{40} Gc; \text{ y está expresado en grados}$$

La subtangente total de la curva circular y la espiral (T_e) está dado por la fórmula:

$$T_e = (Rc + P) Tg \frac{A}{e} + K \text{ (Ver Fig. No. 3) dado en metros.}$$



GRAFICA Nº 5

El ángulo de deflexión para un punto intermedio de la espiral (0) está dado por la fórmula:

$$\theta = \frac{L^2}{L_e^2} \theta_e ; \text{ expresado en grados.}$$

y en donde:

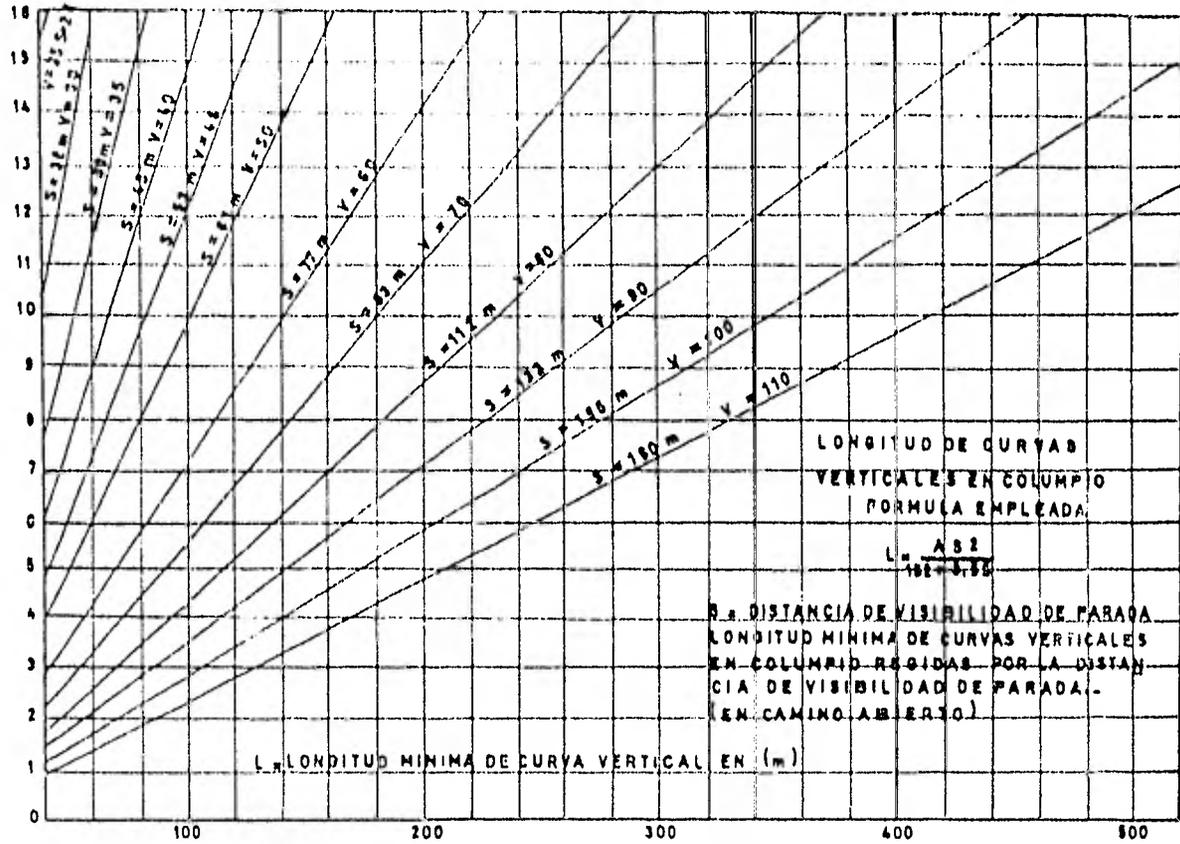
L = es la distancia del TE (ó ET) al punto considerado.

Los valores de los elementos básicos de las curvas espirales de -- transición se encuentran tabulados en la Tabla No. 6, para diferentes grados de curvacircular y para una velocidad de proyecto de 70 Km/Hr.

C.11) La sobre-elevación para las curvas espirales y circulares se considere en la siguiente forma:

Para curvas espirales su cálculo se considera girando sobre el eje - del camino al efectuar la transición entre el bombeo y la sobre-elevación- total, la corona se considerará formada por dos líneas transversales que - corresponden a las dos alas del mismo y que parten del eje del camino con- distintas pendientes. Este tramo del camino en que la corona en sección - transversal no es una sola recta, es el comprendido entre dos puntos situa- dos a "N" metros antes y después del ET (ó (TE), ver Fig. No. 4 La longi- tud de la espiral de transición servirá para efectuar en ella el cambio de la sección del bombeo en la tangente a la sobre-elevación total en la cur- va circular. Esto requiere considerar lo siguiente:

A=DIFERENCIA ALGEBRAICA DE PENDIENTES EN %



GRAFICA Nº 6

Primero.- El ala exterior de la curva se comenzará a sobreelevar a partir de la sección de bombeo desde el punto situado a "N" metros, atrás del TE (o adelante del ET), hasta llegar a éste, a nivel. De ahí en adelante se hará variar la sobre-elevación linealmente hasta el EC (ó CE) en donde tendrá su valor máximo, que mantendrá a todo lo largo de la curva circular. El punto situado a "N" metros atrás del TE (ó adelante del ET) está dado precisamente por la prolongación de la recta que marca la variación lineal que se le dá a la sobre-elevación dentro de la espiral.

Segundo.- El ala interior de la curva se mantendrá con su pendiente de bombeo hasta el punto dentro de la espiral situado a la distancia "N" adelante del TE (ó atrás del ET), en donde el ala exterior tiene el mismo valor absoluto de 2% de sobre-elevación. De aquí en adelante se incrementará progresivamente su valor hasta adquirir el máximo en el EC (ó CE) de la curva circular, manteniéndola en toda ella.

Para las curvas circulares, la transición de la sobre-elevación en las alas del camino se debe tratar en la misma forma indicada para las espirales. Debe considerarse entonces que el T.T. corresponde al TE (ó ET) y que el PT corresponden al Ec y C E respectivamente.

C.12) La ampliación en las transiciones es la longitud de la curva espiral o de la tangente de transición, que sirve para hacer en ella la transición del ancho normal de corona en tangente al ancho con ampliación completa en la curva circular. La variación de la ampliación es una función lineal de su distancia al TE, ET ó T.T. (Ver Fig. No. 3).

C.13) El sobre-ancho en las curvas se define con la fórmula:

$$S/A = \frac{E}{L/T = P}$$

En donde:

E: Espesor de Base en metros

L/T Talud de terracerías en %

F. Pendiente transversal del camino en %

Ver Fig. No. 5

C.14) La distancia de visibilidad de parada (d), cuyo valor está dado por la fórmula:

$$S = d = \frac{V \times T_{pr}}{3.6} = \frac{V^2}{254 (f+p)}$$

en donde:

S = d = distancia de frenado en metros

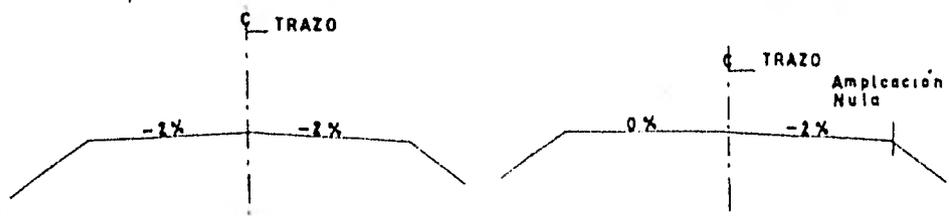
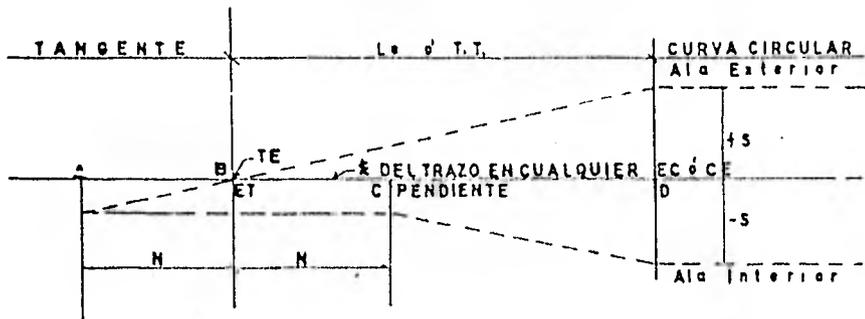
V = Velocidad de proyecto en Km/Hr.

T_{pr} = Tiempo de percepción y reacción, en segundos, que varía con la velocidad.

f+p Coeficiente de Fricción del pavimento

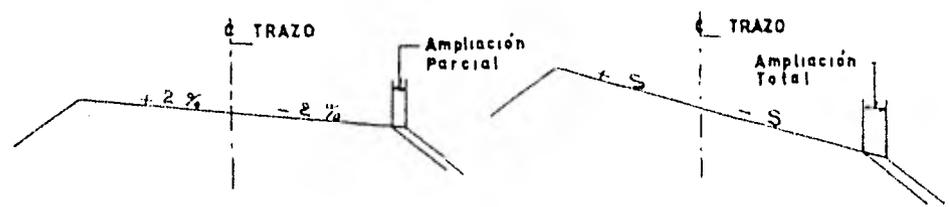
Se presenta una gráfica (No. 4) para la determinación de "S"

C.15) f = coeficiente de fricción entre las llantas y la superficie de rodamiento considerado condición de "mojado" para todos los tipos-



SECCIÓN EN A.
Se inicia el giro del ala Ext.

SECCIÓN EN B.
Se toma como eje de giro la ϵ del trazo



SECCIÓN EN C.
Se inicia el giro del ala interior

Fig.4

SECCIÓN EN D.
Termina el giro y principia la Sobreelevación de la C.C.

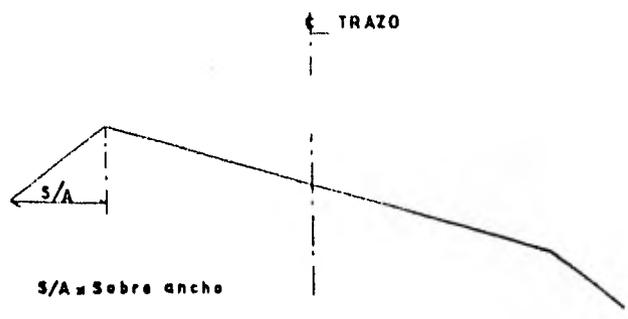


Fig.5

de vehículos, pavimentos y dibujo de las llantas; este coeficiente varía con la velocidad.

C.16) Pendiente del camino, que se considerará: Positiva (+) para subidas en el sentido del cadenamiento; Negativa (-) para bajadas, en el sentido del cadenamiento; como generalmente los valores que se obtienen considerando las pendientes fijadas dan diferencias despreciables, en la gráfica No. 4, donde están tabulados los distintos valores de T_{pr} y f para diferentes velocidades, ahí se ha considerado una pendiente nula.

C.17) Distancia de visibilidad de Rebase, cuyo valor está dado por:

$$D = \frac{V - 13.68}{0.1925}$$

en donde:

V: Velocidad de proyecto en Km/ Hr.

Sus valores para distintas velocidades están dados en la gráfica No.3.

D.) ALINEAMIENTO VERTICAL.- La longitud mínima de las curvas verticales en cresta debe satisfacer la distancia de visibilidad de parada, pero podrá emplearse una mayor longitud para satisfacer el rebase y aún más.

D.1) La longitud mínima de la curva vertical parabólica en cresta, está en función de: la velocidad de proyecto, de la diferencia algebraica de pendientes y de la distancia de visibilidad de parada y se calcula -- con la siguiente fórmula:

$$L = \frac{A S^2}{200 (h_1 + h_2)^2}$$

en donde:

L : Longitud en metros de la curva vertical en cresta

S : Distancia en metros de visibilidad de parada

A : Diferencia algebraica de pendientes en por ciento

h_1 : Altura de ojo arriba del pavimento (1.15 mts.)

h_2 : Altura del objeto sobre el pavimento (0.10 mts.)

Substituyendo los valores h_1 y h_2 y simplificando la fórmula anterior tendremos:

Para la distancia de visibilidad de parada:

$$L = \frac{AS^2}{384}$$

En la Gráfica No. 5 se encuentran los valores de las longitudes de las curvas verticales en cresta, para las variables: velocidad y diferencia algebraica de pendientes.

- D.2) Para el cálculo de la longitud de la curva vertical en columpio se tomará en cuenta como factor primordial la distancia de visibilidad nocturna dada por la intensidad y ángulo de luz luminoso de los faros del vehículo, para que satisfaga una distancia mínima igual a la de parada. El cálculo está en función de la velocidad del vehículo, de la diferencia algebraica de pendientes de las tangentes vertica-

les y de la potencia de los faros del vehículo. Su valor está dado por las fórmulas:

$$= \frac{A S^2}{152 + 3.5 S} \text{ cuando } S \leq L$$

y

$$L = 2S - \frac{152 + 3.5 S}{\quad} \text{ cuando } S > L$$

en donde:

- L: Longitud de la curva vertical en columpio en metros.
- S: Distancia en metros de visibilidad con el haz luminoso, igual a la distancia de parada.
- : Diferencia algebraica de pendientes en por ciento.

En la Gráfica No. 6 se pueden obtener los valores de la longitud de la curva vertical en columpio, para satisfacer la visibilidad de parada los distintos valores de "A".

ESPECIFICACIONES GEOMETRICAS PARA LAS VIAS FERREAS

CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS

1. CLASIFICACION.

1.1.- Las vías férreas se clasifican de acuerdo a su volumen o a su velocidad de la operación de trenes en la forma que a continuación se describe:

- a) Clase A, para un tráfico de carga mínimo anual de cinco (5) millones de toneladas o para un tráfico de trenes de pasajeros o de carga que circulen a velocidades mínimas de operación consignadas en la tabla No. 1.
- b) Clase B, para un tráfico de carga anual variable entre dos (2) y 5 (cinco) millones de toneladas o para un tráfico de trenes de pasajeros o de carga que circulen a velocidades que fluctúen entre los valores consignados en la tabla No. 2.
- c) Clase C, para un tráfico de carga anual variable entre medio (0.5) millón y dos (2) millones de toneladas o para un tráfico de trenes de pasajeros o de carga que circulen a velocidades de operación que fluctúen entre los valores consignados en la tabla No. 3.
- d) Clase D, para un tráfico de carga máxima anual de medio (0.5) millón de toneladas o para un tráfico de trenes de pasajeros o de carga que circulen a las velocidades máximas de operación que están consignadas en la tabla No. 4.

T A B L A No. 1

VIAS FERREAS CLASE A

Características	Unidades	Terreno plano y lomerío suave	Terreno montañoso y lomerío fuerte	Terreno montañoso muy escarpado
Tráfico mínimo de carga anual.....	millones de toneladas	5	5	5
Velocidad mínima de operación en trenes de carga	km/h	75	60	55
Velocidad mínima de operación en trenes de pasajeros	km/h	100	80	70
Ancho de corona en tangentes	m	5.5 a 7.0	5.5 a 7.0	5.5 a 7.0
Ancho de cama en tangentes	m	7.0 a 8.5	7.0 a 8.5	7.0 a 8.5
Espesor de balasto o del conjunto balasto y sub-balasto	cm	20 a 60	20 a 60	20 a 60
Calibre mínimo del riel.....	kg/m	55	60	65
Curvatura máxima	°	2	3	4
Pendiente gobernadora máxima compensada	‰	0.5	0.7	1.0

T A B L A No. 2

VIAS FERREAS CLASE B

Características	Unidades	Terreno plano y lomerío suave	Terreno montañoso y lomerío fuerte	Terreno montañoso muy escarpado
Tráfico de carga anual	Millones de toneladas	2 a 5	2 a 5	2 a 5
Velocidad de operación en trenes de carga	km/h	55 a 75	45 a 60	40 a 55
Velocidad de operación en trenes de pasajeros.....	km/h	80 a 100	65 a 80	55 a 70
Ancho de corona en tangentes	m	5.5 a 6.6	5.5 a 6.6	5.5 a 6.6
Ancho de cama en tangentes	m	7.0 a 8.1	7.0 a 8.1	7.0 a 8.1
Espesor del balasto o del conjunto balasto y sub-blasto	cm	20 a 50	20 a 50	20 a 50
Calibre mínimo del riel	kg/m	45	50	55
Curvatura máxima	°	3	4.5	6
Pendiente gobernadora máxima compensada.	‰	0.7	1.0	1.5

T A B L A No. 3

VIAS FERREAS CLASE C

Características	Unidades	Terreno plano y lomerío suave	Terreno montañoso y lomerío fuerte	Terreno Montañoso muy escarpado
Tráfico de carga anual	Millones de toneladas	0.5 a 2	0.5 a 2	0.5 a 2
Velocidad de operación en trenes de carga	km/h	35 a 55	30 a 45	25 a 40
Velocidad de operación en trenes de pasajeros.	km/h	60 a 80	50 a 65	40 a 55
Ancho de corona en tangentes	m	5.0 a 6.2	5.0 a 6.2	5.0 a 6.2
Ancho de cama en tangentes	m	6.5 a 7.7	6.5 a 7.7	6.5 a 7.7
Espesor del balasto o del conjunto balasto y sub-balasto	cm	15 a 40	15 a 40	15 a 40
Calibre mínimo del riel	kg/m	40	45	50
Curvatura máxima	°	4	6	8
Pendiente gobernadora máxima com- pensada	‰	1	1.5	2

T A B L A No. 4
VIAS FERREAS CLASE D

Características	Unidades	Terreno plano y lomerío suave	Terreno montañoso y lomerío fuerte	Terreno montañoso muy escarpado
Tráfico máximo de carga anual	millones de toneladas	0.5	0.5	0.5
Velocidad máxima de operación en trenes de carga	km/h	35	30	25
Velocidad máxima de operación en trenes de pasajeros	km/h	60	50	40
Ancho de corona en tangentes	m	5.0 a 5.6	5.0 a 5.6	5.0 a 5.6
Ancho de cama en tangentes	m	6.5 a 7.1	6.5 a 7.1	6.5 a 7.1
Espesor del balasto o del conjunto balasto y sub-balasto	cm	15 a 30	15 a 30	15 a 30
Calibre mínimo del riel	kg/m	40	40	40
Curvatura máxima	°	6	8	10
Pendiente gobernadora máxima compensada	%	1.5	2.0	2.5

1.2.- Las normas geométricas de las vías férreas clasificadas como se indica, variarán según las características de los terrenos que atraviesen (según su topografía). En estos se considerarán las siguientes clases:

- a) terreno plano y lomerío suave.
- b) terreno montañoso y lomerío fuerte.
- c) terreno montañoso muy escarpado.

2.0.- CARACTERISTICAS.

2.1.- El proyecto debe hacerse de tal manera que su infraestructura como su superestructura, correspondan a la solución de conjunto que incluyan todos los elementos constructivos correspondientes.

2.2.- El proyecto de las vías férreas Clase A, deberá ajustarse a los anchos de corona y de cama, al espesor de balasto y al calibre de riel indicados en la tabla No. 1 de este capítulo; los valores dados en ella para las otras características, son solo de carácter limitativo.

2.3.- El de Clase B, al de la tabla #2.

2.4.- El de Clase C, al de la tabla #3, de este capítulo.

2.5.- El proyecto de las vías férreas Clase D, en la tabla No. 4.

3.0 RECOMENDACIONES GENERALES.

3.1.- De acuerdo con las conclusiones del estudio económico que justifique la construcción o la rehabilitación de una vía férrea, en función del volumen de tráfico inicial o existente y del tráfico estimado --

para un futuro de 10 a 15 años, así como el tipo de fuerza motriz - elegido o existente, debe determinarse la clase de dicha vía que -- gobierne su proyecto.

- 3.2.- El proyecto de una vía férrea deberá formularse de acuerdo con la - clasificación correspondiente, buscando la solución técnica y económica que corresponda al costo anual mínimo de construcción, operación y conservación, teniendo particular preocupación del efecto de las pendientes y del rendimiento de las locomotoras.
- 3.3.- La clasificación, hecha de acuerdo con las realidades actuales del - tráfico ferrocarrilero, representa las aspiraciones, en cuanto a las características geométricas, que deben satisfacer las actuales vías férreas para una rehabilitación operativa eficiente y las que necesitan las nuevas por construir, para lograr esa función esencial.
- 3.4.- La clase "A" es la meta para las vías férreas principales del sistema; las clases b y c corresponden a todas aquellas que son secundarias, indispensables o complementarias; y la clase "D" a de poca importancia.
- 3.5.- Las nuevas vías férreas y las que se rehabiliten, deben sujetarse al escantillón de un mil cuatrocientos treinta y cinco milímetros ----- (1,435 mm.).

PROPIEDADES DE LOS ALINEAMIENTOS HORIZONTAL Y VERTICAL.

1. ALINEAMIENTO HORIZONTAL.

1.1 El alineamiento horizontal es la proyección del eje de una vía férrea y corresponde a la subrasante.

1.2.- El alineamiento horizontal está constituido por rectas y curvas ligadas entre si, como sigue:

- a) Las rectas son proyección de las tangentes a las curvas del alineamiento horizontal.
- b) Las curvas son proyección de las curvas circulares, de las curvas compuestas y de las espirales del alineamiento horizontal.
- c) Dos tangentes sucesivas se unen por medio de una curva circular o de una curva compuesta, con o sin espirales.

1.3.- Las tangentes tienen las siguientes propiedades:

- a) Longitud T, definida por el cadenamiento de sus puntos extremos.
- b) Dirección y sentido, definidos por su rumbo astronómico.
- c) Localización, definida por las coordenadas de sus puntos extremos.

1.4.- Las tangentes deberán tener una longitud mínima de:

- a) sesenta mts., entre curvas de igual sentido.
- b) Veinte mts. entre curvas de sentido contrario.

1.5.- Las curvas circulares tienen las siguientes propiedades:

- a) Grado de curvatura, g , que es el ángulo subtenido por una curva --

b) Radio de la curva, R, que se calcula con la fórmula:

$$R = 10 \text{ CSC } \frac{G}{2}$$

c) Angulo de deflexión Δ , que es el que forma la prolongación de una tangente consecutiva.

d) Longitud, L, que se calcula con la fórmula

$$L = 20 \frac{\Delta}{G}$$

e) Cuerda, C, que se calcula con la fórmula

$$C = 2R \text{ SEN } \frac{\Delta}{2}$$

f) Flecha, F, que se calcula con la fórmulas:

$$F = R \text{ vers } \frac{\Delta}{2}$$

$$F = R \left(1 - \text{COS } \frac{\Delta}{2} \right)$$

g) Externa, E, que se calcula con la fórmulas:

$$E = R \text{ exs } \frac{\Delta}{2} =$$

$$E = R \left(\text{SEC } \frac{\Delta}{2} - 1 \right)$$

h) Subtangente, ST, que se calcula con la fórmula:

$$ST = R \text{ TANG. } \frac{\Delta}{2}$$

1.6.- Las curvas compuestas son aquellas por dos o más curvas circulares del mismo sentido y de distintos grados de curvatura; las curvas compuestas tienen las mismas propiedades que las curvas circulares.

1.7.- Las espirales sirven de transición entre una tangente y una curva circular ó entre dos curvas circulares de diferente grado de curvatura.

1.8.- Las espirales tienen las siguientes propiedades (fig. 1)

a) Variación constante del grado de curvatura en sus arcos circulares

b) Angulo central, θ , que es la suma de cada uno de los ángulos de cada uno de los arcos circulares que la forman

c) Longitud, L, que es la suma de cuerdas de los arcos que la forman y que se calculan con la fórmula:

$$L = \frac{40}{G}$$

d) Coordenadas x , y , donde la abscisa, x , es la proyección de la espiral sobre la subtangente, TST, y la ordenada, Y , es su proyección sobre la normal a la misma subtangente.

e) Angulo de deflexión, medido en el principio de la espiral de entrada, PT, o en el final de la espiral de salida, PT, a cualquier

punto correspondiente, CCn, que se calcula con la fórmula:

$$\text{TAN} \quad r = \frac{Y_n}{X_n}$$

Donde Xn, Yn, son las coordenadas del CCN, respecto del Pc ó del Pt.

f) Cuerda, Cn, medido el principio de la espiral de entrada, Pc, ó del final de la espiral de salida, Pt, a cualquier punto de enlace de la espiral correspondiente, CCn, que se calcula con la fórmula:

$$\text{CCn} = \frac{X_n}{\cos n}$$

1.9.- Las curvas circulares con espirales, tienen las siguientes propiedades:

a) Angulo de deflexión, Σ , que es la suma del ángulo central de la curvatura circular y de sus espirales y se calcula con la fórmula:

; Donde Σ indica suma.

b) Longitud, que es la suma de las longitudes de la curva circular y de sus espirales.

c) Subtangentes, TST, que se calculan con las fórmulas respectivas a cada caso, según se indica a continuación:

1.1 Con espirales asimétricas fig. No. 2 de este capítulo.

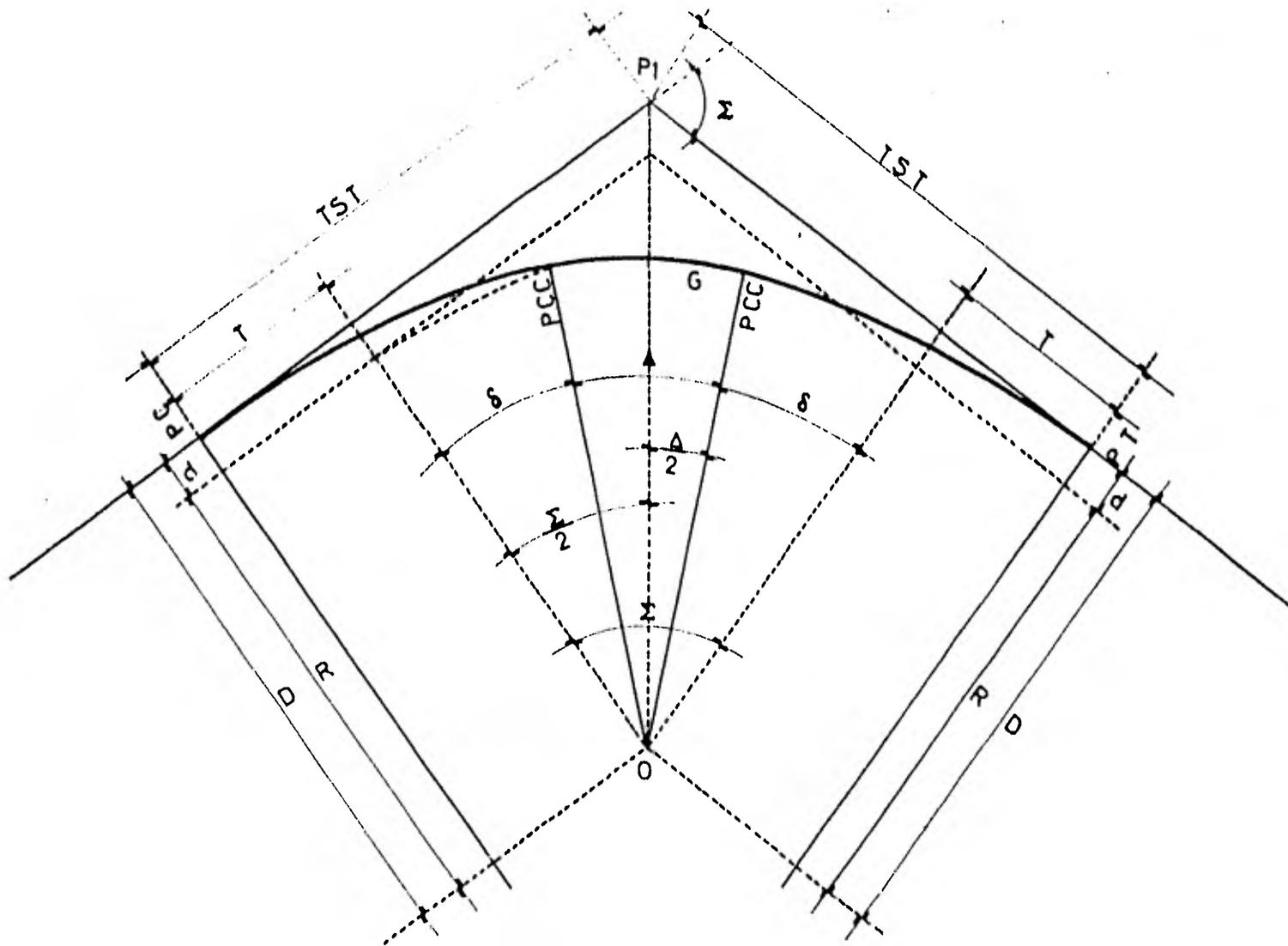


FIGURA N° 3

$$TST_1 = T_1 + D_1 \tan \frac{\Sigma}{2} - (d_1 - d_2) \text{ CSC}$$

$$TST_2 = T_2 + D_2 \tan \frac{\Sigma}{2} + (d_1 - d_2) \text{ CSC}$$

2) Con espirales simétricas, fig. No. 3

$$TST = T + D \tan \frac{\Sigma}{2}$$

3) Con espiral en un solo extremo fig. No. 4

$$TST = T + D \tan \frac{\Sigma}{2} - CSC$$

$$ST = R \tan \frac{\Sigma}{2} + CSC$$

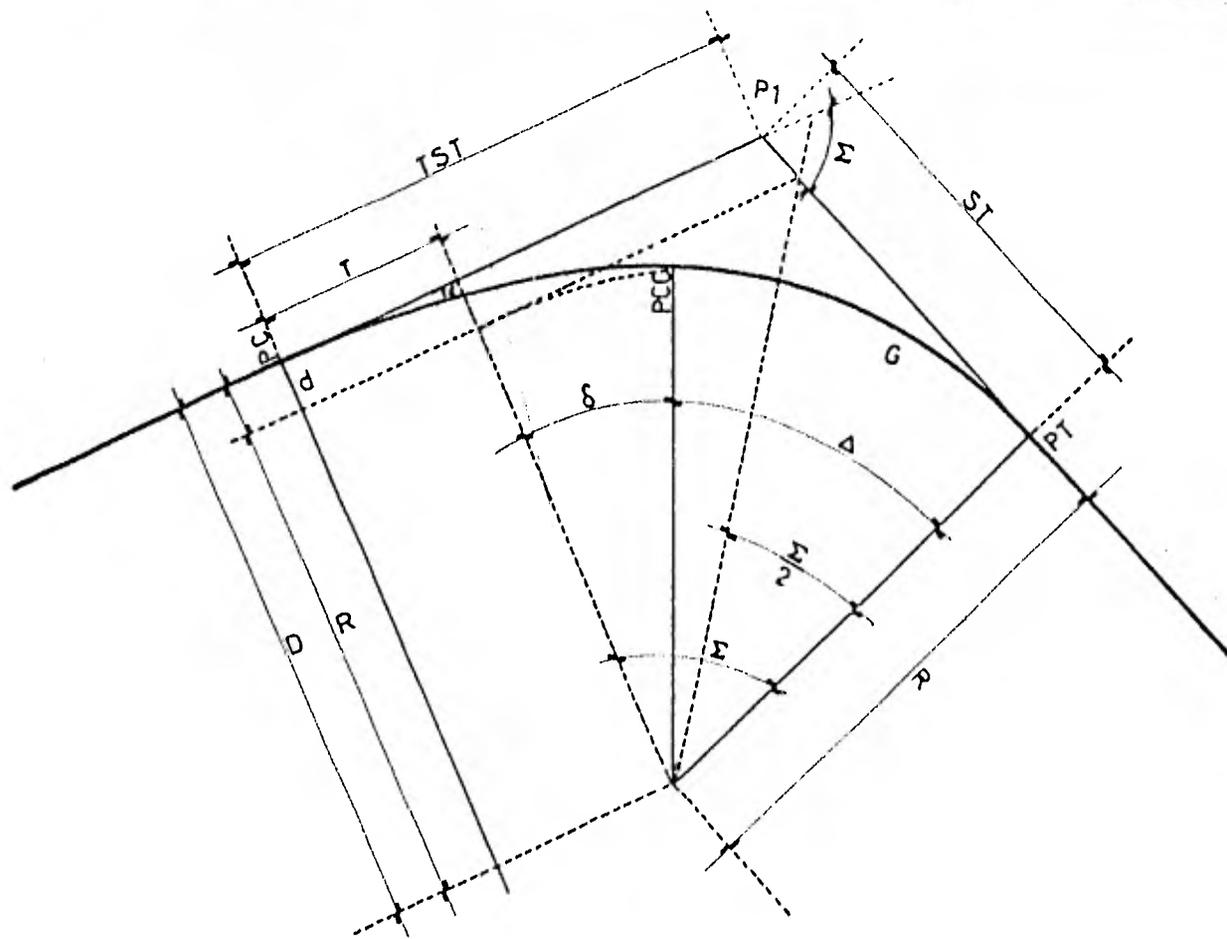


FIGURA Nº 4

1.10 Las curvas compuestas, con espirales, tienen las siguientes propiedades:

- a) Angulo de deflexión, Σ , que es la suma de los ángulos centrales de sus curvaturas circulares y de sus espirales y que se calcula con la fórmula:

$$\Sigma = (\Delta) + (\delta) \quad \text{Donde } () \text{ Indica suma}$$

- b) Longitud que es la suma de las longitudes de sus curvas circulares y de sus espirales.

- c) Subtangentes, TST, que calculan con las fórmulas respectivas a cada caso, según se indica a continuación:

1.- Con espirales de entrada, intermedia y salida, Fig. No. 5

$$TST_1 = \overline{CB} + \overline{B1}$$

$$\overline{CB} = T_1 + D_1 \tan \frac{\Sigma_1}{2} - (d - d_c) \csc \Sigma_1$$

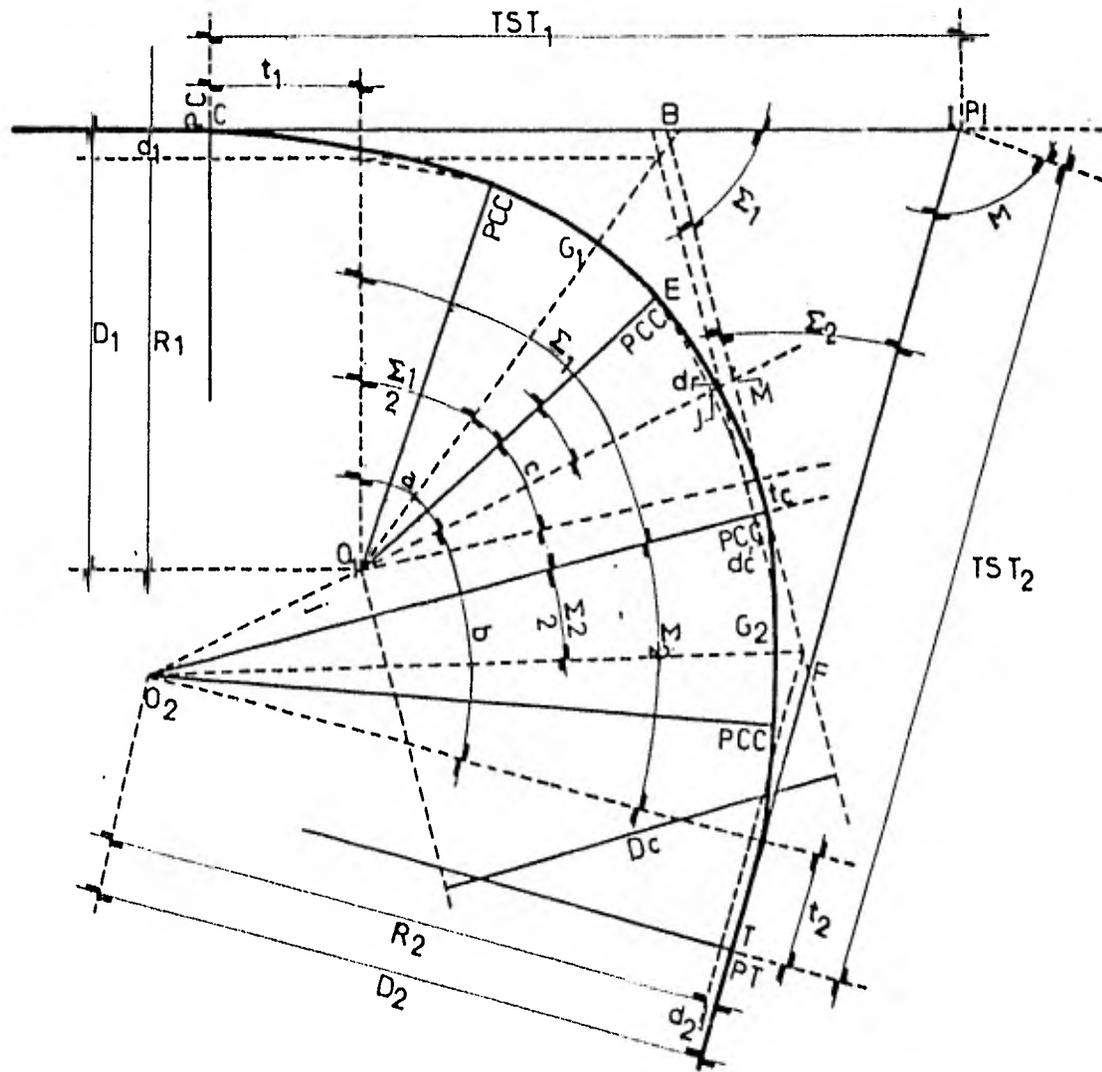


FIGURA N° 5

$$\overline{BI} = \frac{BF}{\text{SEN}} \sum_2$$

$$\overline{BF} = \overline{BN} = \overline{NF}$$

$$\overline{BN} = T_c + D_c \text{ TAN } \frac{\sum_1}{2} + (d_1 - d_c) \text{ CSC } \sum_1$$

$$\overline{NF} = R_2 \text{ TAN } \frac{\sum_2}{2} + d_2 \text{ CSC } \sum_2$$

$$\overline{TST}_2 = \overline{IF} + \overline{FT}$$

$$\overline{IF} = \frac{\overline{BF}}{\text{SEN}} \sum_1$$

$$\overline{FT} = T_2 + D_2 \text{ TAN } \frac{\sum_2}{2} + d_2 \text{ CSC } \sum_2$$

$$\sum_1 = a + j ; \sum_2 = b - j ; \sum = \sum_2 + \sum_2 = a + b$$

$$D_c = R_1 + d_c$$

$$d_c = R_2 - R_1 - T_c \text{ COT } J$$

$$T_c = (R_2 - R_1 - d_r) \text{ SEN } J$$

$$E_j = l_c / 2 = \overline{NF}$$

$$j = \frac{G_2 l_c}{40}$$

$dr = d$, para una espiral de curvatura $G_1 - G_2$.

2.- Con espirales de entrada y de salida, Únicamente, Fig. #6

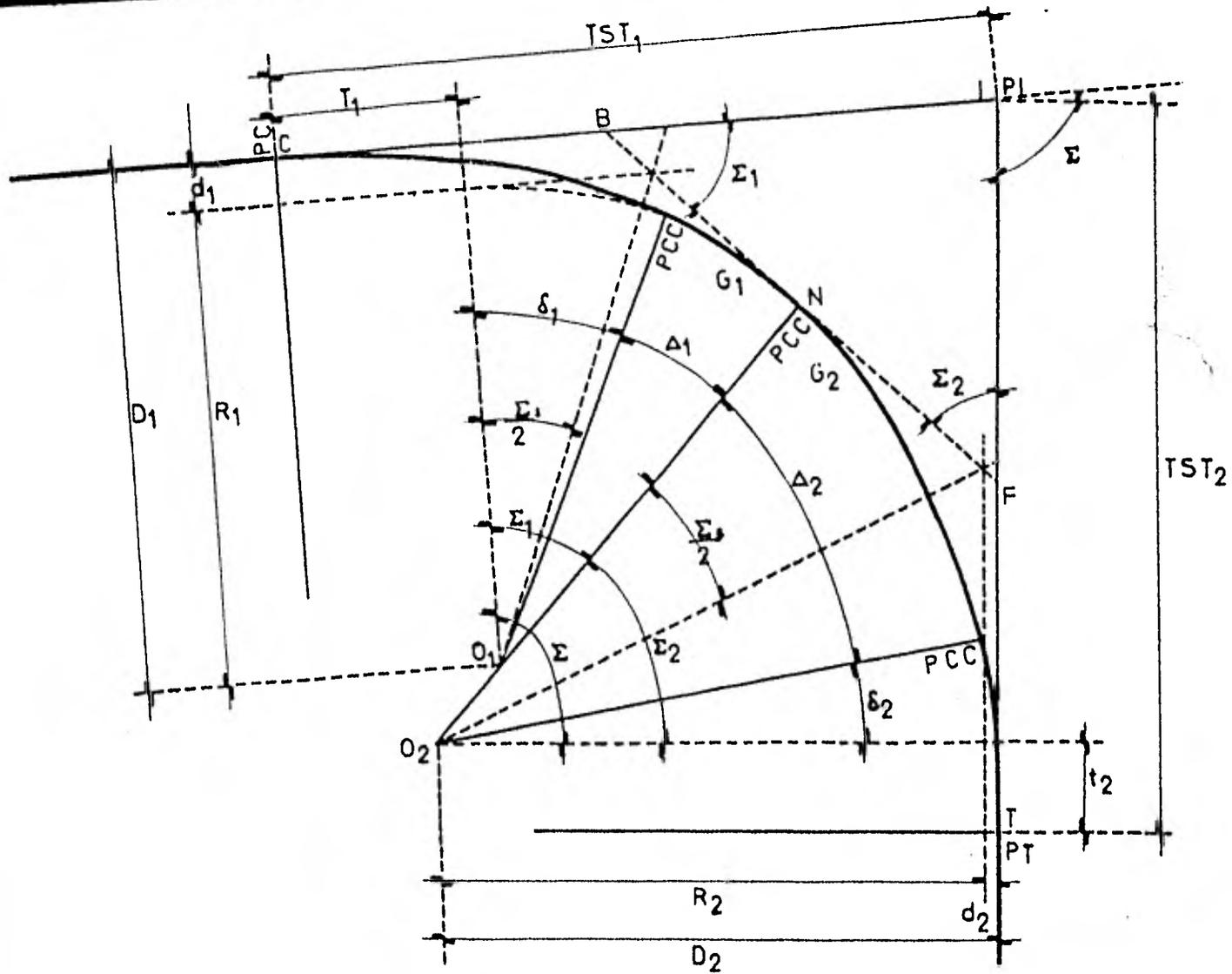


FIGURA N° 6

$$TST_1 = \overline{CB} + \overline{BI}$$

$$\overline{CB} = T_L + D_1 \text{ TAN } \frac{\sum 1}{2} - d_1 \text{ CSC } \sum 1$$

$$\overline{BI} = \frac{\overline{BF} \text{ SEN } \sum 2}{\text{SEN } \sum 2}$$

$$\overline{BF} = \overline{BN} + \overline{NF}$$

$$\overline{BN} = R_1 \text{ TAN } \frac{\sum 1}{2} - d_1 \text{ CSC } \sum 1$$

$$\overline{NF} = R_2 \text{ TAN } \frac{\sum 2}{2} + d_2 \text{ CSC } \sum 2$$

$$TST_2 = \overline{IF} + \overline{FT}$$

$$\overline{IF} = \frac{\overline{BF} \text{ SEN } \sum 1}{\text{SEN } \sum 1}$$

$$\overline{FT} = T_2 + D_2 \text{ TAN } \frac{\sum 2}{2} - d_2 \text{ CSC } \sum 2$$

3.- Con espiral de entrada ó de salida e intermedia, Fig. #7

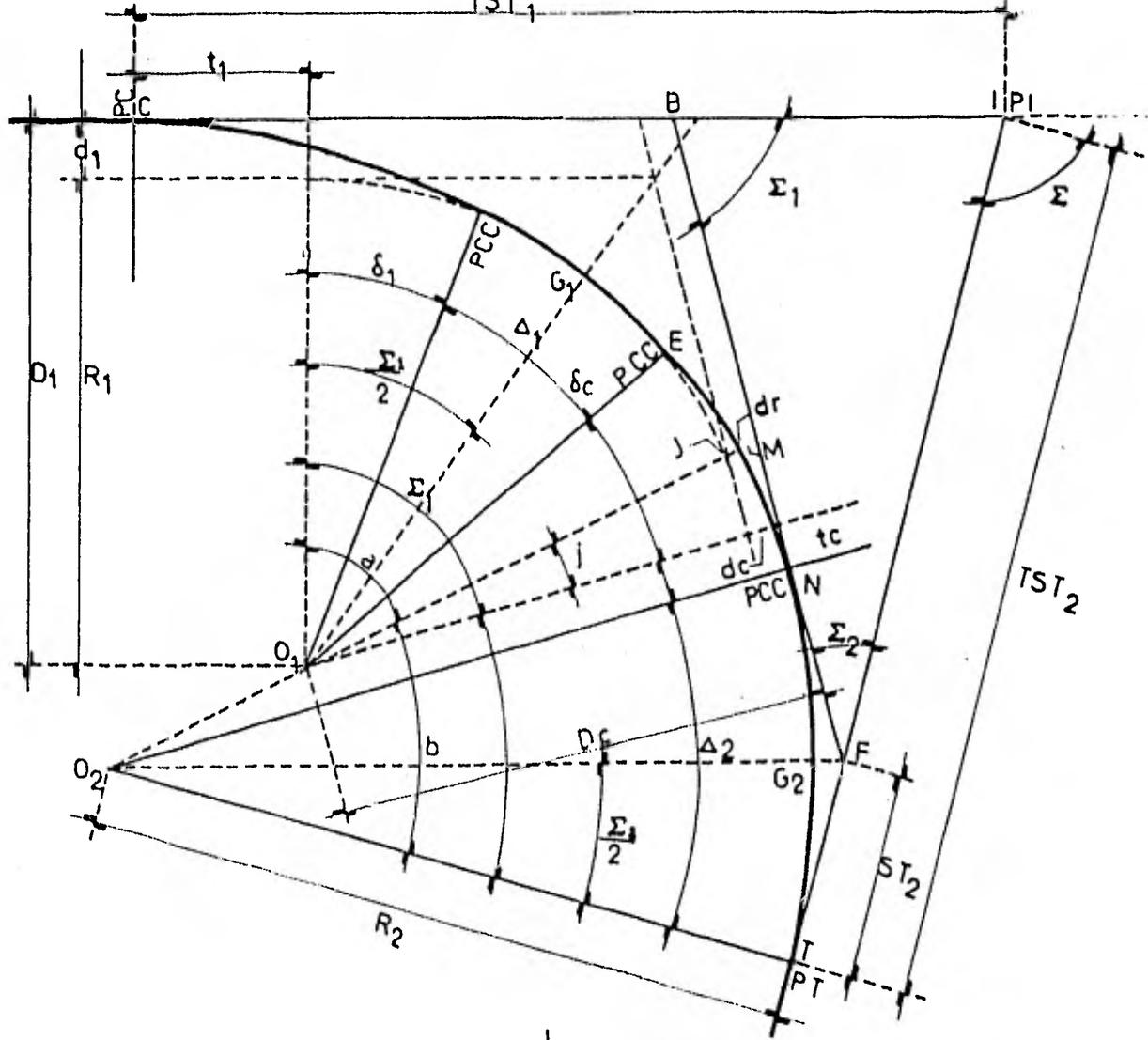


FIGURA N°7

$$TST_1 = \overline{CB} + \overline{BI}$$

$$\overline{CB} = T_1 + D_1 \text{ TAN } \frac{\sum 1}{2} - (d_1 - d_c) \text{ CSC } \sum 1$$

$$\overline{BI} = \frac{\overline{BF}}{\text{SEN}} \sum 2$$

$$\overline{BF} = \overline{BN} + \overline{NF}$$

$$\overline{BN} = T_c + D_c \text{ TAN } \frac{\sum 1}{2} + (d_1 - d_e) \text{ CSC } \sum 1$$

$$\overline{NF} = R_2 \text{ TAN } \frac{\sum 2}{2}$$

$$tst_2 = \overline{IF} + \overline{FT}$$

$$\overline{IF} = \frac{\overline{BF}}{\text{SEN}} \sum 2$$

$$\overline{FT} = R_2 \text{ TAN } \frac{\sum 2}{2}$$

$$\sum 1 = a + j$$

$$\sum 2 = b - j$$

$$\sum = \sum 1 + \sum 2 = a + b$$

$$D_c = R_1 + d_c$$

$$D_c = R_2 - R_1 - T_c \cot j$$

$$T_c = (R_2 - R_1 - d_r) \operatorname{SEN} j$$

$$EJ = \overline{MN} = \frac{Lc}{2}$$

$$J = \frac{G_2 I_c}{40}$$

dr = d, para una espiral de curvatura $G_1 - G_2$.

4.- Con espiral de entrada o de salida, únicamente Fig. No. 8

$$TST_1 = \overline{CB} + \overline{BI}$$

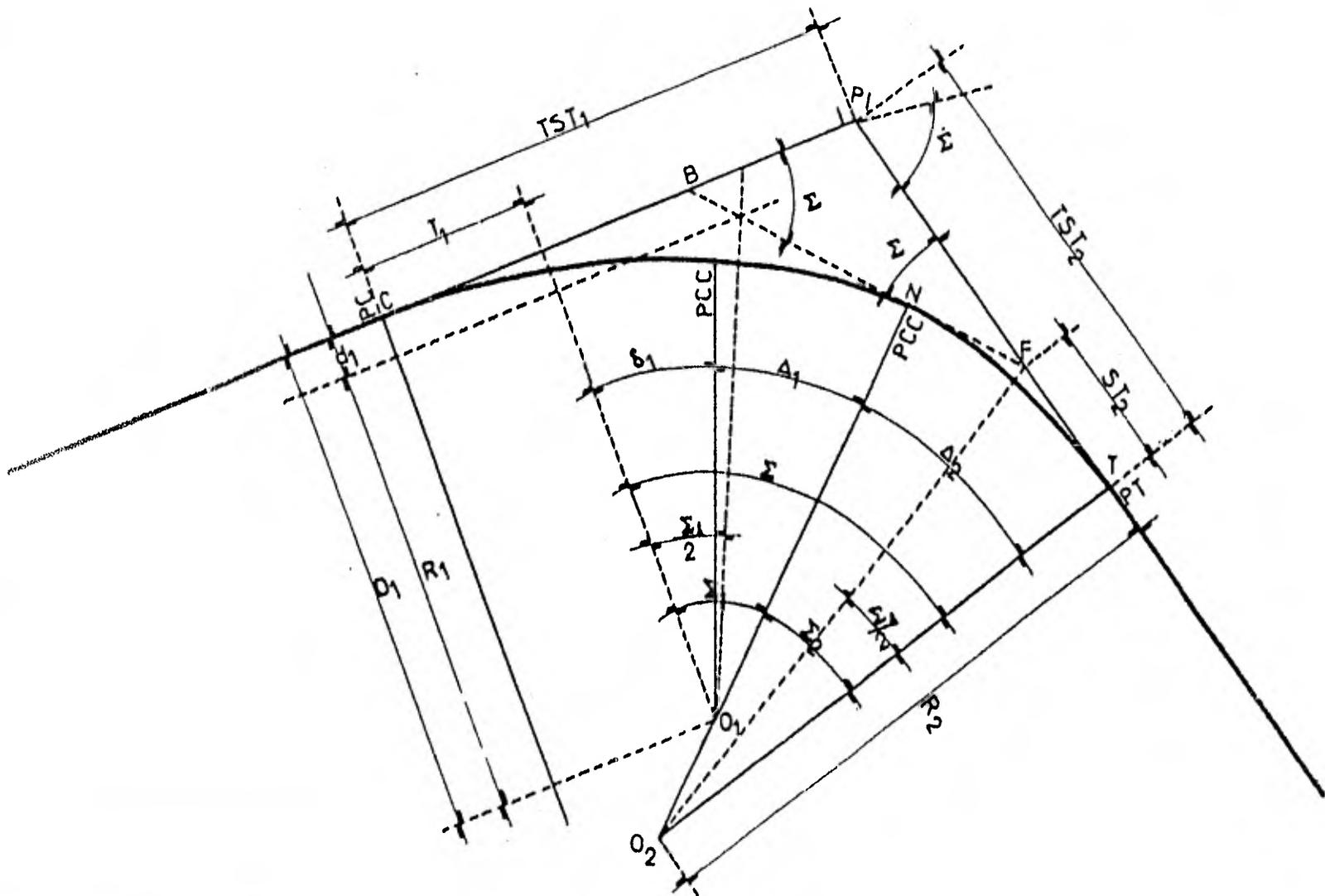


FIGURA N°8

$$\overline{CB} = T_1 + D_1 \text{TAN} \frac{\sum 1}{2} - d_1 \text{CSC} \sum 1$$

$$BI = \frac{\overline{BF} \text{SEN} \sum 2}{\text{SEN} \sum}$$

$$\overline{BF} = \overline{BN} + \overline{NF}$$

$$\overline{BN} = R_1 \text{TAN} \frac{\sum 1}{2} + d_1 \text{CSC} \sum 1$$

$$\overline{NF} = R_2 \text{TAN} \frac{\sum 2}{2}$$

$$\overline{TST}_2 = \overline{IF} + \overline{FT}$$

$$\overline{IF} = \frac{\overline{BF}}{\text{SEN}} \text{SEN} \sum 1$$

$$\overline{FT} = R_2 \text{TAN} \frac{\sum 2}{2}$$

2.- Alineamiento vertical.-

2.1.- El alineamiento vertical es la propia subrasante.

2.2.- El alineamiento vertical está constituido por rectas y curvas con pendiente compensada, ligadas entre si, como sigue:

a).- Las rectas son proyección de las tangentes y de las curvas del

alineamiento horizontal.

- b) Las curvas verticales son proyección de las tangentes ó de tangentes y curvas del alineamiento horizontal.
- c) Dos (2) rectas continuas se unen por medio de una (1) curva vertical parabolica, excepto cuando la diferencia algebraica de sus -- pendientes sea igual o menos a la variación máxima respectiva admitida para cuerdas de veinte (20) metros salvo en el caso indicado 2.6 de esta clausula.
- d) La compensación de la pendiente debe de hacerse en cada curva del - alineamiento horizontal, a razón de cinco centésimos por ciento --- (0.05 %), por cada grado de curvatura.

2.3.- Las rectas tienen las siguientes propiedades:

- a) Longitud, definida por el cadenamamiento de sus puntos extremos.
- b) Pendientes, definida por su tangente geometrica.
- c) Signo, definido por el ascenso o descenso.

2.4.- La razante es la superficie del rodamiento de una vía férrea, terminada conforme a los niveles y secciones del proyecto.

2.5.- Las curvas verticales parabólicas, tienen las siguientes propiedades.

- a) Variación constante, v , de la pendiente, para cada cuerda de veinte (20) metros.
- b) Angulo de deflexión , determinado por la tangente geometrica

de la diferencia algebraica de las pendientes en las dos (2) rectas consecutivas que se interceptan.

c) El punto de interacción de dos (2) rectas consecutivas debe coincidir con el centro o con uno de los extremos de una estación de veinte (20) metros.

d) Número de estaciones, N, expresado por el número entero, aproximado, siempre al inmediato superior, que se calculan con la fórmula:

$$N = \frac{P}{V}$$

N es par, si el PIV esta en uno de los extremos de la estación.

N es impar, si el PIV se encuentra en el centro de la estación.

e) Longitud de la curva vertical parabólica, L, que se calcula con la fórmula.

$$L = 20 \quad N$$

2.6. La liga de dos (20) rectas consecutivas no requiere de curva y vertical cuando la diferencia de sus pendientes es tal, que el No. de estaciones, N, es igual o menor que uno (N=1)

2.7. En las curvas verticales, las variaciones máximas de pendientes, V, -- serán las siguientes:

VIAS	EN CIMA	EN COLUMPIO
CLASE A	0.10	0.05
" B	0.10	0.05
" C	0.20	0.10
" D	SEGUN LO INDIQUE EL PROYECTO	

3.- UNIDADES

3.1.- Las unidades correspondientes a lo especificado en este capítulo se expresarán como sigue:

- a) Las longitudes deben expresarse en kilómetros (Km) y metros (M), con aproximación al centímetro (Cm).
- b) Las elevaciones y los desniveles deben expresarse en metros (M) con aproximación al centímetro (Cm).
- c) Los ángulos horizontales, los rumbos y los grados de curvatura se expresarán en grados (o), con aproximación al minuto (')
- d) Las pendientes y los ángulos verticales se expresarán en por ciento (%), con aproximación al centésimo.

3.2 En casos especiales, cuando se adopten otras unidades de medida, se -- indicará así expresamente en el proyecto.

4.- RECOMENDACIONES GENERALES.

4.1 La localización debe hacerse sobre terreno que presente apoyo estable a la vía férrea en forma económica, mediante el movimiento mínimo posible en sus alineamientos horizontal y vertical, buscando compensación en las terracerías y proporcionándoles un drenaje correcto apropiado.

4.2 En la localización conviene evitar:

- a) Los terrenos pantanosos o con exceso de agua cuyo drenaje natural sea difícil e inseguro.
- b) Los terrenos muy suaves, esponjosos, de gran compensabilidad.
- c) Las laderas de material inestable o con excesiva agua de filtración.
- d) Las zonas de divagación en los ríos.
- e) Los terrenos que requieren excesivas obras de drenaje.

4.3. En el alineamiento horizontal debe procurarse que:

- a) La longitud total sea mínima.
- b) La suma de las longitudes de sus tangentes sea la máxima.
- c) La suma de sus ángulos de deflexión sea mínima.
- d) La curvatura máxima que se aleja se adapte económicamente a cada terreno y tipo de este, sin excederse de los valores indicados, en la tabla Nos. 1, 2, 3 y 4 de las características de las vías férreas, según la clase de que se trate.

- e) La curvatura, en cada caso particular, se elija adecuadamente, -
tratando que sea la menor posible.
- f) En terreno plano y en el lomerío suave, se proyecten primero las
tangentes y después las curvas.
- g) En lomerío fuerte y en terreno montañoso o en escarpado se pro--
yecte primero las curvas y después las tangentes.
- h) Los puentes, los túneles, los laderos y las estaciones que den en
tangentes.
- i) Las tangentes de acceso de los puentes tengan una longitud mínima
de veinte (20) metros.
- j) Los de los puentes, de los túneles y de las estaciones, tengan --
deflexiones pequeñas y curvatura suave.
- k) Se emplee una (1) curva compuesta de menor grado de curvatura, en
lugar de dos (2) curvas de mayor grado unidas por una (1) tangen-
te corta.

1) Las espirales sean de variaciones suaves, siempre que sus longitudes
no originen tangentes cortas.

m) El alineamiento de curvas, por el método de cuerdas, se utilizan-
para la conservación y la rehabilitación de vías en operación.

4.4.- En el alineamiento vertical debe procurarse que:

- a) La pendiente gobernadora, en cada descrito de operación, sea la -
mínima correspondiente a la solución más económica.

- b) La pendiente sea siempre compensada.
- c) El acceso-descenso sea el mínimo.
- d) No existan pendientes innecesarias.
- e) La pendiente en cada distrito de operación, sea lo más uniforme posible, evitando que presente cambios bruscos.
- f) Una curva vertical no coincida con una curva horizontal.
- g) La elevación y la pendiente de la rasante aseguren un buen drenaje, transversal y longitudinal a la vía.
- h) Los cortes y los túneles no queden alojados en columpio, a no ser que se drenen económicamente.
- i) Los túneles no queden alojados en cima.
- j) Los túneles y los cortes en cajón, tengan una pendiente que asegure su drenaje.
- k) Los puentes, los laderos y las estaciones, queden a nivel.
- l) La pendiente máxima en laderos, estaciones sea de tres décimos por ciento (0.3 %).
- m) En los túneles la longitud mayor de trescientos (300) Mts. se produzca la pendiente en un veinticinco por ciento (25%).
- n) La recta mínima entre curvas verticales sea de veinte (20) mts.
- o) Entre el extremo de un puente y una curva vertical se deje una recta mínima de veinte (20) metros.
- p) El espesor de un terraplen se limite en función del costo, por unidad de longitud, del puente correspondiente.

- q) El espesor máximo de un corte se limite en función del costo, por unidad de longitud, del túnel correspondiente.
- r) El espesor mínimo de los terraplenes sea de cincuenta (50) cms.-
- s) En terrenos planos predominen los terraplenes sobre los cortes.-
- t) En las laderas empinadas, con pendiente transversal mayor de -- treinta grados (30°) se eviten los terraplenes que necesiten muros de retención.
- u) La pendiente se exprese con cifras múltiples de cinco (5) centímetros, para facilitar el cálculo de cuotas.

III: TRAZO NIVELACION PERFIL Y RASANTE EN LOS DOS SISTEMAS DE --
TRANSPORTE TERRESTRE, SUS ESPECIFICACIONES Y DIFERENCIAS.

a) Para el trazo de un camino o una vía de ferrocarril se toman en cuenta las características geométricas de acuerdo al tipo de camino ó vía a construir, siendo necesaria su localización, como trabajo inicial.

Para realizar el trazo de un camino se puede hacer de dos maneras, - como la tradicional que es recorriendo a pie, levantando los posibles trazos, ó de otra manera con ayuda de la fotogrametría, consistiendo - ésta en marcar la ruta o las posibles rutas en planos. Con este método se ahorra tiempo y permite tener una visión amplia de las diferentes - alternativas, sin embargo es imprescindible, una vez seleccionada la - ruta en plano, verificar todos los puntos físicamente en el terreno. - Los trazos en las vías de comunicación no son siempre las más cortas y económicas que es el fin normal que se persigue, pues hay rutas cuyos - servicios serán turísticos para las cuales construye una infraestructu - ra para el transporte hacia dichos puntos.

b) La nivelación se lleva a cabo en cada una de las estaciones a cada 20- mts. localizados sobre el trazo de un camino o vía de ferrocarril para encontrar su perfil sobre el eje, los cuales muestran la topografía a - lo largo del mismo, pues además se nivelan los accidentes topográficos, como detalles para tener un conocimiento preciso. Las secciones se lle - van a cabo en el perfil normales a lo largo de todo el eje.

c) Una vez que se tiene dibujado el perfil a una escala conveniente se -- procede a proyectar la rasante o rasantes sobre el eje. Esto también -

se hace de acuerdo a las características geométricas o al tipo de camino o vía seleccionada.

DIFERENCIAS EN LAS ESPECIFICACIONES DE LAS VIAS FERREAS Y LAS CARRETERAS

d) Como se ve en las especificaciones de un sistema de transporte y en las del otro, sus características nos muestran las limitaciones que tienen que tener las vías férreas para que puedan soportar la gran carga que los ferrocarriles transportan, pues, un sistema de transporte y otro -- tienen sus desventajas y ventajas.

Las características que hacen realmente diferentes a las especificaciones de los sistemas de transportes en los alineamientos horizontal -- y vertical son curvas horizontales (grado de curvatura) y pendientes y sus cambios con curvas verticales como ejemplos podemos decir lo siguiente:

Las curvas horizontales en ferrocarriles se tiene un grado de curvatura hasta de 6° y se permiten curvas compuestas con 2 (dos grados) de transición, esto quiere decir que las curvas tienen que iniciarse como máximo -- con 2° y cambios de 2° (dos) grados por estación, y en carreteras en las -- peores condiciones en caminos de primer tipo de 26° son permitidas.

En ferrocarriles la pendiente debe ser sostenida, no hay contrapendientes (subidas y bajas). Se usa un perfil virtual, que es un programa -- de velocidades en todos los puntos de la vía férrea. En cambio en carretera si son permitidos estos cambios de pendientes.

En los ferrocarriles también las curvas verticales tienen un máximo-

de cambio de pendiente hasta un décimo por ciento (0.10%) por estación por ejemplo tenemos una pendiente + 2 % a -2% se hará la curva en cuarenta (40) estaciones, así, en la carretera esta curva necesita solo 4 (cuatro)-estaciones.

Estas limitaciones de los ferrocarriles son debido en gran parte por las uniones de los furgones, que se forzan mucho en las curvas.

De esta manera nos damos cuenta que nuestros sistemas de transporte - con sus desventajas y ventajas nos ofrecen los requerimientos a las necesidades de mover ya sean pasajero-km ó toneladas-km, así, lo importante será hacer un análisis de costo-tiempo y determinar con otras condiciones el sistema a elegir.