

INTERSECCIONES

INTRODUCCION

El cruce de dos carreteras o arterias produce una serie de conflictos entre los vehiculos que concurren en él, que se hace necesario dar un tratamiento especial para su acondicionamiento, de tal forma que se obtenga, conjuntamente con una mayor fluidez, una mayor seguridad para el usuario.

DEFINICIONES Y CLASIFICACION

Se llama intersección, al área donde dos o más vías terrestres se unen o cruzan.

Generalmente, se consideran dos tipos genéricos de intersecciones: los entronques y los pasos.

Se llama entronque, a la zona donde dos o más caminos se cruzan o unen, permitiendo la mezcla de las corrientes de tránsito.

Se llama paso, a la zona donde dos vías terrestres se cruzan sin que puedan unirse las corrientes de tránsito. Tanto los entronques como los pasos pueden contar con estructuras a distintos niveles.

A cada vía que sale o llega a una intersección y forma parte de ella, se le llama rama de la intersección. A las vías que unen las distintas ramas de una intersección, se les llama enlaces; pudiéndose llamar rampas, a los enlaces que unen dos vías a diferente nivel.

12.1 CONCEPTO DE LA INTERSECCION

Al enfrentarse con el problema de proyectar una intersección de una manera adecuada, previamente al dibujo de cada uno de los elementos que la com-

ponen, es necesario obtener un concepto claro sobre la función que dicha intersección ha de cumplir y por consiguiente, de las soluciones a estudiar.

Para obtener este concepto general es necesario tener en cuenta lo siguiente: Es característica de las sociedades modernas que muchos de los problemas pueden ser resueltos con efectividad solamente usando datos estadísticos. Aún la definición y cuantificación de un problema requiere de gran información actual. El ingeniero usa los principios de la ciencia y el conocimiento del comportamiento del mundo para elaborar mejoras al medio ambiente.

El ingeniero, para proyectar o re proyectar una intersección, necesita disponer de datos de tal modo que constituyan elementos de juicio para determinar la geometría de la misma y hacer segura y cómoda su operación.

Un juicio muy generalizado es el de pretender resolver problemas actuales, sin disponer de datos justificativos y sin tomar las medidas pertinentes para que las obras sirvan en un plazo razonable en el futuro.

Es tan grande la importancia que tiene el conocimiento del tránsito futuro, que cualquier información que se pueda obtener sobre él, por inexacta o -- hipotética que sea, es de un valor considerable para los encargados de planear y proyectar las vías de comunicación.

Las intersecciones constituyen puntos especiales a lo largo de una carretera, pues en experiencias de otros países entre el 15% y el 20% de los accidentes mortales ocurren en ellas. Lo anterior nos lleva a pensar en que debe dárseles un tratamiento adecuado en cuanto a su geometría, dispositivos para su control e iluminación, donde lo amerite.

Es indispensable establecer prioridades en las intersecciones con base en índices adecuados con objeto de dar una atención jerarquizada en función de su peligrosidad y demanda vial.

Frecuentemente se ha observado que intersecciones terminadas han tenido que ser modificadas, poco después de ser puestas en uso, porque la solución no satisface la demanda o plantea condiciones peligrosas que pudieran haberse previsto si el proyectista dispusiera de los datos apropiados.

Una recopilación negligente o insuficiente de datos se traduce en errores en el proyecto, por lo cual no debe permitirse que los datos de campo y su elaboración posterior en el gabinete sean realizados por personas sin preparación. Los datos básicos son los que a continuación se describen:

12.1.1 DATOS BASICOS PARA EL PROYECTO DE INTERSECCIONES.

A.- Características Físicas

El conocimiento de la situación física actual donde se encuentra alojada la intersección que se pretende modificar, es uno de los elementos de juicio importantes para el proyectista, pues le permite ubicar los obstáculos y dificultades que se presentarán en las diferentes alternativas que elija. Le permitirá adaptarlas, lo más posible a las condiciones topográficas y reducir costos sin olvidar visibilidad, seguridad y comodidad.

Fundamental en cualquier proyecto de intersección es un plano actualizado del lugar, mostrando la topografía, cultivos, derecho de vía, etc., así como la evaluación de propiedades, uso del terreno, condiciones de cimenta-

ción y cuencas hidráulicas , si las hay .

Debe obtenerse información concerniente a las carreteras que forman la intersección y cualquier mejora planeada en el área que pueda afectar o ser afectada por la intersección que será objeto de mejoramiento . El desarrollo futuro de las tierras adyacentes y otras mejoras deben incluirse .

Esto puede tener relación con el tipo y trazo geométrico de la intersección y sus accesos , incluyendo tales características como control de accesos , facilidades de estacionamiento , caminos laterales , etc . Toda esta información debe ser recopilada y colocada en el plano del lugar , el cual se reproducirá a una escala conveniente (1:1 ,000 ó 1:500) y que será usada como base para los diagramas y planos preliminares .

Puede complementarse lo anterior por medio de fotografías aéreas a escalas convenientes y fotografías que indiquen , en perspectiva , los accesos de la intersección , lo cual permitirá tener un conocimiento objetivo del lugar .

Asímismo , se indicará el tipo de control que disponga la intersección (señales , semáforos , marcas) , y los objetos fijos a los lados del camino (postes , árboles , monumentos , etc .) .

B.- Características Funcionales

a) Volúmenes de Tránsito

Este dato constituye uno de los controles primarios del proyecto de cualquier intersección .

El alto costo del derecho de vía y construcción de carreteras establece la necesidad de que a través de los análisis de ingeniería , al proyectar un ca-

mino, sea satisfecha la demanda de tránsito con el menor costo. En carreteras los datos de tránsito deberán incluir los volúmenes para un día promedio del año, volúmenes por hora en el día, la distribución direccional de los vehículos y el porcentaje de vehículos pesados. En zonas urbanas la necesidad es similar por lo que se refiere a los datos de tránsito, pero deberán ser más minuciosos debido a la alta concentración de volúmenes. La necesidad de datos de volúmenes estará determinado por el propósito a que se destinen. Las estimaciones de tránsito para una ruta particular están usualmente expresadas en términos de tránsito diario promedio anual ---- (TDPA). Sin embargo, el TDPA es importante en los estudios de clasificación, programas de mejoras importantes y el proyecto de elementos estructurales. El uso del TPDA en el proyecto geométrico no es práctico debido a que no indica las variaciones cíclicas del tránsito a lo largo del día. Un intervalo de tiempo más corto que un día es por lo tanto usado como una base para el proyecto. Sin embargo, actualmente están siendo considerados períodos menores a una hora en proyectos urbanos.

El volumen en la hora de máxima demanda representa condiciones tales que no son excedidas frecuentemente y es el criterio generalmente aceptado y usado en proyectos geométricos. El volumen de tránsito esperado y que usará el camino en una fecha futura se denomina volumen horario de proyecto. (VHP).

Para propósitos de proyecto deberá ser conocida la composición del tránsito.

Los vehículos tienen diferentes características de operación. Los camiones son pesados, lentos, ocupan mayor espacio de calzada y tienen un efecto dentro de la corriente del tránsito equivalente a varios automóviles. Por lo tanto, un número elevado de camiones en la corriente del tránsito produce una carga mayor en el tránsito y consecuentemente requiere una mayor capacidad vial. El porcentaje "VC" de vehículos pesados: autobuses, camiones sencillos, tractores con remolque, etc., tienen características operacionales diferentes a los automóviles en la corriente del tránsito durante la hora de proyecto.

b) Volúmenes de Peatones

En intersecciones de carreteras próximas a poblaciones y en donde se advierte un movimiento inusitado de peatones es conveniente realizar estudios para cuantificar su movimiento y tomar medidas pertinentes para su protección.

c) Velocidades

La velocidad es otro de los controles primarios para el proyecto de intersecciones.

Este tipo de estudio, a pesar de su sencillez e importancia, muchas veces ha sido omitido al proyectar intersecciones de todo tipo y únicamente se hacen suposiciones en cuanto a las velocidades de proyecto, por comodidad, pero sin que llegue a ser una preocupación mayor el averiguar si estos valores están de acuerdo con la realidad.

La velocidad de proyecto de una intersección puede deducirse de los estudios de velocidades de punto de los accesos a la intersección.

Es conveniente medir las velocidades instantáneas de los vehículos que se aproximan a la intersección, por las dos vías, a fin de calcular sus velocidades medias en km/h. Se recomienda que se obtenga el promedio de por lo menos 100 observaciones hechas en puntos situados a distancias de 50 a 300 metros antes de la intersección (a mayor velocidad, mayor distancia).

Además, puede obtenerse el límite máximo de velocidad que se permitirá en la intersección, determinándolo a partir del 85 porcentual, valor que se deberá incluir en las señales restrictivas correspondientes.

d) Demoras y Tiempos de Recorrido

Cuando la intersección en estudio se encuentra cerca de una zona urbana muy poblada o pase a través de ella, de tal manera que ésta haga sentir su influencia perturbadora sobre el tránsito de la intersección, es conveniente realizar estudios de demoras en la misma.

En los estudios sobre tiempo de recorrido total y demoras, se hace evidente que la mayor parte de las demoras de recorrido ocurren en las intersecciones. Por lo tanto, estos lugares requieren tratamiento especial.

Tiempos de Recorrido.

Los Estudios de Tiempos de Recorrido pueden ser de utilidad al analizar un tramo de carretera que pase por una población o en los suburbios de una ciudad importante.

Los estudios de Demoras y Tiempos de Recorrido se necesitan para:

1. Evaluar el congestionamiento a lo largo de una vía.
2. Para elaborar estudios de "Antes y Después" con objeto de indagar la efectividad de una mejora propuesta.
3. Determinación de Indices de Demora.
4. La distribución del tránsito en avenidas nuevas está basada sobre estudios de Tiempos de Recorrido y otros factores.
5. Estudios económicos tales como los Análisis de Beneficio Costo.
6. Los estudios de tendencias o pronóstico usan de los datos de Tiempos de Recorrido.

e) Estudios de Comportamiento

Es importante realizar los estudios de comportamiento, pues frecuentemente, se da el caso de que una intersección tenga un elevado número de conflictos, debidos a la falta de obediencia por parte de los usuarios con respecto a los dispositivos de control utilizados. Lo anterior constituye una situación que es necesario poner en evidencia para tomar las medidas educacionales y represivas necesarias.

Los estudios de comportamiento proporcionan un medio para evaluar en forma efectiva el uso que se hace de los dispositivos para el control del tránsito (semáforos para vehículos y peatones, señales de "alto" y "ceda el paso", etc).; constituyen una evaluación cuantitativa de la obediencia de conductores y peatones en un lugar específico.

Generalmente los estudios de comportamiento deben hacerse en lugares de alta frecuencia de accidentes , así como para revisar el uso que se hace de determinado dispositivo de control , debiendo seleccionarse diferentes lugares que lo tengan instalado para tener una base de comparación. Los estudios de comportamiento deberán realizarse a la hora del día y en la semana en la cual la efectividad de un determinado dispositivo esté en duda . Las situaciones excepcionales (tales como las inclemencias del tiempo o volúmenes de tránsito poco comunes) que puedan influir en la conducta del usuario no deben predominar durante el período de estudio.

El estudio debe cubrir un período de cuando menos una hora y deben observarse no menos de 50 vehículos (o peatones) . Si los volúmenes son demasiado elevados para permitir llevar la cuenta de todos los vehículos , puede seleccionarse una muestra representativa .

f) Estudios de Capacidad

En intersecciones con semáforos , en carreteras que pasen a través de poblaciones importantes , es conveniente realizar estudios de capacidad , con objeto de reducir al mínimo las demoras y tener control sobre las perturbaciones que afectan la capacidad de las mismas .

Cada uno de los accesos de una intersección a nivel tienen una capacidad que representan el número máximo de vehículos que pueden pasar , dependiendo de las características geométricas , tipos de vehículos , controles de tránsito y características operacionales (vueltas derechas , izquierdas , número de paradas de autobús , etc.) por unidad de tiempo .

g) Accidentes

Los accidentes, así como el congestionamiento, constituyen las principales consecuencias del problema de tránsito, siempre en ritmo creciente, a grado tal que actualmente constituyen pérdidas cuantiosas que gravitan -- sobre la economía nacional.

Dada la concentración de accidentes en intersecciones y en el paso por poblaciones, la atención del proyectista debe ser mayor en estos casos con objeto de equilibrar las demandas del tránsito en cuanto a volumen, velocidad, características de aceleración y deceleración, con el proyecto apropiado, llegando siempre a una solución que se justifique a través de un -- estudio económico en que se involucre el costo de la obra resultante del proyecto, con el costo de los accidentes que se van a evitar con esa obra. La cantidad y tipo de accidentes están fuertemente relacionados con el tipo de intersección, los detalles individuales de proyecto, el volumen de tránsito y los dispositivos de control.

El tipo de proyecto geométrico puede estar en función de los accidentes de tránsito que hayan ocurrido en una intersección. Lo anterior se puede evaluar de los diagramas de colisiones, que a su vez, se obtienen de los informes que elabora la Policía de Tránsito.

Un número elevado de colisiones a 90° puede ser debido, en un caso particular, a la falta de dispositivos que determinan la prioridad de paso en las vías que concurren a una intersección o, en el caso de usar semáforos, a su posición inadecuada o a la aparición intempestiva de luz roja (ámbar de-

masiado reducido). Cuando exista una cantidad apreciable de colisiones por alcance de vehículos, uno de los cuales pretende girar a la izquierda, con otro que circula en el mismo sentido, nos sugiere la conveniencia de dotar la intersección con carriles de protección para ejecutar los giros a la izquierda con seguridad. Las frecuentes colisiones de vehículos contra la guarnición de un camellón nos revela una situación de falta de visibilidad o mal proyecto, que deben ser corregidos. Un elevado número de 'atropellados puede ser debido a la falta de camellones centrales.

Después de realizadas las mejoras en una intersección, previamente establecidas por un proyecto, es conveniente observar los resultados obtenidos, con objeto de valorar los resultados en términos de reducción de accidentes y mejoramiento de la operación.

Nunca debe olvidar el proyectista la premisa de que: "al proyectar debe tenerse siempre en cuenta el individuo como módulo de proyecto, con todas sus facultades y limitaciones, a fin de proporcionarle un camino que corresponda a sus necesidades y reduzca al mínimo los accidentes".

C.- Vehículos de Proyecto .

Es condición fundamental para el proyecto de una intersección, la elección del tipo de vehículo que ha de utilizarla, así como de sus características físicas y de operación. Los vehículos se pueden agrupar para el efecto en los siguientes:

1.- Vehículos ligeros	DE - 335
2.- Camiones	DE - 450
"	DE - 610
3.- Vehículos articu-	DE - 1220
lados	DE - 1525

Estos vehículos de proyecto fueron elegidos con base a la distribución del tránsito por tipos de vehículos predominantes en la mayoría de las carreteras. En México el 42% de los vehículos son pesados, de los cuales la mayor parte son camiones de dos ejes.

En la tabla y figuras siguientes, se muestran las características de los vehículos de proyecto.

a) Vehículo de proyecto DE - 335

Puede usarse en intersecciones poco importantes donde el espacio esté muy limitado; en arterias urbanas en las que el uso del suelo y la disponibilidad de espacio no permiten ampliaciones económicas; en el cruce de carreteras secundarias con otras principales.

Cuando los movimientos de vuelta son insignificantes, y en las intersecciones de dos caminos secundarios con bajos volúmenes de tránsito, o bien, en donde predomine este tipo de vehículos. Sin embargo, conviene siempre que lo permitan las condiciones de espacio, economía, etc., proyectar la intersección para el vehículo DE - 610.

b) Vehículo de proyecto DE - 610

Es el tipo recomendado para todas las intersecciones rurales, salvo en los casos descritos anteriormente y en donde predomine otro tipo de vehículo.

CARACTERISTICAS			VEHICULO DE PROYECTO				
			DE-335	DE-450	DE-610	DE-1220	DE-1525
DIMENSIONES EN CM.	Longitud total del vehículo	L	580	730	915	1525	1678
	Distancia entre ejes extremos del vehículo	DE	335	450	610	1220	1525
	Distancia entre ejes extremos del tractor	DET	—	—	—	397	915
	Distancia entre ejes del semiremolque	DES	—	—	—	762	610
	Vuelo delantero	Vd	92	100	122	122	92
	Vuelo trasero	Vt	153	180	183	183	61
	Distancia entre ejes tándem tractor	Tt	—	—	—	—	122
	Distancia entre ejes tándem semiremolque	Ts	—	—	—	122	122
	Distancia entre ejes interiores tractor	Di	—	—	—	397	488
	Dist. entre ejes interiores tractor y semiremolque	Ds	—	—	—	701	793
	Ancho total del vehículo	A	214	244	259	259	259
	Entrevía del vehículo	EV	183	244	259	259	259
	Altura total del vehículo	Ht	167	214-412	214-412	214-412	214-412
	Altura de los ojos del conductor	Hc	114	114	114	114	114
	Altura de los faros delanteros	Hf	61	61	61	61	61
Altura de los faros traseros	Hl	61	61	61	61	61	
Angulo de desviación del haz de luz de los faros	α	1°	1°	1°	1°	1°	
Radio de giro mínimo (cm)	Re	732	1040	1281	1220	1372	
Peso total (Kg)	Vehículo vacío	Wv	2500	4000	7000	11000	14000
	Vehículo cargado	Wc	5000	10000	17000	25000	30000
Relación Peso/Potencia (Kg/HP)	Wc/P	45	90	120	180	180	
VEHICULOS REPRESENTADOS POR EL DE PROYECTO		A _p y A _c	C2	B.-C3	T2-S1 T2-S2	T3-S2 OTROS	
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA DISTANCIA ENTRE EJES ÉXTREMOS (DE) ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DE PROYECTO	A _p y A _c	99	100	100	100	100	
	C2	30	90	99	100	100	
	C3	10	75	99	100	100	
	T2-S1	0	0	1	80	99	
	T2-S2	0	0	1	93	78	
	T3-S2	0	0	1	18	90	
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA RELACION PESO/POTENCIA ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DE PROYECTO	A _p y A _c	98	100	100	100	100	
	C2	62	98	100	100	100	
	C3	20	82	100	100	100	
	T2-S1	6	85	100	100	100	
	T2-S2	6	42	98	98	98	
	T3-S2	2	35	80	80	80	

TABLA 5-E. CARACTERISTICAS DE LOS VEHICULOS DE PROYECTO

En las Figuras siguientes se ilustran las principales dimensiones de los vehículos de proyecto, así como sus radios de giro mínimo y las trayectorias de las ruedas para esos radios en ángulos de vuelta de 180°.

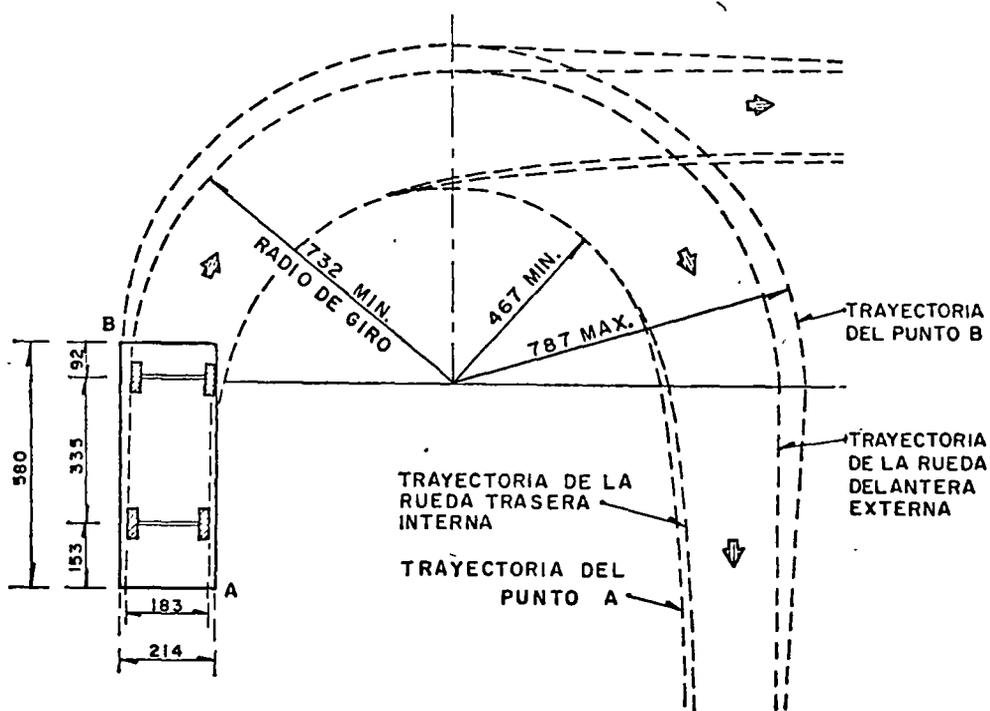


FIGURA 1. CARACTERISTICAS DEL VEHICULO DE PROYECTO DE-335

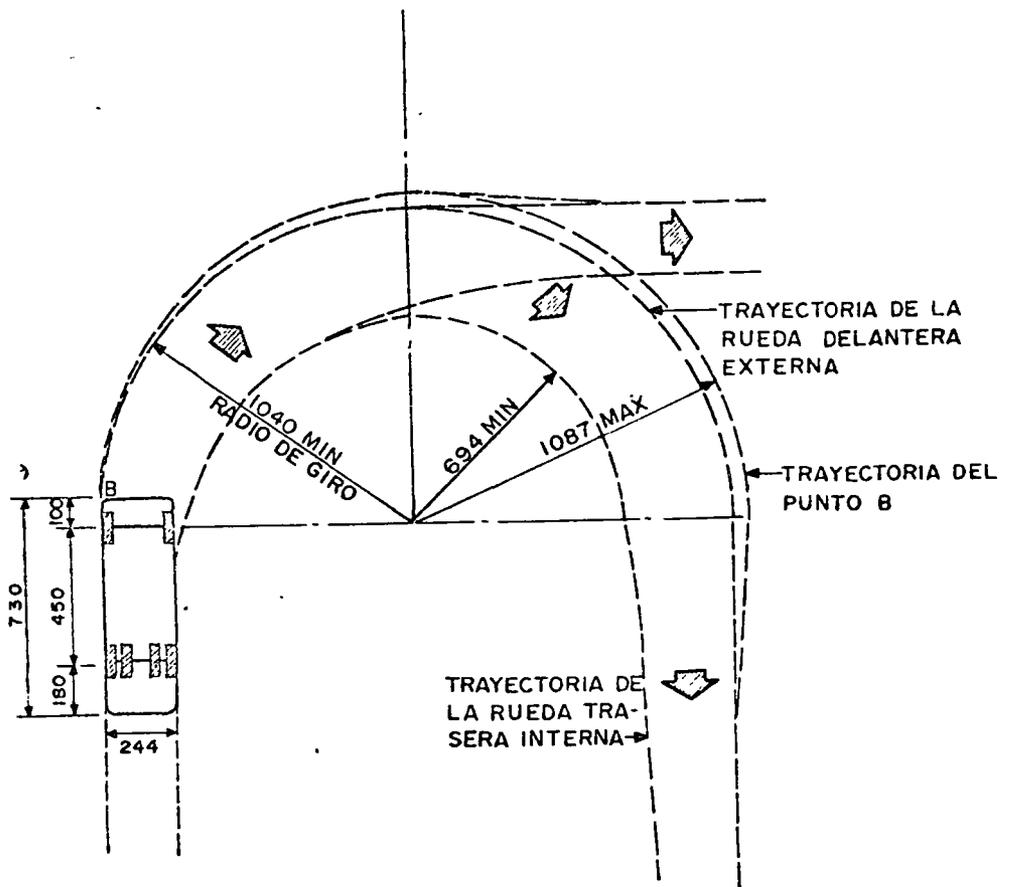


FIGURA 4. CARACTERÍSTICAS DEL VEHICULO DE PROYECTO DE-450

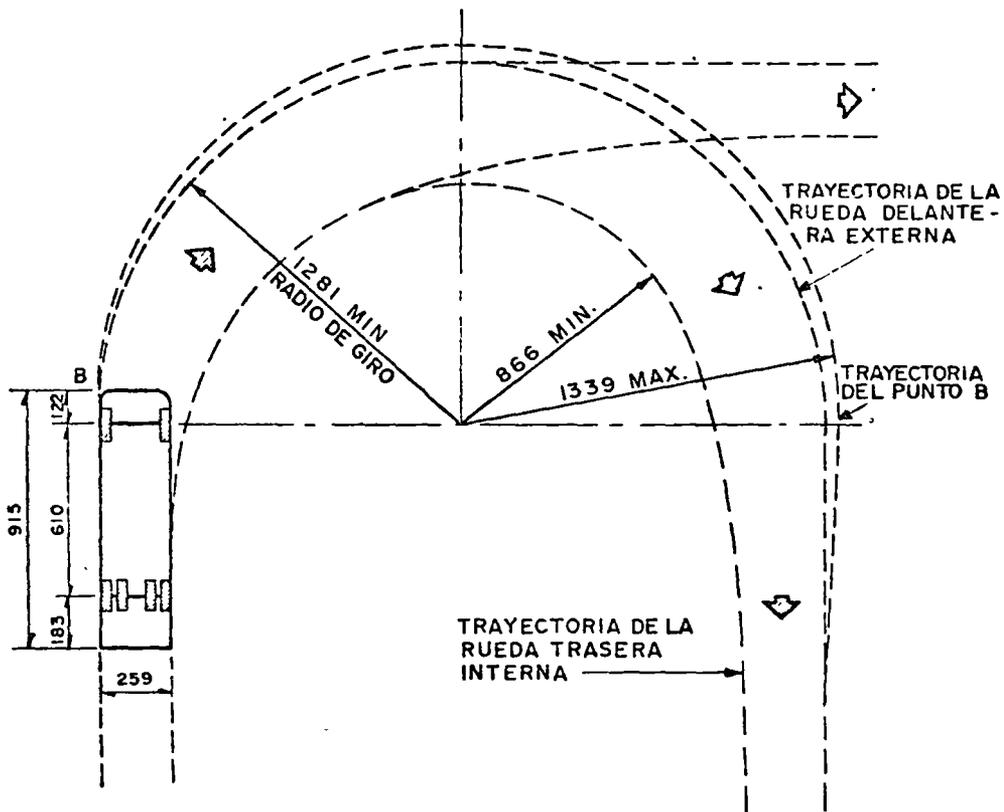


FIGURA 1-19. CARACTERISTICAS DEL VEHICULO DE PROYECTO DE-610

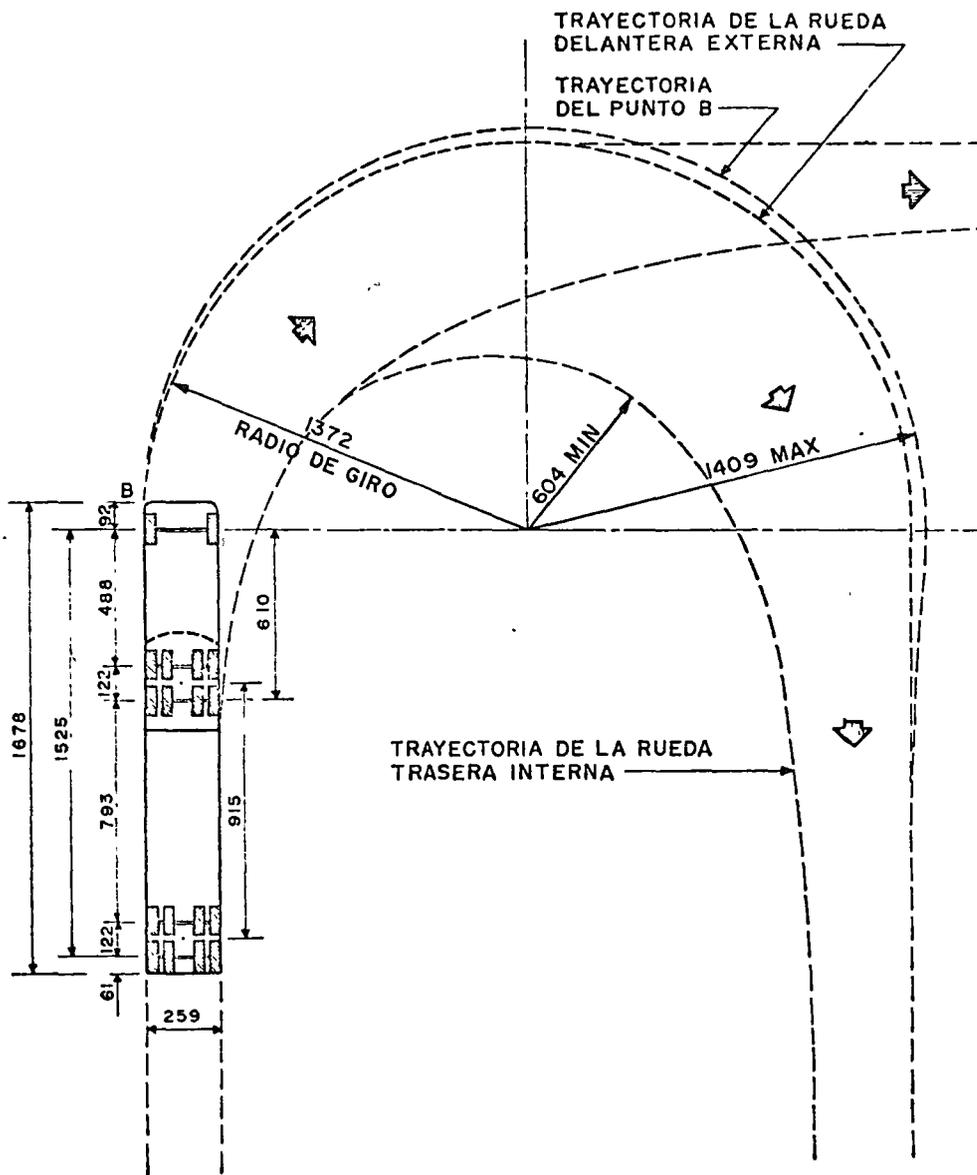


FIGURA 1 CARACTERISTICAS DEL VEHICULO DE PROYECTO DE-1525

Las trayectorias de este vehículo pueden emplearse en zonas urbanas , en aquellas intersecciones en que circulen o se prevea la circulación de vehículos de transporte público .

c) Vehículo de proyecto DE - 1220 ó DE - 1525

Este vehículo solo debe elegirse en aquellas intersecciones en donde exista un porcentaje considerable de vehículos articulados .

12.1.2 ANTEPROYECTO

El proyecto de las intersecciones se ha dividido en dos etapas: el anteproyecto , que comprende los estudios iniciales , la justificación y la determinación de la ubicación y forma de la intersección y el proyecto definitivo que consiste en la elaboración de los planos necesarios para la construcción de la obra , basados en las especificaciones geométricas , en la topografía del lugar y en las necesidades del tránsito .

En la etapa del anteproyecto , deben analizarse todas las posibles soluciones evaluándolas conjuntamente hasta lograr la intersección que desde el punto de vista técnico-económico sea la más apropiada .

El procedimiento que se sigue para el anteproyecto de las intersecciones consiste en:

1o.- La elaboración de los diagramas de cada solución probable . Estos diagramas se hacen en forma rápida , en papel transparente colocado sobre la planta topográfica; durante su elaboración el ingeniero proyectista tiene

en mente las especificaciones referentes a la curvatura máxima, las pendientes permitidas, los anchos de calzada, la localización de las isletas, etc., considerando solamente los aspectos generales de cada alternativa posible sin llegar a la elaboración de cálculos o a la afinación de los detalles.

2o.- El análisis de los diagramas. En esta fase del estudio se analizan las ventajas y desventajas que presenta cada una de las alternativas dibujadas. Comparándolas entre sí, analizando los puntos de conflicto, las -- longitudes de recorrido, las facilidades a los movimientos con mayores volúmenes de tránsito, los probables costos de construcción y la operación del tránsito; desechando las alternativas que sean francamente inferiores o inadecuadas. Cuando menos dos de las alternativas que presenten las mayores ventajas se seleccionan para ser comparadas analíticamente antes de llegar a la conclusión final.

3o.- Dimensionamiento de las alternativas seleccionadas. Para llevar a cabo la evaluación final de las alternativas, es conveniente elaborar una planta dimensionada de cada diagrama seleccionado, incluyendo ya todos los elementos que intervienen en el proyecto de las intersecciones y definiendo el vehículo tipo para el cual se diseñará la obra. El dimensionamiento debe sujetarse a las especificaciones que norman los radios y anchos mínimos de las curvas, los radios de control para las vueltas a la izquierda, las aberturas de la faja separadora central, los movimientos de cruce, los anchos requeridos para las maniobras de retorno, la transición, ancho y longitud de

los carriles auxiliares, la relación entre la velocidad y de la curvatura, las curvas compuestas y las espirales de transición, los anchos de calzada para los diferentes tipos de operación, las transiciones para el cambio de los anchos de calzada, la sobreelevación en las curvas, las distancias y los triángulos mínimos de visibilidad, la ubicación y dimensiones de las isletas y los dispositivos para el control del tránsito.

En cuanto al alineamiento vertical, se deducen los perfiles de las plantas topográficas y se anteproyectan las rasantes y las ligas de pavimento de las vías de enlace con las ramas de la intersección, tomando en cuenta las restricciones de las distancias de visibilidad y de las sobreelevaciones de modo que se logre continuidad en la superficie de rodamiento evitando lomos o depresiones molestas o peligrosas para la circulación del tránsito.

4o.- Evaluación de las alternativas y elección de la mejor. Una vez elaboradas las plantas dimensionadas se comparan las diferentes alternativas analizando sus características de adaptabilidad, capacidad, operación, diseño, etapas de desarrollo y los costos de construcción y operación.

Cada alternativa debe juzgarse con respecto a su adaptabilidad en el lugar. Algunos proyectos se apegan más que otros a la topografía y características del lugar. Las obras que implican grandes movimientos de tierras o presentan graves problemas de drenaje son menos deseables que aquellas que se adaptan a la configuración del terreno.

Para seleccionar la intersección es necesario analizar el tipo de entronque

y el servicio que se debe proporcionar, así por ejemplo: en una intersección de dos caminos secundarios no será apropiada una alta canalización con isletas, mientras que, para caminos de alta velocidad siempre será necesario un proyecto de tipo especial; asimismo se debe tener en cuenta, que todas las intersecciones a lo largo de un camino dado, debe ser del mismo tipo. Por último siempre deberán preferirse los proyectos que den preferencia a los movimientos con mayor volumen de tránsito.

Para cada alternativa se debe hacer un análisis de capacidad para determinar su facilidad de acomodar el tránsito, para estimar, en conjunto con los pronósticos del tránsito, los niveles de servicio que irá proporcionando la intersección a lo largo de su vida útil y para pronosticar la fecha futura en que la obra necesitará ser ampliada o controlada con semáforos.

Las características de operación de cada anteproyecto se compara considerando el comportamiento de los conductores y el funcionamiento del tránsito, tomando en cuenta los efectos de las convergencias, divergencias, cruces y entrecruzamientos, las velocidades probables, las demoras, la secuencia de entradas y salidas y el señalamiento.

Los aspectos geométricos del diseño, tales como alineamiento horizontal, rasantes, distancias de visibilidad, anchos de calzada, carriles auxiliares, sobreelevaciones o isletas, de cada alternativa se comparan ponderándolas para la selección de la mejor alternativa.

Debido a los futuros incrementos del tránsito y a los planes de inversión

en carreteras, algunas veces es conveniente la construcción por etapas de los entronques, en estos casos, cada alternativa deberá ser examinada para su adaptabilidad a cada etapa de construcción. Las características de operación para la primera etapa y la factibilidad de las siguientes, tomando en cuenta la forma de sostener el tránsito, pueden tener un paso importante en la selección definitiva.

Los costos de construcción para cada alternativa, se obtienen en forma -- aproximada de las plantas dimensionadas, deduciendo los perfiles transversales y considerando secciones tipo de construcción. Se calculan las cantidades de obra de aquellos conceptos que influyen significativamente en los presupuestos tales como: adquisición del derecho de vía, terracerías, pavimento, drenaje, estructuras y señalamiento. Los precios unitarios de cada concepto no necesitan ser rigurosamente exactos, ya que la finalidad de la comparación es determinar cual de las alternativas es la más barata y el orden en que los costos de construcción se van haciendo mayores para cada una de las obras alternativas.

Para complementar el análisis económico es necesario obtener los costos de operación del tránsito en cada una de las alternativas. Estos costos se calculan considerando los volúmenes de tránsito, los tiempos de espera o de retardo, las velocidades de operación y los costos por kilómetro y por hora de los diferentes tipos de vehículos. El costo de operación de cada alternativa es un factor esencial para la comparación y selección del mejor

proyecto, ya que en estos costos se reflejan las bondades del diseño.

El paso final para seleccionar la mejor alternativa es el análisis de conjunto o resultado de las comparaciones hechas de cada una de las características enunciadas, justificando la decisión con análisis de beneficio-costos basados en las condiciones actuales, la reducción de las posibilidades de accidentes, la comodidad a los usuarios y la factibilidad de la inversión.

Para el dimensionamiento de los anteproyectos y la elaboración del proyecto definitivo, deberán tenerse en cuenta todos los elementos y especificaciones geométricas que a continuación se describen:

12.2 MANIOBRAS DE LOS VEHICULOS EN LAS INTERSECCIONES

En el área de la intersección, un conductor puede cambiar de la ruta sobre la cual ha venido manejando, a otra de diferente trayectoria ó cruzar la corriente de tránsito que se interpone entre él y su destino.

Cuando un conductor se cambia de la ruta sobre la que ha venido manejando, encontrará necesario salir de la corriente de tránsito para entrar a una de diferente trayectoria, ó tendrá que cruzar otras trayectorias como se -- ilustra en la Fig. 12.1.

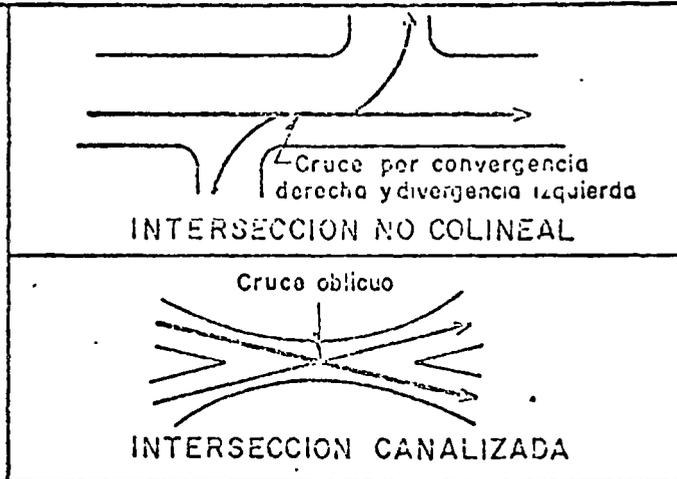
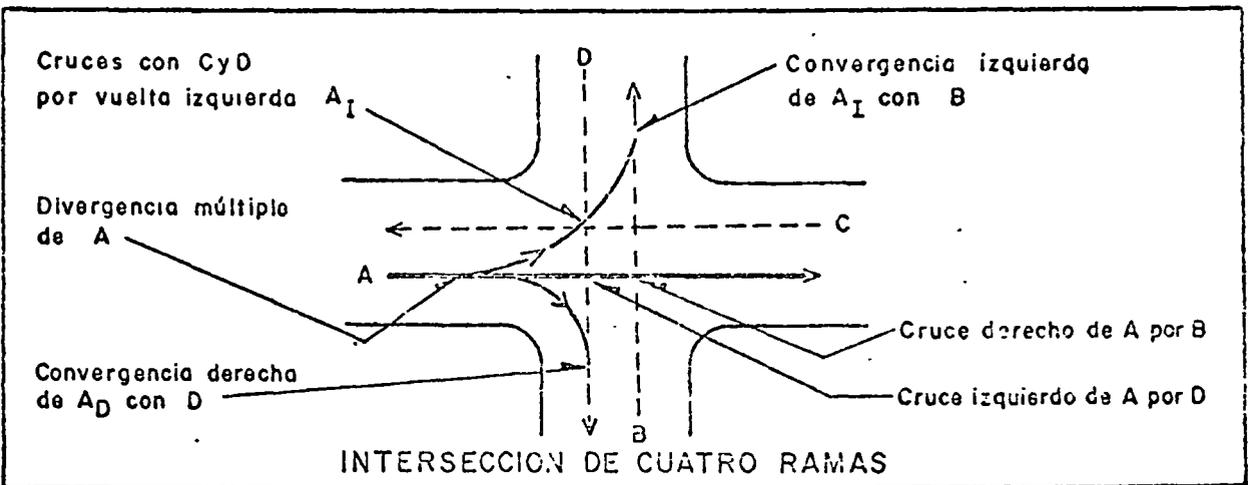
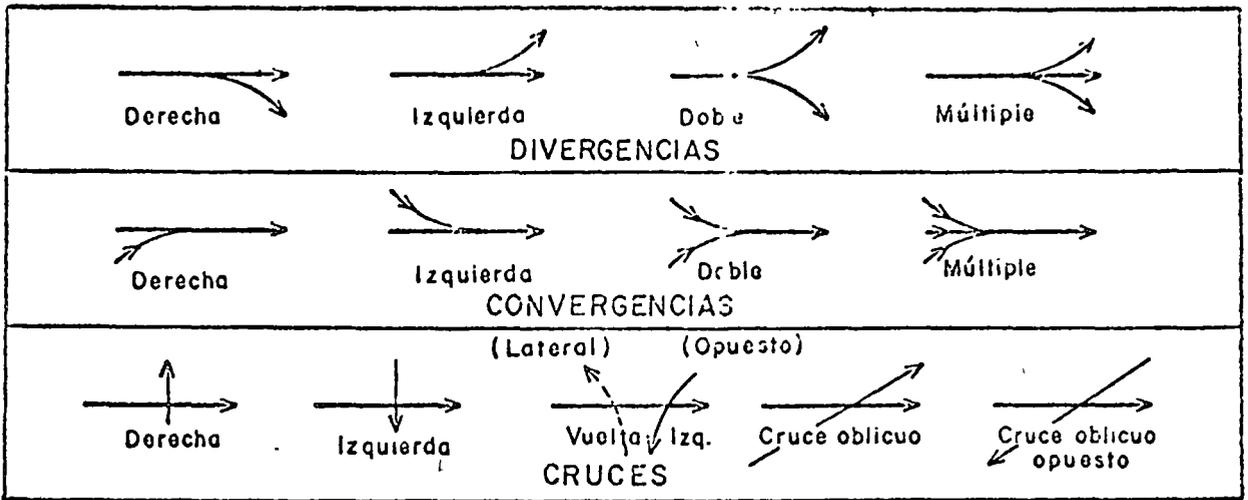


Fig. 12.1 Maniobras de los vehículos en las intersecciones

En cualquier caso que exista divergencia, convergencia, o cruce, existe un conflicto entre los usuarios que intervienen en las maniobras. Esto puede incluir a los usuarios cuyas trayectorias se unen, cruzan o separan, o puede abarcar a los vehículos que se aproximan al área de conflicto.

El área de conflicto abarca la zona de influencia en la cual los usuarios que se aproximan pueden causar trastornos a los demás conductores, debido a las maniobras realizadas en la intersección.

12.2.1 Maniobra de divergencia.

La divergencia es, tal vez, la más simple y fácil de las maniobras que ocurren en una intersección. En la Fig. 12.2 se muestra una gráfica que representa la influencia de esta maniobra. En ella se aprecia que el área de conflicto comienza en el punto donde la velocidad del vehículo 2 que diverge, se reduce, influyendo en la del vehículo 3, hasta que el vehículo 2 sale de su trayectoria original. Simultáneamente con la divergencia, pueden ocurrir conflictos adicionales que no son inherentes a la maniobra.

El diagrama de la relación tiempo-distancia, muestra que el vehículo 1 ha pasado a través de la intersección sin conflicto o retraso. El vehículo 2, que efectúa la maniobra de divergencia, reduce su velocidad en un punto alejado cierta distancia de la intersección para poder efectuar una vuelta cómoda, marcando con ella el inicio del área de conflicto. Esta área de conflicto se continúa hasta el punto donde el vehículo 2 abandona el carril original de su viaje. El vehículo 3, mostrado dentro de esta área de conflicto, sufre una demora debido a la existencia de un conflicto entre él y el vehículo 2. El vehículo 4, de la misma manera que el vehículo 1, pasa a través de la intersección, sin

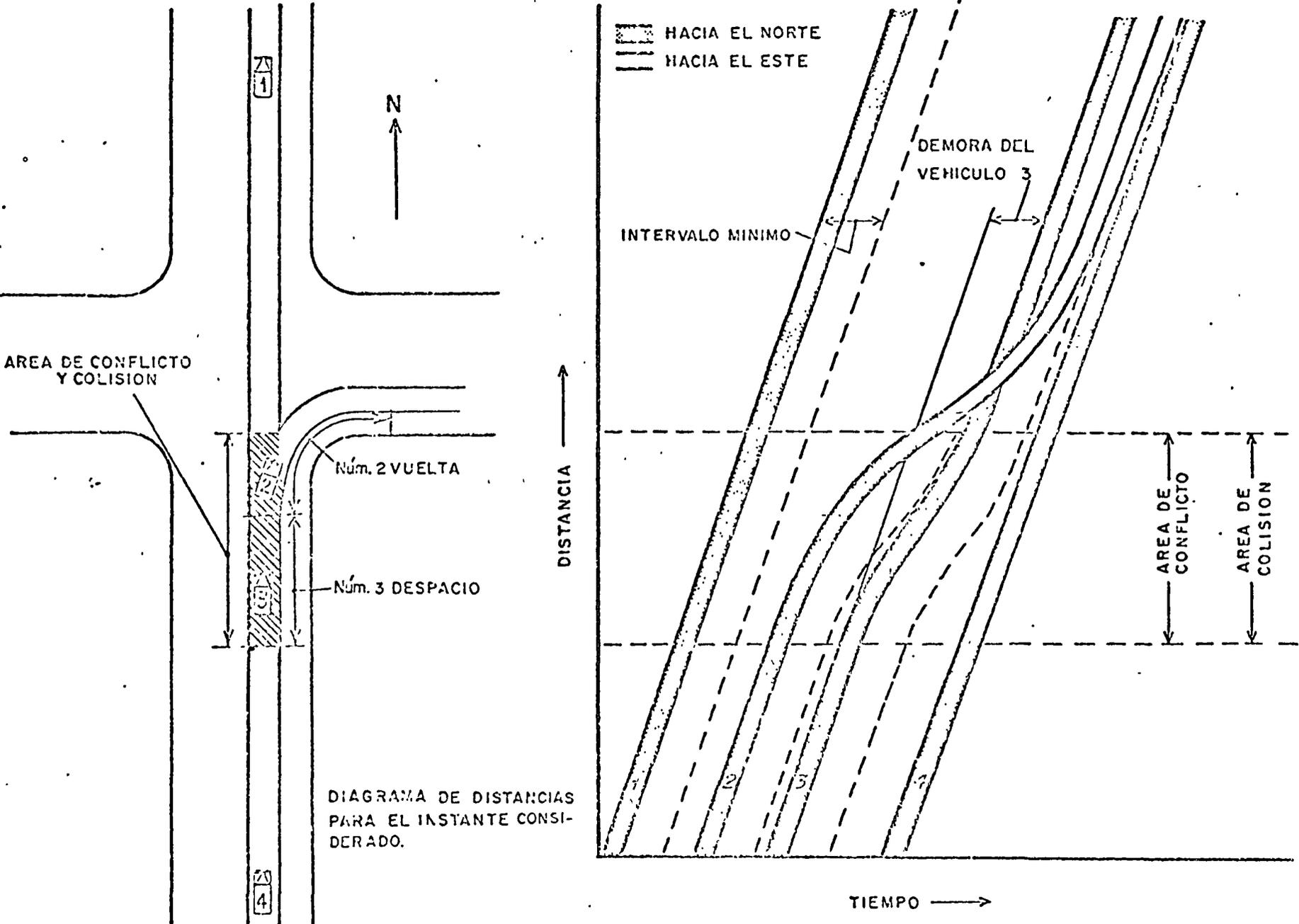


Fig. 12.2 Relación de tiempo-distancia en las maniobras de divergencia

ningún conflicto, pero sufre la reducción de intervalo entre él y el vehículo 3 y continúa con un intervalo que se puede considerar como mínimo para la corriente de tránsito en su viaje a través del área de conflicto. El vehículo 3, por el contrario, ve aumentado el intervalo que lo separa del vehículo 1, después de que la divergencia se ha efectuado.

12.2.2 La maniobra de convergencia.

A diferencia de la maniobra de divergencia, la de convergencia no puede realizarse a voluntad, sino que debe ser diferida hasta que exista un espacio adecuado entre dos vehículos que circulen por el carril al cual se va a incorporar. En la Fig. 12.3 se muestra la influencia de esta maniobra sobre los demás vehículos. En este caso, el área de conflicto se inicia antes que el área potencial de colisión y se extiende a un punto donde el vehículo que converge ha alcanzado aproximadamente la velocidad del vehículo 3. El área de colisión se extiende desde el punto de entrada del vehículo convergente, hasta alcanzar el límite del área de conflicto.

La posición relativa de los vehículos involucrados se muestra en el instante considerado. El vehículo 1 ha pasado a través de la intersección y salido del área de conflicto, sin alterar el curso de su viaje. El vehículo 2, el cual realiza la maniobra de convergencia, ha invadido parcialmente el área de colisión, sufriendo un retraso debido a la proximidad del vehículo 3. El vehículo 3 reduce su velocidad mientras está dentro del área de conflicto, hasta que su conductor decide que debe pasar la intersección antes que el vehículo 2. El conductor del vehículo 2, después de permitir el paso del vehículo 3, se adapta a la distancia que existe entre el vehículo 3 y el 4, para realizar su maniobra. Al hacer ésto, sin embargo, el vehículo 2 produjo una demora al

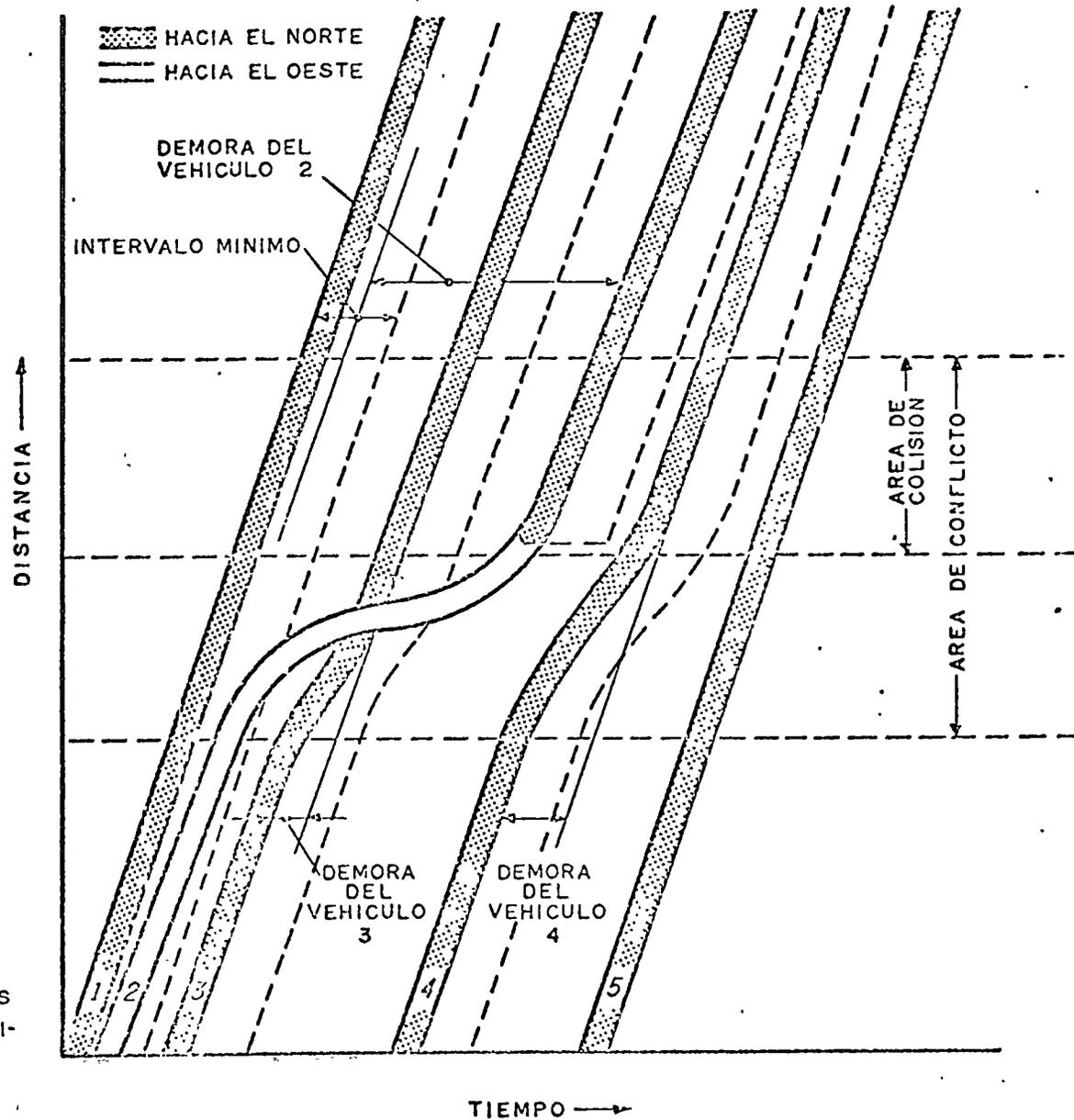
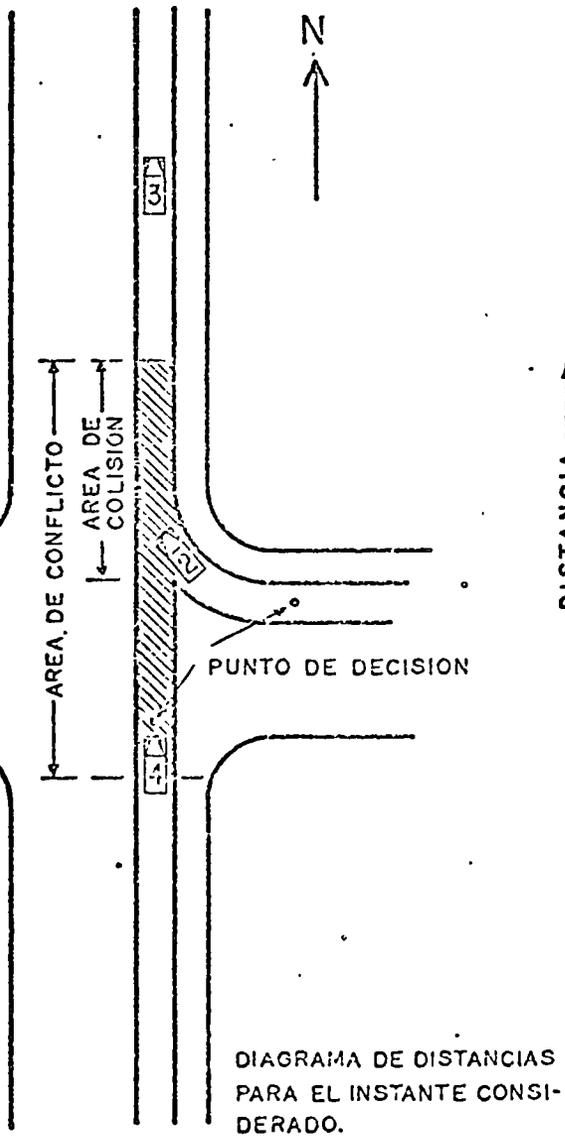


Fig. 12.3 Relación de tiempo distancia en las maniobras de convergencia

vehículo 4, como se muestra en el diagrama. El vehículo 5, de la misma manera que el vehículo 1, pasó a través de la intersección sin ninguna demora.

12.2.3 La maniobra de cruce.

La Fig. 12.4 muestra gráficamente la relación tiempo-distancia en una maniobra de cruce. En este caso el área de conflicto comienza en un punto colocado a una distancia del área de la intersección y se extiende a través del área de colisión.

La posición relativa de los vehículos involucrados, se muestra para el instante considerado. El vehículo 1 ha pasado a través de la intersección, sin ningún problema. El vehículo 2 que realiza el cruce en la dirección Este-Oeste ha entrado en el área de conflicto. El vehículo 3 sigue al vehículo 1 con una separación entre ellos cercana a la mínima aceptable, demasiado corta para ser utilizada por el vehículo 2 que realizará la maniobra de cruce. Sin embargo, el conductor del vehículo 3 reduce un poco su velocidad al entrar al área de conflicto. Esta desaceleración continúa hasta el punto de decisión en donde el conductor del vehículo 3 decide que el vehículo 2 le cederá el derecho de paso y por lo tanto, vuelve a tomar su velocidad normal. Debido a las circunstancias, el conductor del vehículo 2 tuvo necesidad de detenerse. Cuando el vehículo 3 sale del área de colisión, el vehículo 2 acepta el siguiente espacio libre y se adelanta al paso del vehículo 4, alcanzando nuevamente una velocidad normal en la dirección Este-Oeste. El conductor del vehículo 4 reduce un poco la velocidad en el área de conflicto hasta el punto de decisión en el cual cedió el derecho de paso. El vehículo 5 pasó a través de la intersección sin ningún retraso.

12.2.4 Número y tipos de conflictos.

El número de conflictos que pueden desarrollarse en una intersec-

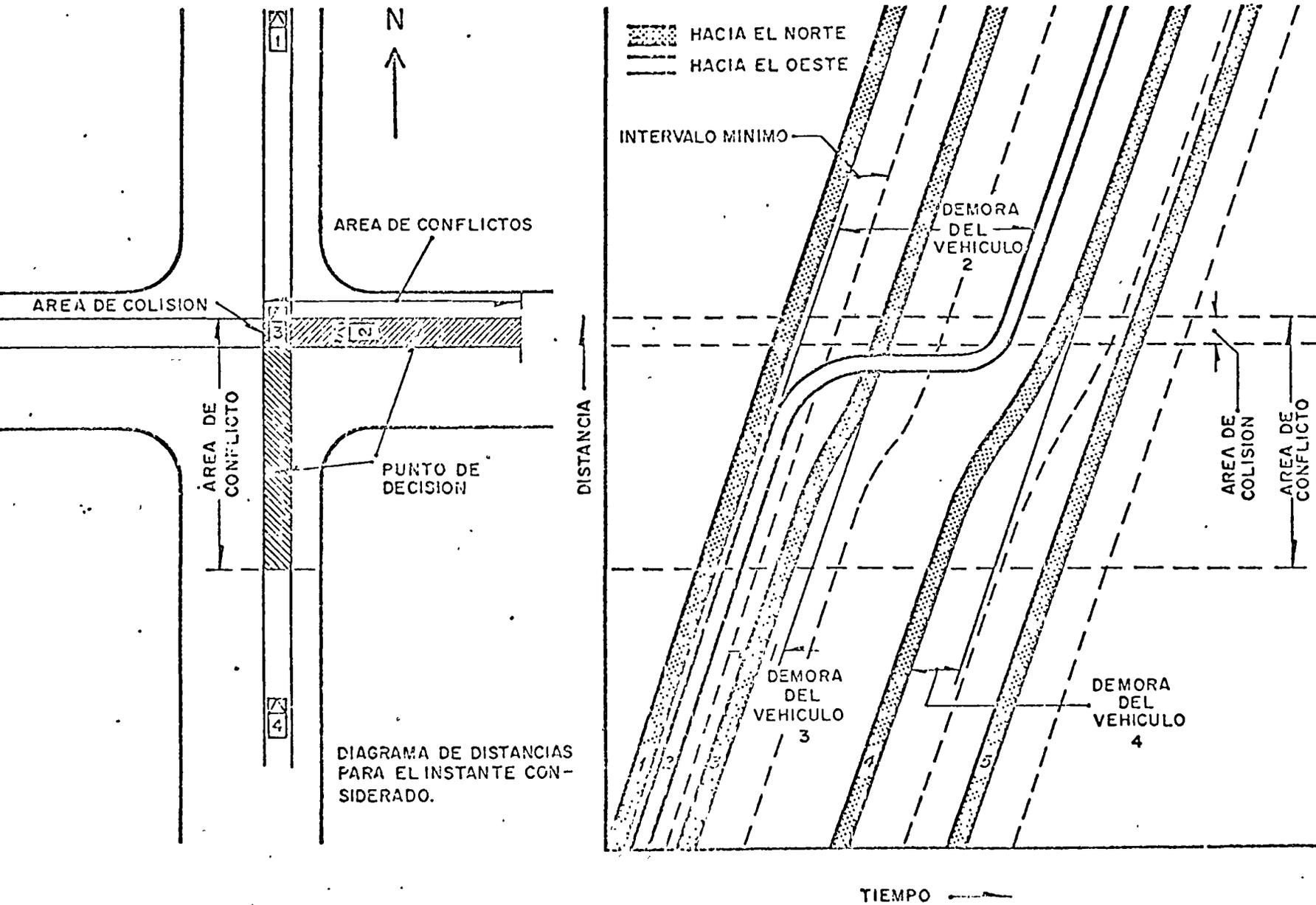


Fig.12.4 Relación de tiempo-distancia en las maniobras de cruces

ción por tipo de maniobra, son los que se indican en la tabla 12-A. En ella se aprecia que en una intersección con cuatro ramas de doble circulación existen 32 puntos de conflictos, 16 de los cuales son de los del tipo más peligroso o sea de cruce. Cuando se tiene una T o una Y ocurren únicamente 9 conflictos de los cuales sólo 3 incluyen maniobras de cruce.

12.2.5 Frecuencia de conflictos.

La frecuencia de los puntos de conflicto depende del volumen de tránsito que se encuentra en cada trayectoria de flujo, así por ejemplo, en la intersección de cuatro ramas que se muestra en la Fig. 12.5, se supone que por cada acceso a la intersección entran 200 vph, de los cuales el 10% voltea a la derecha y el 10% a la izquierda y se desea saber cuántos puntos de conflicto se tendrán al cabo de una hora. Los cálculos que conducen a obtener el resultado son los siguientes:

Volumen que voltea a la derecha 10% x 200 vph x 4 accesos	=	80 vph
Volumen que voltea a la izquierda 10% x 200 vph x 4 accesos	=	80 vph
Tránsito de frente 80% x 200 vph x 4 accesos	=	640 vph
Total:		<u>800 vph</u>

De la tabla 12.A se tiene lo siguiente:

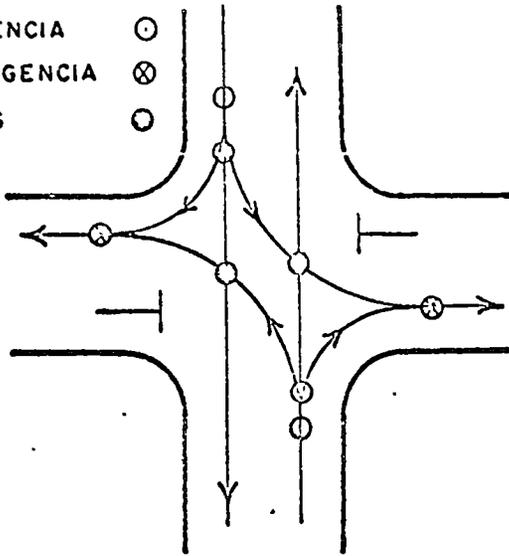
8 conflictos de divergencia para los 8 movimientos de vuelta; 1 conflicto/vuelta; (80 + 80) vueltas x 1	=	160
8 conflictos de convergencia para los 8 movimientos de vuelta; 1 conflicto/vuelta; (80 + 80) vueltas x 1	=	160
12 conflictos de cruce correspondientes a los 4 movimientos de vuelta izquierda; 3 conflictos/vuelta; 80 vueltas x 3	=	240

NUMERO DE RAMAS DE DOBLE CIRCULACION	NUMERO DE CONFLICTOS EN LOS MOVIMIENTOS DE LA INTERSECCION POR TIPOS DE MANIOBRAS.			
	C R U C E	CONVERGENCIA	DIVERGENCIA	T O T A L
3	3	3	3	9
4	16	8	8	32
5	49	15	15	79
6	124	24	24	172

Tabla 12-A.-Relación del número de conflictos entre los movimientos de la intersección al número de ramas de doble circulación que la forman, por tipo de manobras.

8 PUNTOS DE CONFLICTOS

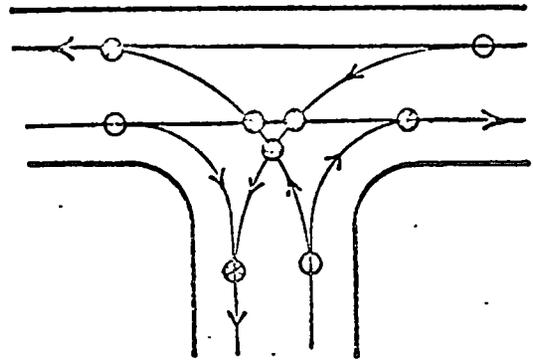
- 4 DIVERGENCIA ○
- 2 CONVERGENCIA ⊗
- 2 CRUCES ⊙



CONTROL CON SEMAFORO

9 PUNTOS DE CONFLICTOS

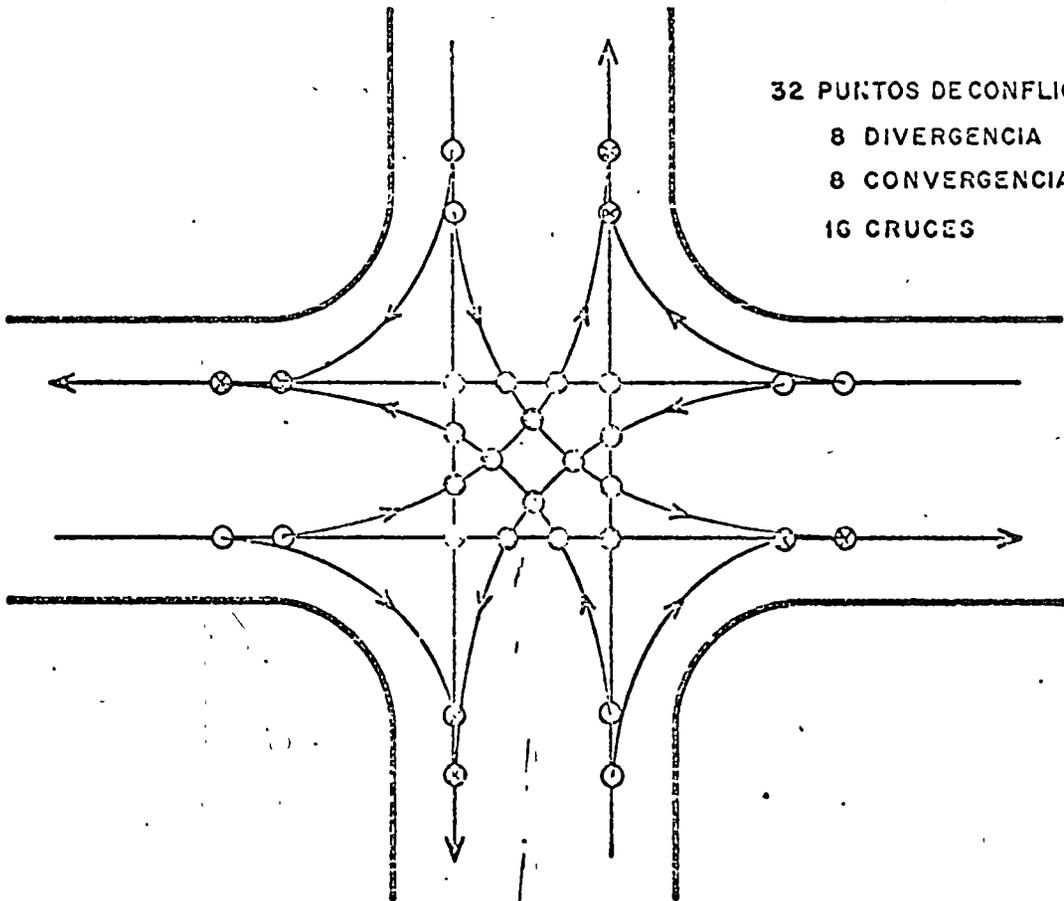
- 3 DIVERGENCIA ○
- 3 CONVERGENCIA ⊗
- 3 CRUCES ⊙



INTERSECCION T ó Y

32 PUNTOS DE CONFLICTOS

- 8 DIVERGENCIA ○
- 8 CONVERGENCIA ⊗
- 16 CRUCES ⊙



INTERSECCION COMUN DE CUATRO RAMAS

Fig. 12.5 Puntos de conflicto en Intersecciones

4 conflictos de cruce correspondientes a los 4 movimien—
tos de frente; 1 conflicto/cruce: 640 cruces x 1 = 640
Total de conflictos/hora = 1,200

La cifra anterior, da el número de motivos de accidentes que existe en una intersección para el volumen supuesto y revela la necesidad de estudiar su funcionamiento a fin de reducir el número de conflictos posibles.

Un alto porcentaje de los accidentes de tránsito ocurre en las intersecciones. En orden decreciente de peligrosidad se tienen los siguientes tipos de intersecciones: A).- Intersecciones a nivel simples; B).- Intersecciones a nivel con carriles adicionales para cambios de velocidad; C).- Intersecciones canalizadas; D).- Glorietas; y E).- Intersecciones a desnivel. Aunque no existen límites numéricos para distinguir un tipo de otro, el orden presentado supone que cada una de las intersecciones está trabajando con los volúmenes de tránsito considerados en su proyecto.

12.3 AREAS DE MANIOBRA.

Es la zona de una intersección en la que el conductor de un vehículo realiza las operaciones necesarias para ejecutar las maniobras requeridas. Incluye el área potencial de colisión y la parte de los accesos a la intersección desde la cual se ve afectada la operación de los vehículos.

El proyecto de una intersección se inicia desde el estudio de las áreas de maniobra. Estas se dividen en simples, múltiples y compuestas.- Las simples se presentan cuando dos vías de un solo carril y un solo sentido de circulación cruzan, convergen ó divergen. Las múltiples, cuando más de dos vías de un solo carril y un solo sentido de circulación cruzan, convergen ó divergen y compuestas, cuando las maniobras se efectúan en -

más de un solo carril de circulación. La Fig. 12.6 muestra ejemplos de áreas de maniobra, simples múltiples y compuestas.

Las áreas de maniobra múltiples deben evitarse hasta donde sea posible pues los conductores que circulan por las diferentes vías se confunden al llegar al área potencial de colisión común y ocasionan problemas de capacidad y de seguridad. La excepción a esta regla puede ocurrir cuando se tienen divergencias múltiples debido a la relativa sencillez de este tipo de maniobra.

La misma función de un área de maniobra múltiple puede obtenerse a través de dos o más áreas simples separadas, de tal manera que no influya la operación de una en la de otra, lográndose así una operación más segura, y con menos demoras cuando se tienen velocidades relativas bajas.

Dentro de las áreas de maniobra la velocidad relativa es función inversa de la calidad de operación, razón por la cual, cuando se logra una velocidad relativa baja se tiene una circulación continua, en cambio para la velocidad relativa alta, la circulación es discontinua.

La velocidad relativa se expresa como un vector tal como se indica en la Fig. 12.7 y su valor se calcula con la fórmula siguiente:

$$V_R = \sqrt{V_A^2 + V_B^2 - 2 V_A V_B \cos \alpha}$$

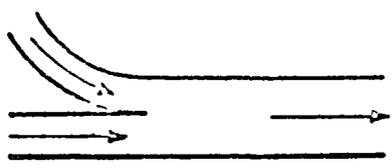
en donde:

V_R = Velocidad relativa

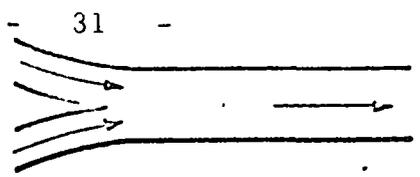
V_A = Velocidad de operación del vehículo que circula por la vía A.

V_B = Velocidad de operación del vehículo que circula por la vía B.

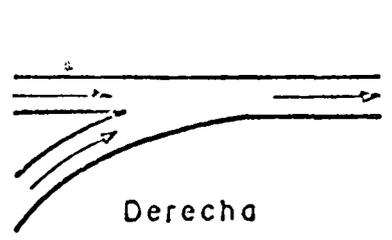
α = Angulo de la intersección formada por las vías A y B.



Izquierda



Doble

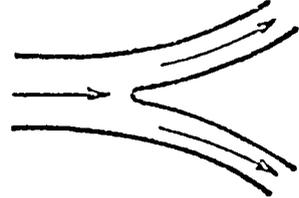


Derecha

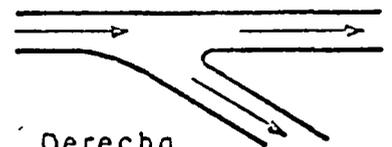
AREAS DE MANIOBRA SIMPLES EN CONVERGENCIAS



Izquierda

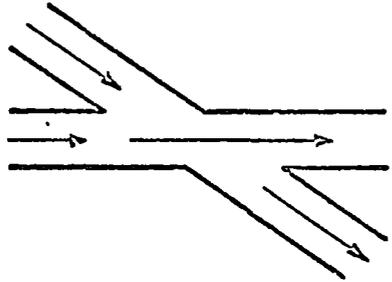


Doble

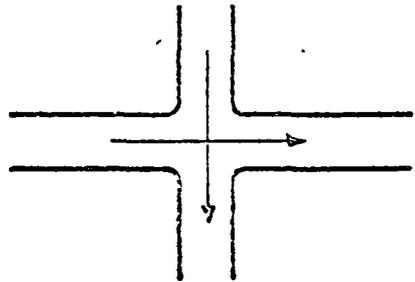


Derecha

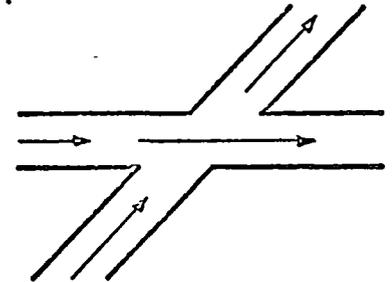
AREAS DE MANIOBRA SIMPLES EN DIVERGENCIAS



Izquierda

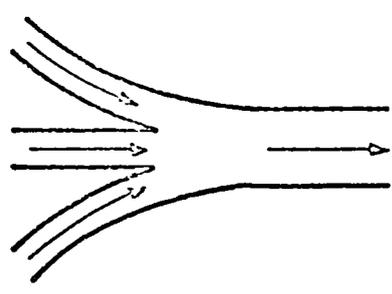


En ángulos rectos

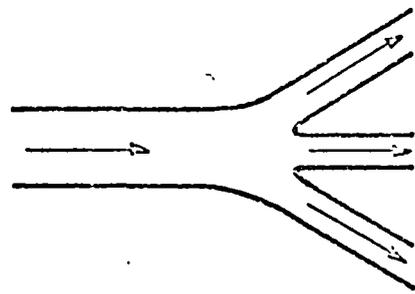


Derecha

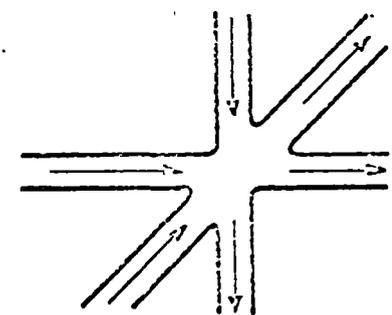
AREAS DE MANIOBRA SIMPLES EN CRUCES



Convergencia

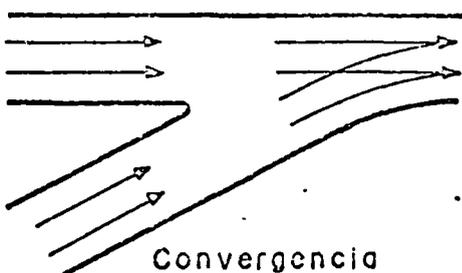


Divergencia

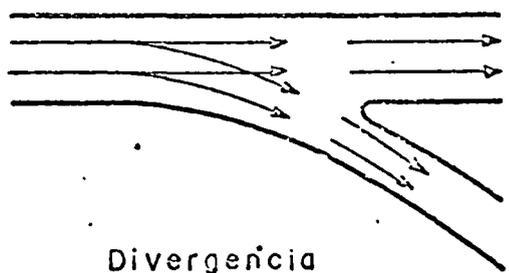


Cruce

AREAS DE MANIOBRA MÚLTIPLES



Convergencia



Divergencia

AREAS DE MANIOBRA COMPUESTAS

Fig.12.6 - Ejemplos de áreas de maniobra simples, múltiples y compuestas.

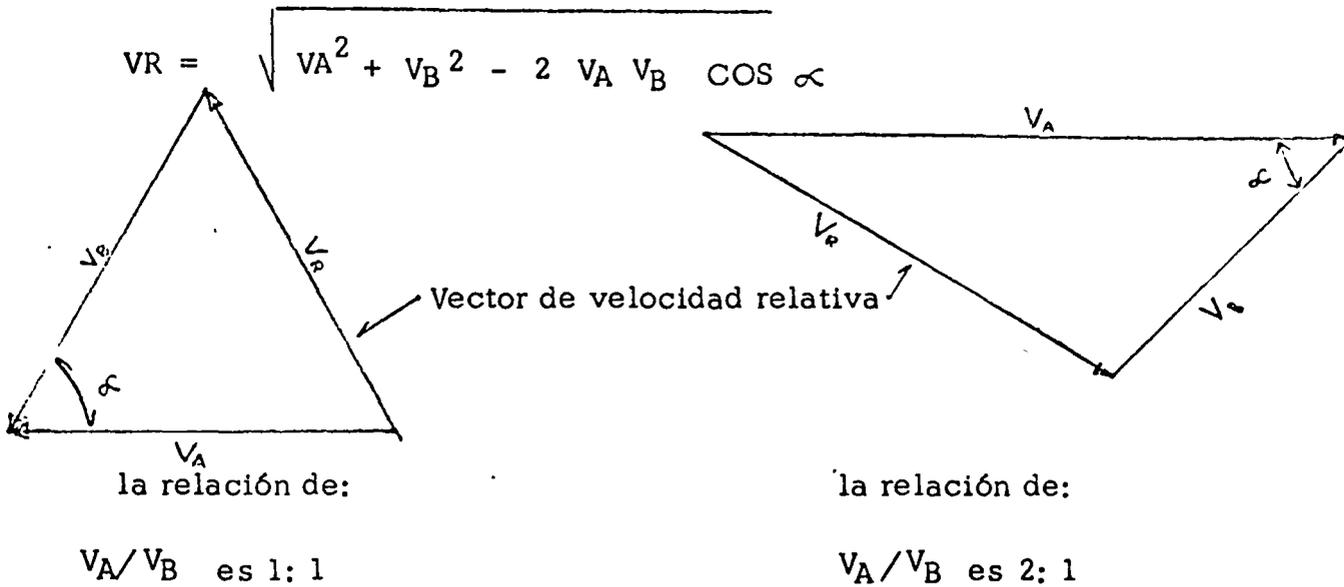


Fig. 12.7.- Ilustración del vector de velocidad relativa.

12.3.1 Areas de maniobra simples.

De las maniobras simples, la más segura y sencilla de realizar es la de divergencia, la cual se inicia desde un punto común dentro de la corriente de tránsito. El área de maniobra correspondiente deberá proyectarse para una velocidad relativa baja a fin de evitar una reducción en la velocidad, cuyo efecto se refleja hacia atrás hasta alcanzar el área de colisión. Cuando no puede darse el alineamiento requerido sobre alguno de los caminos que divergen, se usan carriles de desceleración para obtener los elementos de proyecto necesarios. En la Fig. 12.8 se muestran algunos ejemplos de este tipo de maniobras, considerando una velocidad relativa baja.

La maniobra de convergencia a velocidades relativas bajas, se tendrá cuando la sección transversal y el alineamiento de los enlaces de --

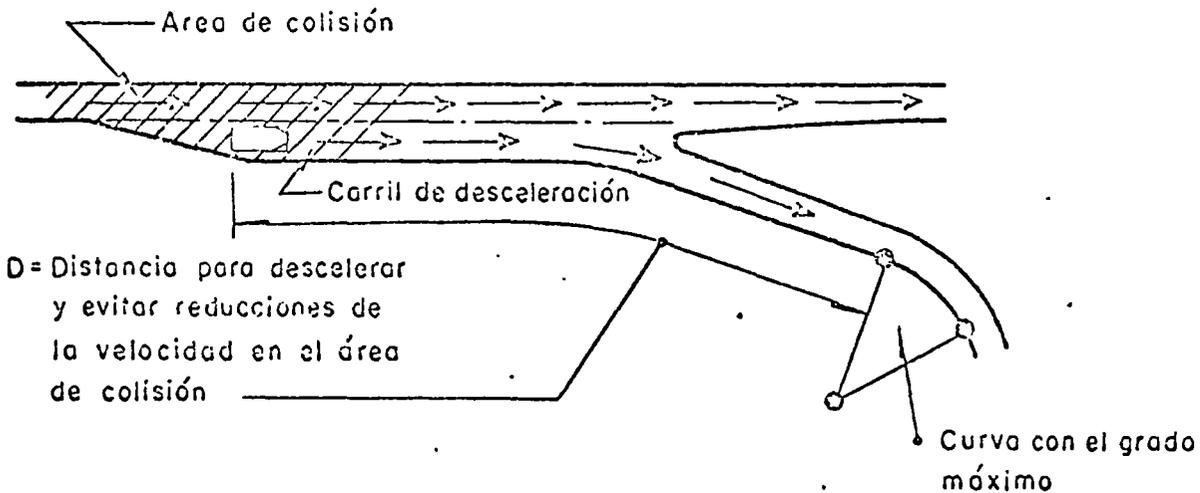
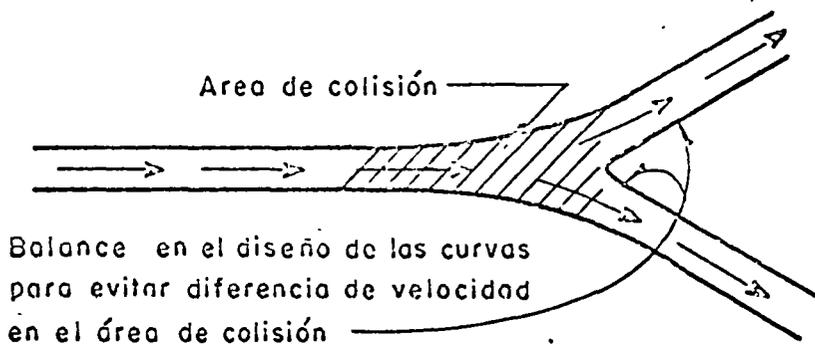
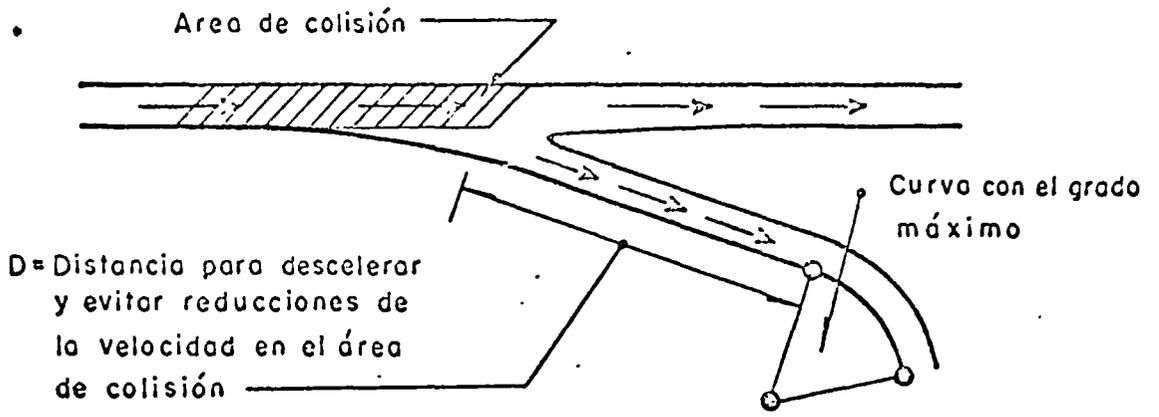


Fig. 12.8 Areas de maniobra simples de divergencia, considerando una velocidad relativa baja

acceso, no aumenten la diferencia de velocidad entre los flujos convergentes. Esta maniobra es un poco más complicada que la anterior, ya que incluye un nuevo factor que afecta la velocidad, llamado tiempo de maniobra, dentro del cual se considera el tiempo necesario para que los conductores de un flujo seleccionen una separación entre los vehículos del flujo en que van a converger y disponer de ese espacio para incorporarse, sin que exista interferencia en la velocidad.

Durante el tiempo de maniobra los vehículos deben ajustar su velocidad para alcanzar el área de colisión al mismo tiempo que se tenga una separación aceptable entre los vehículos consecutivos del flujo al cual se unirán. Asimismo deben tomar la velocidad del flujo al que van a unirse para no causar interferencias. A medida que el volumen de tránsito aumenta, disminuye la oportunidad de encontrar separaciones aceptables entre los vehículos del flujo al cual se va a converger, por lo que el tiempo de maniobra va aumentando hasta hacerse insuficiente. Como consecuencia se produce el congestionamiento causando retrasos en los vehículos.

Una maniobra más oportuna puede lograrse dando suficiente distancia de visibilidad en la intersección, o por medio de carriles de aceleración en donde se proporcione flexibilidad en el lugar de la maniobra.— Véase Fig. 12.9.

Las maniobras de cruce pueden efectuarse a cualquier ángulo. Son las maniobras más peligrosas y las que mayor retraso causan al tránsito. Las áreas de maniobra correspondientes pueden ser proyectadas para velocidades relativas altas y bajas.

Para los cruces con velocidades relativas altas se deberá procurar que el ángulo respectivo sea cercano a los 90° con el objeto de lo—

Tiempo de maniobra

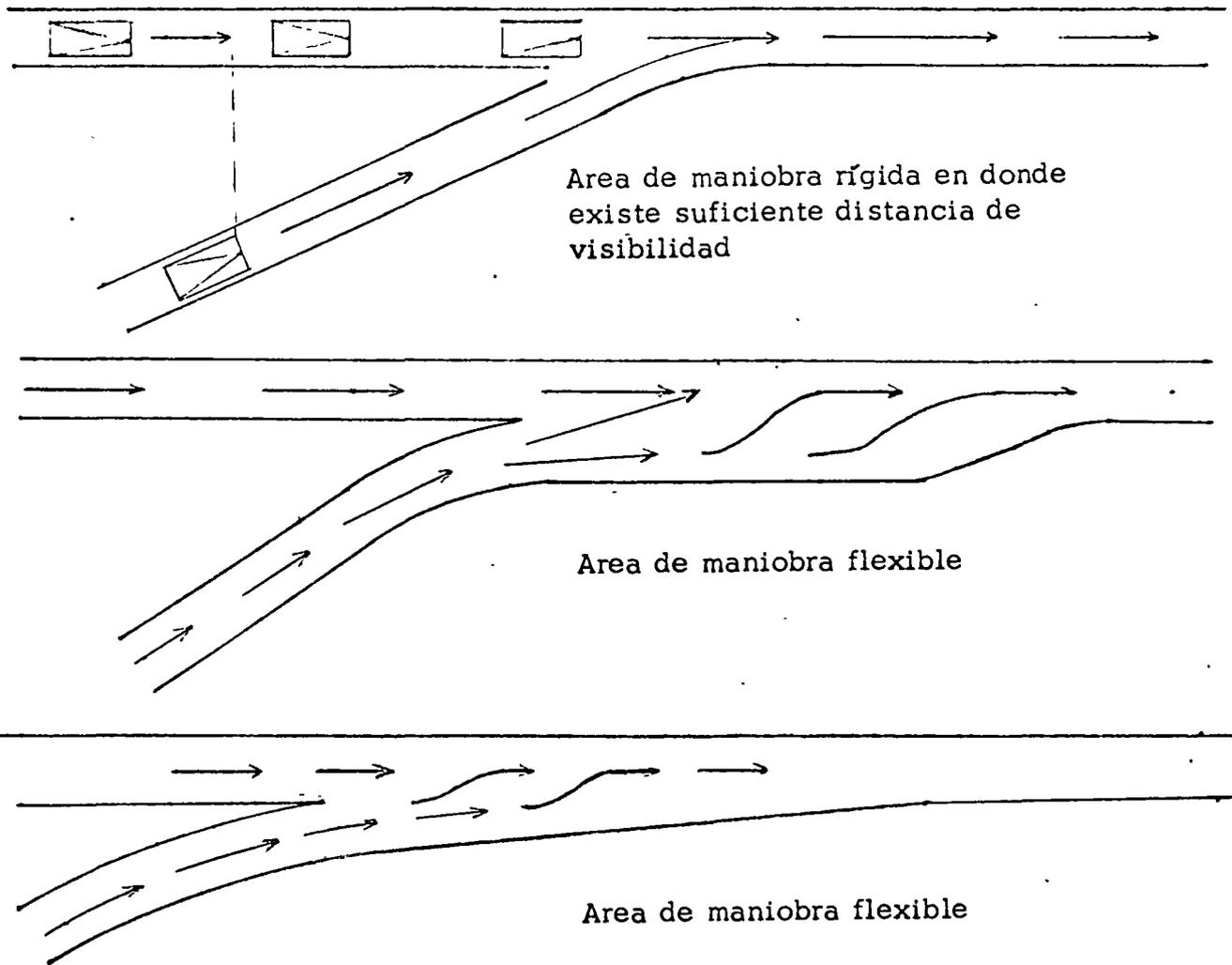


FIG. 12.9.- PROCEDIMIENTOS PARA PROPORCIONAR EL TIEMPO DE MANIOBRA

grar flujos independientes, mejorar la visibilidad y facilitar el control ya sea mediante semáforos, o con cualquier otro medio apropiado, aumentando así la seguridad en la operación.

12.3.2 Entrecruzamientos.

Se llama entrecruzamiento al cruce de dos corrientes de tránsito que circulan en un mismo sentido y se efectúa a través de convergencia y divergencia sucesivas (1). Una zona de entrecruzamiento está definida por la longitud y el ancho de un camino de un sentido de circulación en un extremo del cual dos caminos del mismo sentido convergen y en el otro divergen. En la Fig. 12.10 se muestra una zona de entrecruzamiento.

Los mismos principios de proyecto aplicados para convergencia y divergencia se emplean en el proyecto de las maniobras de entrecruzamientos.

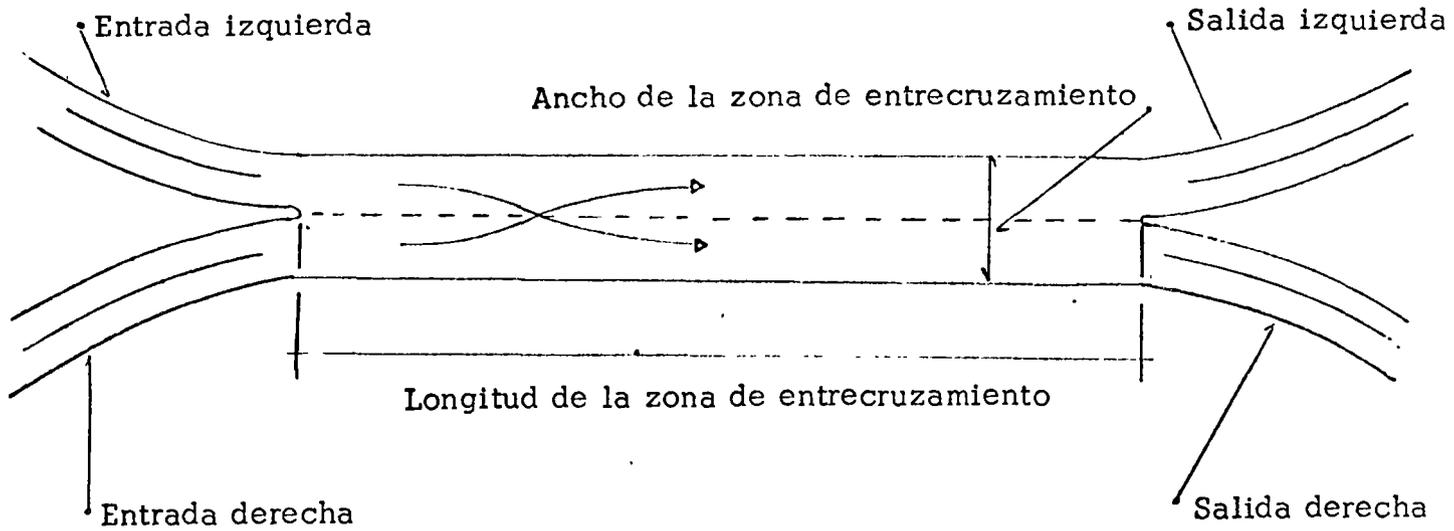
La calidad de operación de una zona de entrecruzamiento quedará calificada en buena parte por la velocidad relativa. En las zonas de entrecruzamiento la operación debe hacerse a una velocidad relativa baja para obtener una demora mínima con un alto grado de seguridad. La longitud de la zona de entrecruzamiento determina el tiempo de maniobra disponible para los conductores que se entrecruzan. Donde la zona es de suficiente longitud, la separación correspondiente a dos vehículos consecutivos de un flujo de tránsito puede ser utilizada para entrecruzamiento de más de un vehículo de otra corriente de tránsito.

Los factores a considerar en el proyecto de una zona de entrecruzamiento son la velocidad de proyecto, el volumen de servicio, los volú

(1).- Highway Capacity Manual. Highway Research Board, Reporte Especial 87, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1965

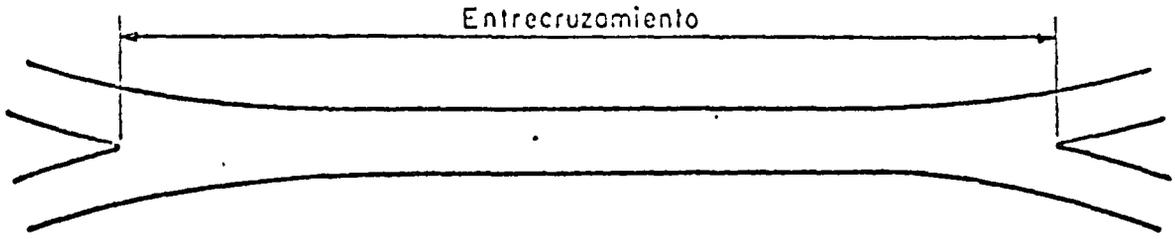
Con velocidad relativa baja

Es necesario un especiamento para la maniobra

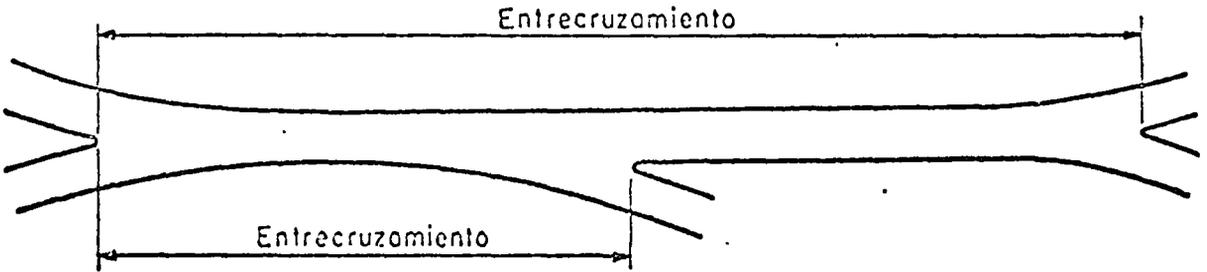


Se conserva una velocidad continúa.

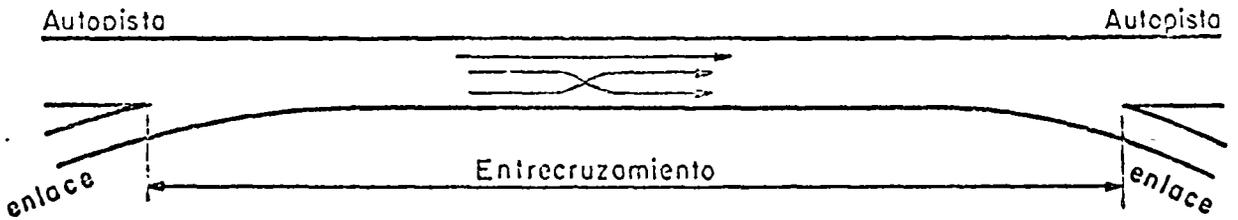
FIG. 12.10.- ZONA DE ENTRECruzAMIENTO



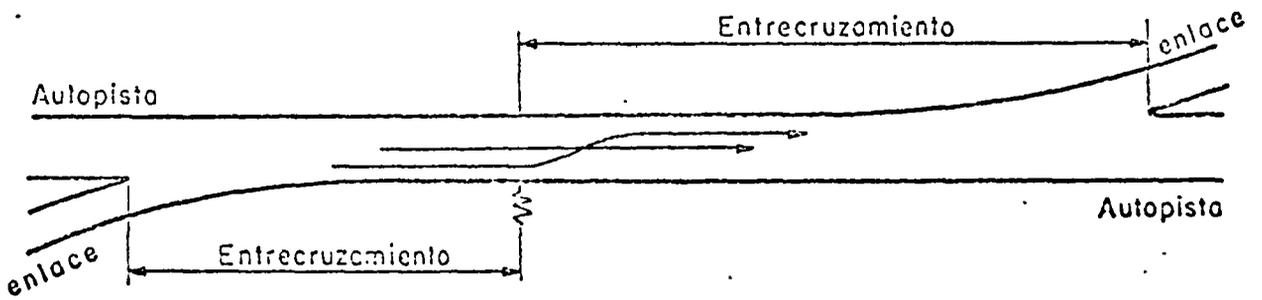
(a) ENTRECruzAMIENTO SIMPLE



(b) ENTRECruzAMIENTO MULTIPLE



(c) ENTRECruzAMIENTO EN UN SOLO LADO



(d) ENTRECruzAMIENTO EN DOS LADOS

Fig. 12.11 - Tipos de zonas de entrecruzamiento

menes de los movimientos de entrecruzamiento y los de los movimientos que no producen entrecruzamientos, como son las corrientes de tránsito exteriores.

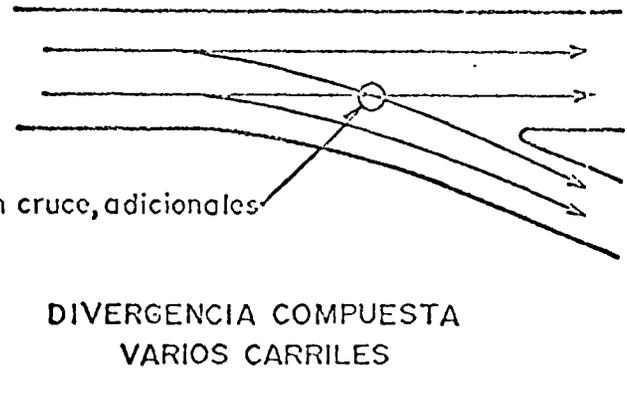
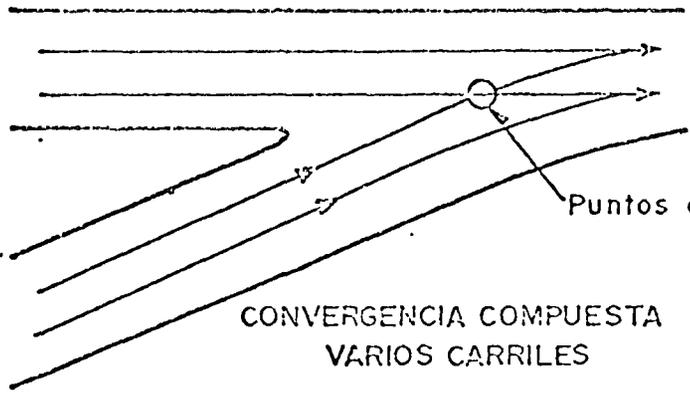
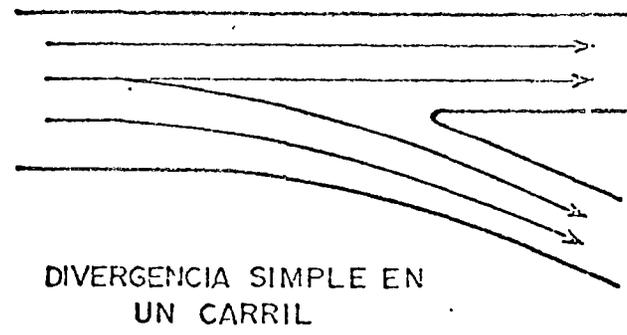
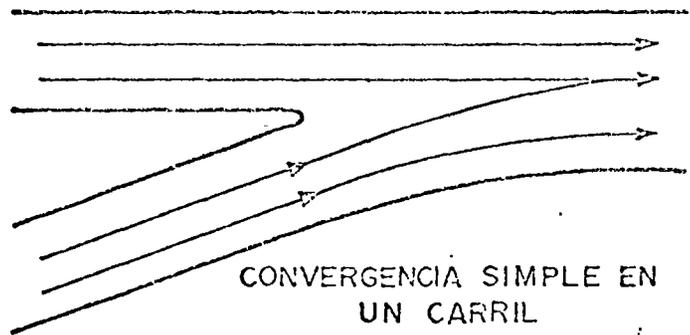
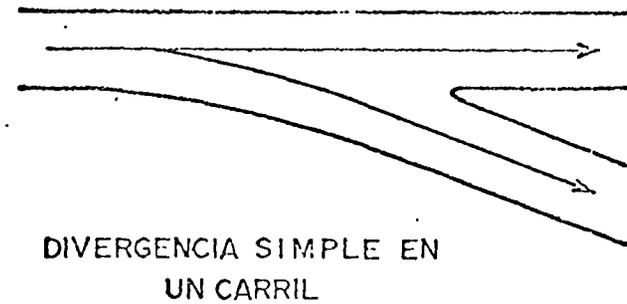
El procedimiento de cálculo para una zona de entrecruzamiento se explica en el Capítulo VII relativo a Capacidad. En la Fig. 12.11 se muestran algunos tipos de zonas de entrecruzamiento que se presentan en la práctica.

12.3.3 Áreas de maniobra compuestas.

Un área de maniobra es compuesta cuando funciona de tal manera que acomoda corrientes paralelas de tránsitos en varios carriles de circulación. En la Fig. 12.12 se muestran algunas áreas de maniobra de convergencia y divergencia simples y compuestas. Las áreas de maniobra compuestas ya sean de convergencia ó de divergencia originan conflictos adicionales de cruce que a su vez causan confusión en los conductores. Los volúmenes de tránsito que pueden acomodarse en áreas de maniobra compuestas de convergencia y divergencia, son un poco mayores que aquellos correspondientes a las áreas de maniobra simples pero ofrecen mayor peligro y retrasos.

En la Fig. 12.13 se muestra una zona de entrecruzamiento compuesto; puede verse que se producen los mismos conflictos que en el caso de áreas compuestas de divergencia y convergencia.

Es evidente que las áreas de maniobra de convergencia, divergencia y entrecruzamiento son simples en su carácter y en el proyecto deberán evitarse las compuestas cuando se supone que este tipo de maniobras debe desarrollarse bajo condiciones de velocidad relativa baja. Cuando las áreas de maniobras se proyectan para operar con velocidades relativas altas pueden convertirse, dentro de los límites de seguridad, en



Puntos de conflicto en cruce, adicionales

Fig. 12.12 - Areas de maniobras simples y compuestas de convergencia y divergencia.

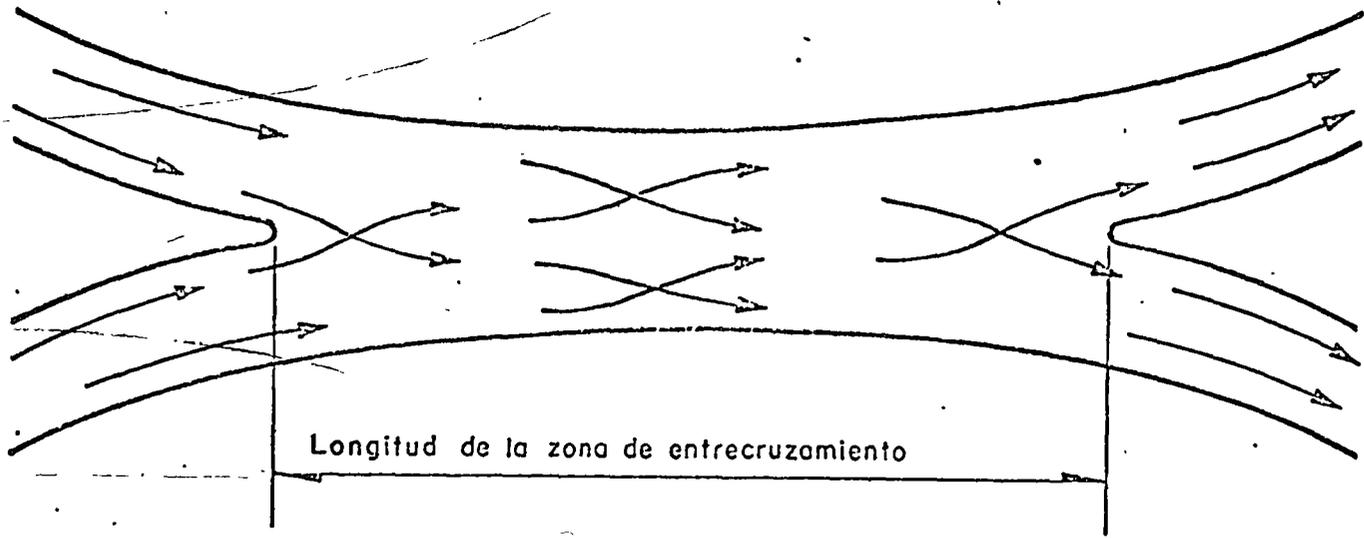


Fig.12.13 - Zona de entrecruzamiento compuesto.

áreas compuestas, con un incremento en su capacidad, particularmente cuando se emplean dispositivos de control adecuado. La operación a velocidades relativas altas es insegura y siempre requiere algún control de tránsito adecuado, que disminuya los conflictos al alternar entre los flujos - el uso del área de colisión.

En la Fig. 12.14 se ilustran áreas de maniobra de cruce simples y compuestas a nivel; un control de tiempo adecuado en el semáforo ofrece - la misma eficacia por carril de circulación para ambos tipos de intersecciones.

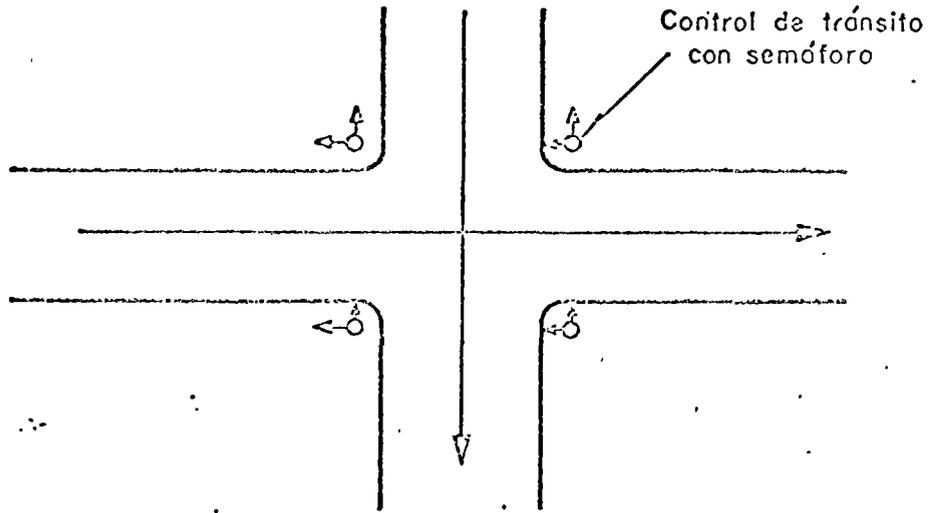
12.3.4.- Separación de las áreas de maniobras.

Si se busca una buena operación es fundamental que los conductores afronten un solo conflicto de tránsito cada vez. Los retrasos y los peligros en una intersección se ven incrementados cuando las áreas de maniobra están muy próximas una de otra. Debe haber suficiente separación entre dos áreas de maniobra sucesivas para que los conductores puedan ajustar su velocidad y trayectoria a las condiciones de cada conflicto.

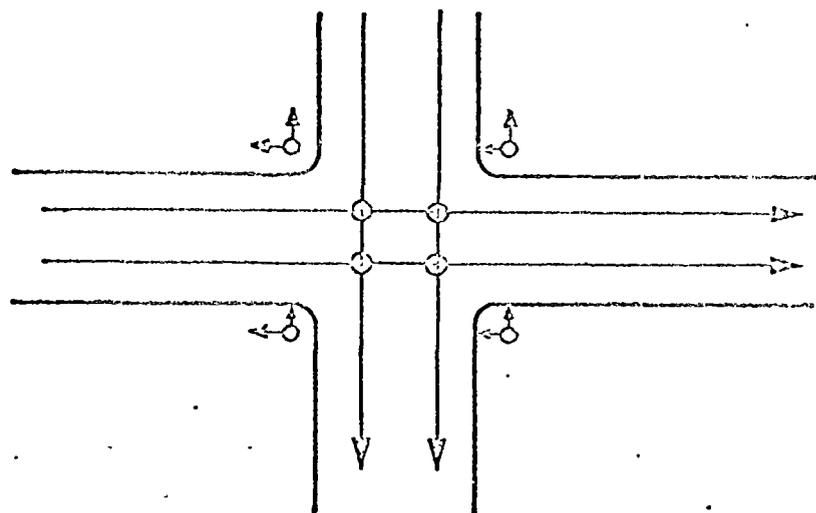
Las áreas de maniobra están separadas en espacio y en tiempo, como se analiza a continuación:

A.- Separación en espacio.- Las áreas de maniobra pueden distribuirse en cuanto a espacio separando los movimientos en la intersección. En la Fig. 12.15 se muestran ejemplos de separación para cruces, vueltas derechas y vueltas izquierdas. La separación de los movimientos se logra mediante el uso de isletas, fajas separadoras, carriles auxiliares y similares.

Generalmente, con la distribución de las áreas de maniobra en cuanto a espacio, se logra una reducción en los tiempos de recorrido -



AREA DE MANIOBRA SIMPLE
DE CRUCE A NIVEL



AREA DE MANIOBRA COMPUESTA
DE CRUCE A NIVEL

Fig. 12.14 - Areas de maniobra de cruce simples y compuestas

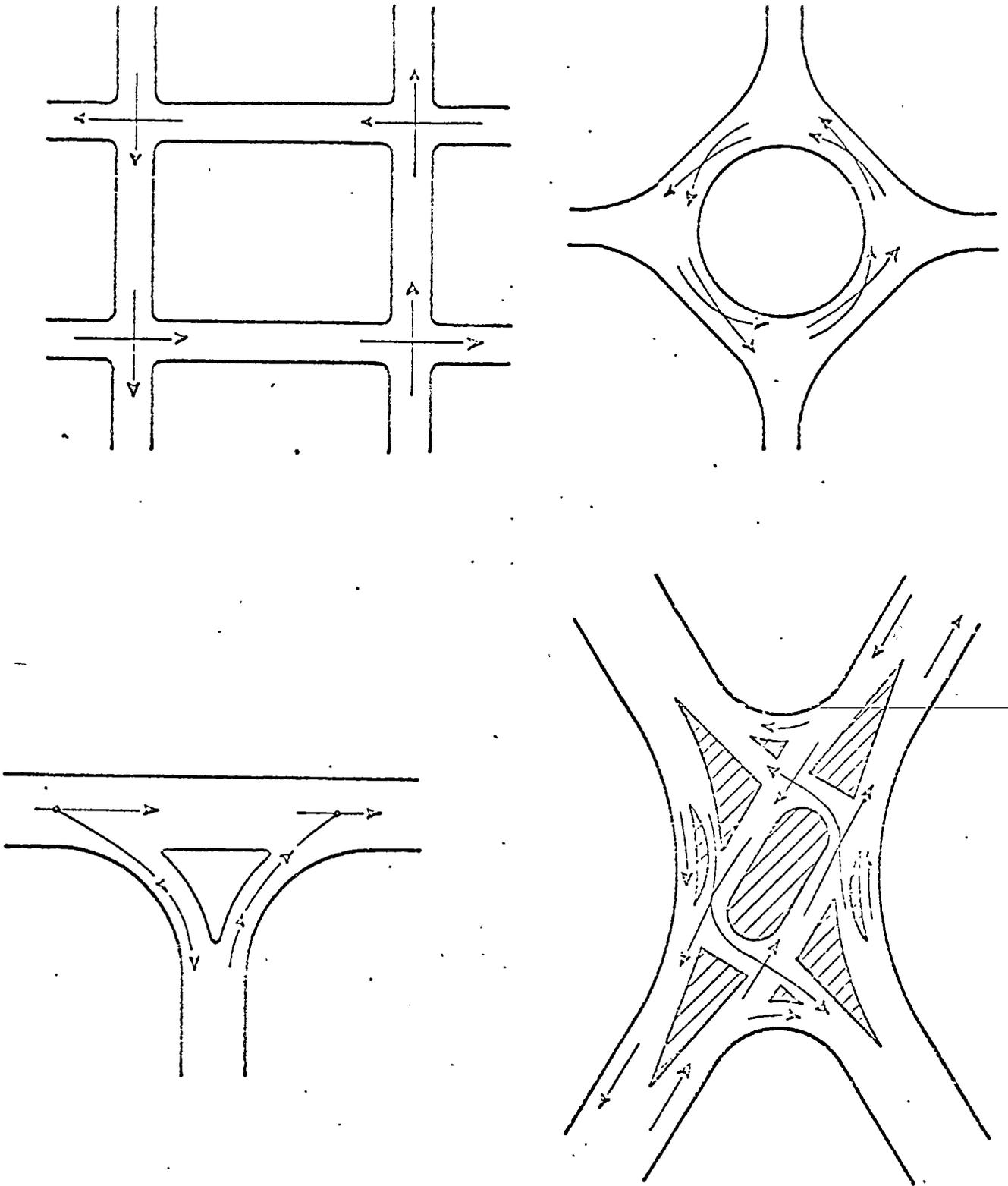


Fig. 12.15 Ejemplos de separación de áreas de manobra

y en los accidentes, en la intersección.

B.- Separación en tiempo.- La separación de áreas de maniobra de una intersección en cuanto a tiempo en términos de proyecto, se logra al proporcionar zonas de refugio donde los conductores o peatones pueden esperar entre maniobras sucesivas. En la Fig. 12.16 se muestran algunos ejemplos de zonas de refugio, o protección.

La separación en tiempo o distancia entre áreas de maniobra sucesivas varía ampliamente de acuerdo con las condiciones de cada lugar. El tiempo de reacción del conductor varía según la complejidad de la situación y la naturaleza de la respuesta necesaria.- El tiempo requerido para cambiar de velocidad y de trayectoria depende de requisitos y valores establecidos. La separación en distancia para evitar colas que pasen de un área de maniobra a la siguiente dependerá de la cantidad de retraso en que se incurra, del volumen de tránsito, del tipo de vehículos, y de otros factores similares.

Cada situación que se presente deberá ser analizada en términos de la separación en tiempo y distancia para unas condiciones específicas del tránsito.

12.3.5 Geometría de los cruces y vueltas.

Los cruces de las corrientes de vehículos, (Ver Fig. 12.17), pueden obtenerse a través de:

- A).- un cruce directo a nivel
- B).- un entrecruzamiento, y
- C).- una separación de niveles

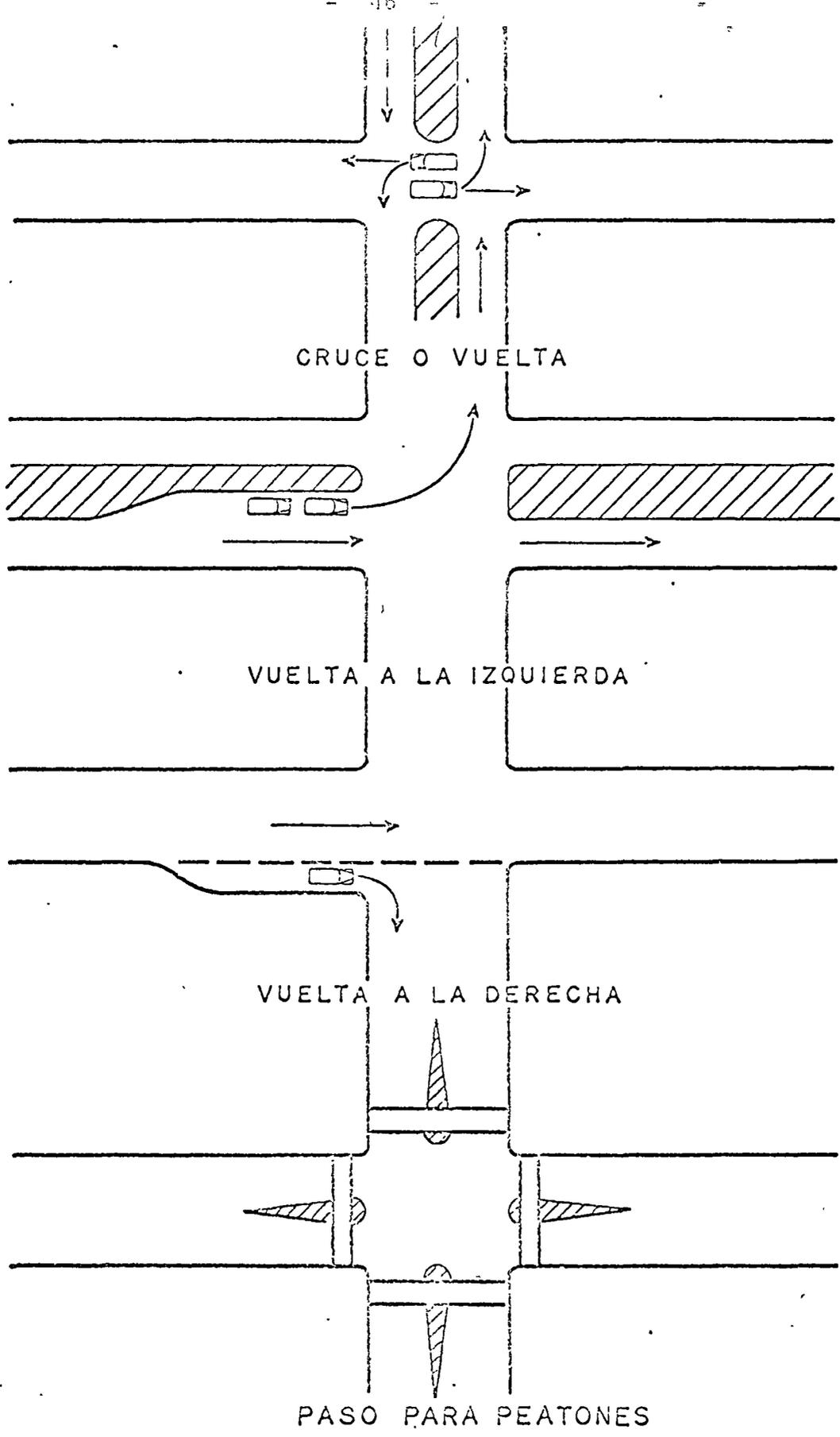
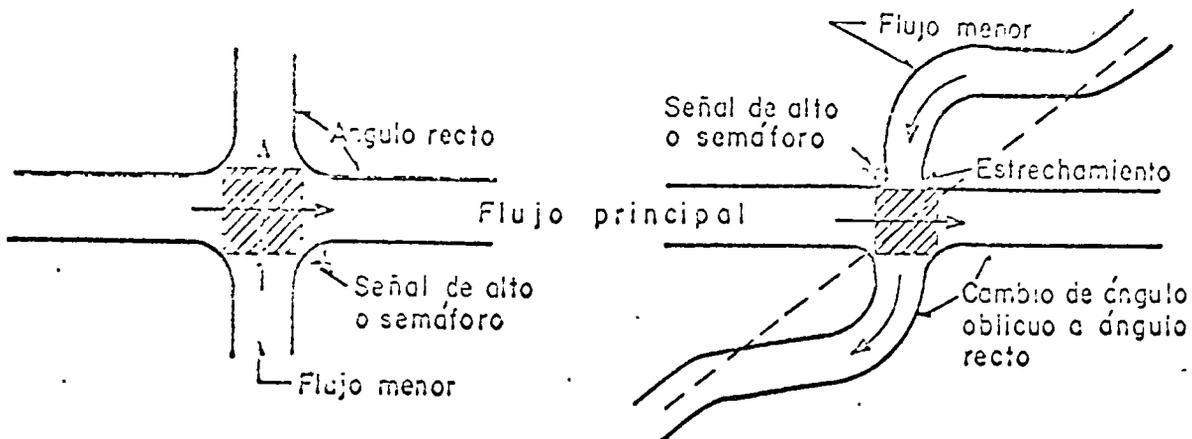
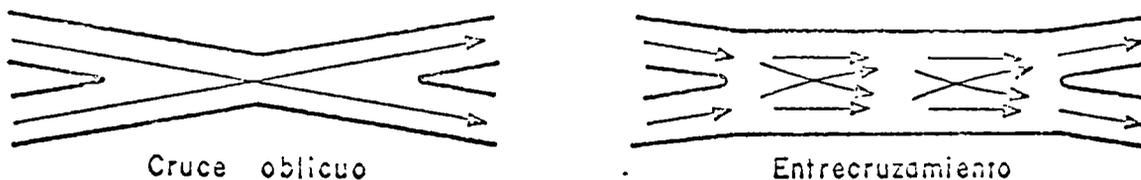


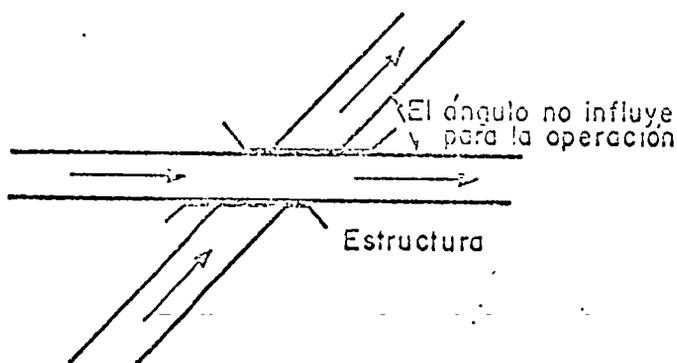
Fig.12.16 - Ejemplos de zonas de Protección.



DISEÑO DE CRUCES DIRECTOS A NIVEL PARA ALTAS VELOCIDADES RELATIVAS

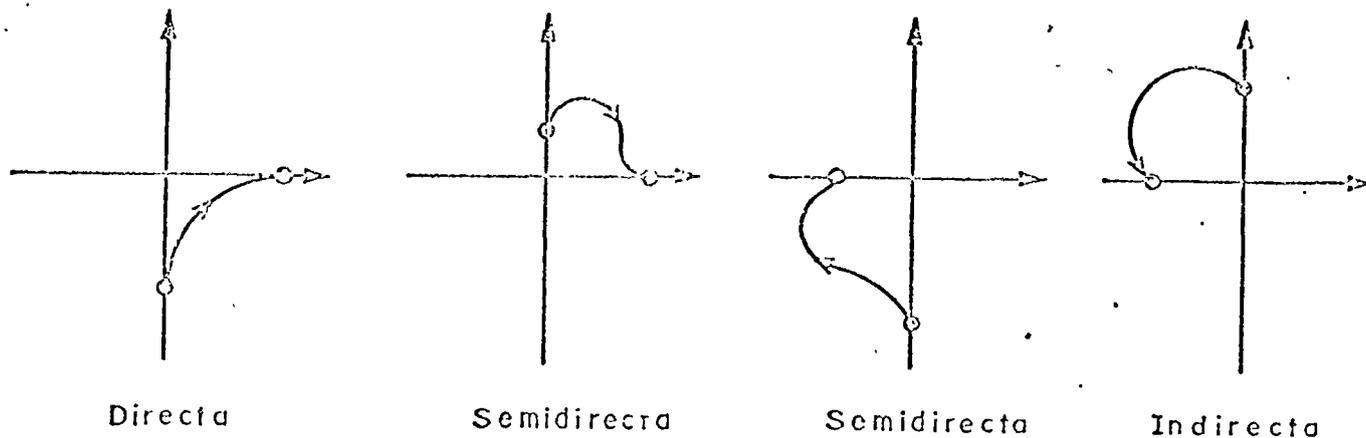


DISEÑO DE CRUCES A NIVEL PARA BAJAS VELOCIDADES RELATIVAS

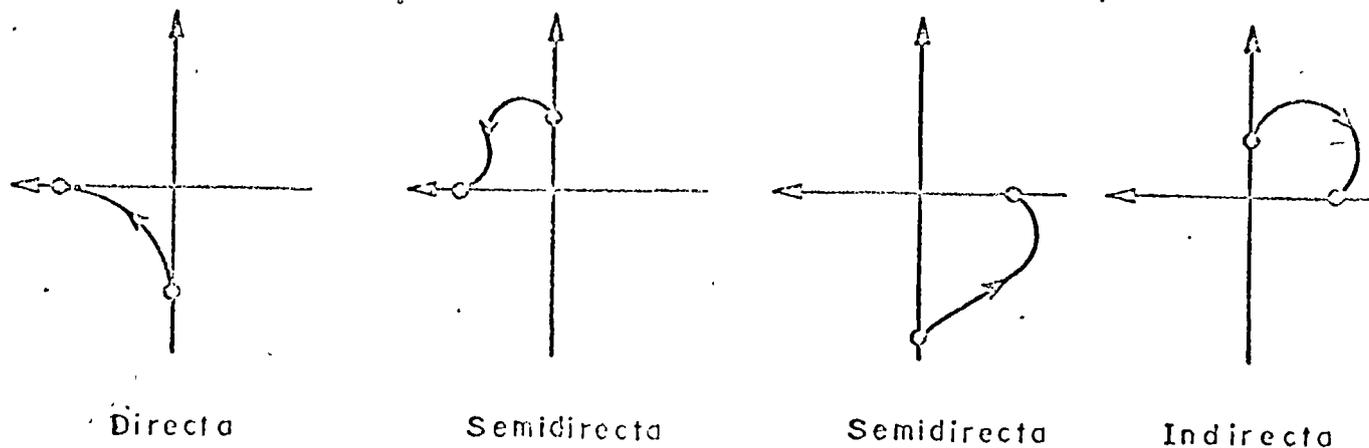


DISEÑO DE CRUCE A DESNIVEL

Fig. 12.17 - Areas de maniobra simples para cruces a nivel y a desnivel.



(A) VUELTAS A LA DERECHA



(B) VUELTAS A LA IZQUIERDA

Fig.12.18 - Geometría de movimientos de vueltas a la derecha y a la izquierda.

Las alternativas en el proyecto de intersección se presentan cuando uno de estos tipos de maniobra de cruce puede ser substituído por otro. Una alternativa más en el proyecto de intersecciones se tiene por las diversas formas en las que los movimientos de vuelta pueden realizarse. En la Fig. 12.18 se muestra la geometría de movimientos de vueltas, izquierdas y derechas; estos tipos de movimientos se clasifican como directo, semidirecto e indirecto, en términos de las trayectorias seguidas por los conductores.

La vuelta directa a la derecha o a la izquierda consiste de una maniobra simple de divergencia y de convergencia sin conflicto de cruce, lo que proporciona la distancia de recorrido más corta y más fácil para los conductores debido a que se sigue la trayectoria de viaje deseada. Las vueltas semidirectas e indirectas requieren de distancias de recorrido mayores, pueden emplearse bien cuando las condiciones propias del lugar no permiten el uso de vueltas directas o bien cuando se desee disponer los conflictos de cruce de tal manera que puedan controlarse de una manera más económica.

12.3.6.- Disposición de las áreas de maniobra.

Los conflictos de cruce ocasionados por los movimientos directos o de vuelta son los aspectos críticos en el proyecto de intersecciones. La selección y disposición de las áreas de maniobra de cruce para acomodar las corrientes más fuertes determinan la geometría de una intersección en particular y la disposición de las áreas de maniobra para otros movimientos se adaptan a este proyecto.

Los movimientos de vuelta derecha presentan el menor problema en la integración de los movimientos en una intersección, ya que no se cruza ninguna otra corriente, se utilizan en todas las intersecciones en

que no lo impiden las limitaciones del lugar. En cambio los movimientos directos de vuelta izquierda pueden causar una alta incidencia de accidentes y congestionamientos, su influencia en la operación de una intersección puede disminuirse empleando vueltas izquierdas semidirectas o indirectas.

La Fig. 12.19 muestra la disposición de las áreas de maniobra más comunes en el proyecto de intersecciones, clasificadas de acuerdo con los movimientos de cruce y de vuelta. Las áreas de maniobra de cruce mostradas pueden ser con separación de niveles.

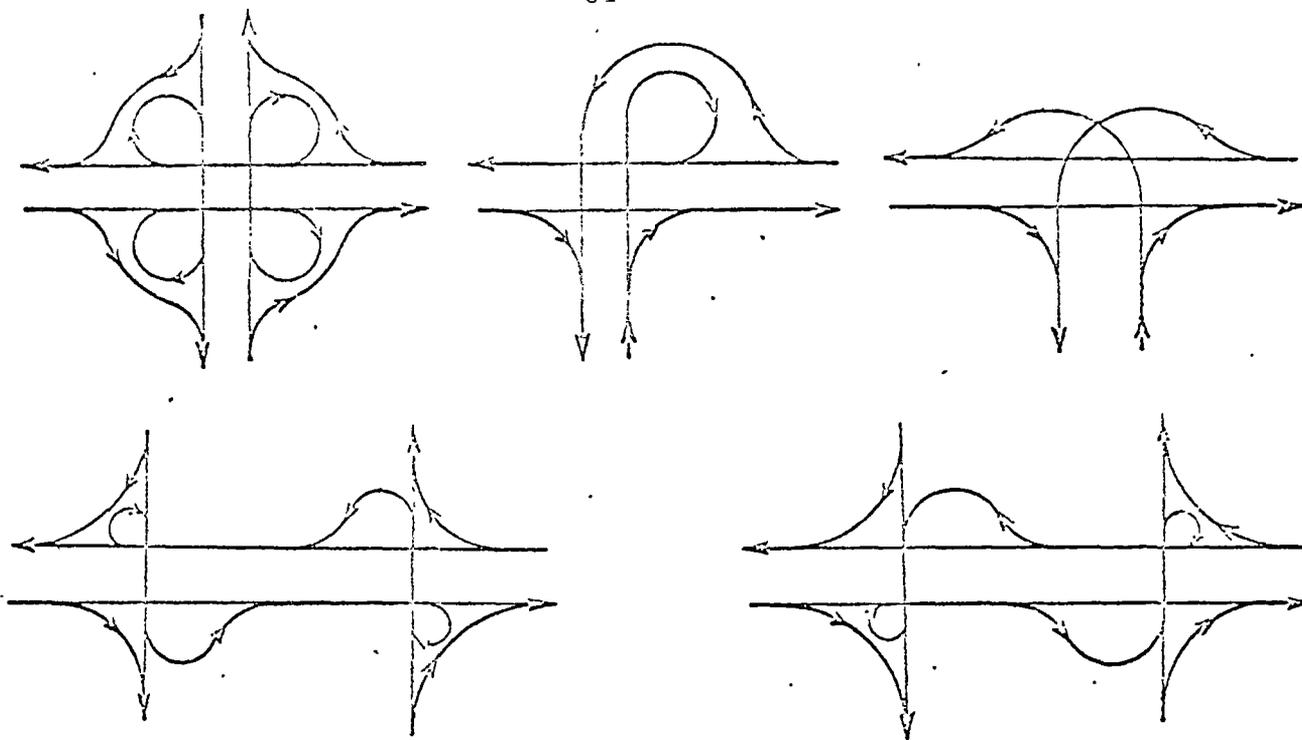
12.4 ELEMENTOS PARA EL PROYECTO DE UNA INTERSECCION.

Principalmente se hablará aquí de las características generales de alineamiento, de la distancia de visibilidad y de la sección transversal de la calzada, desde el punto de vista en que estos elementos afectan el proyecto de una intersección.

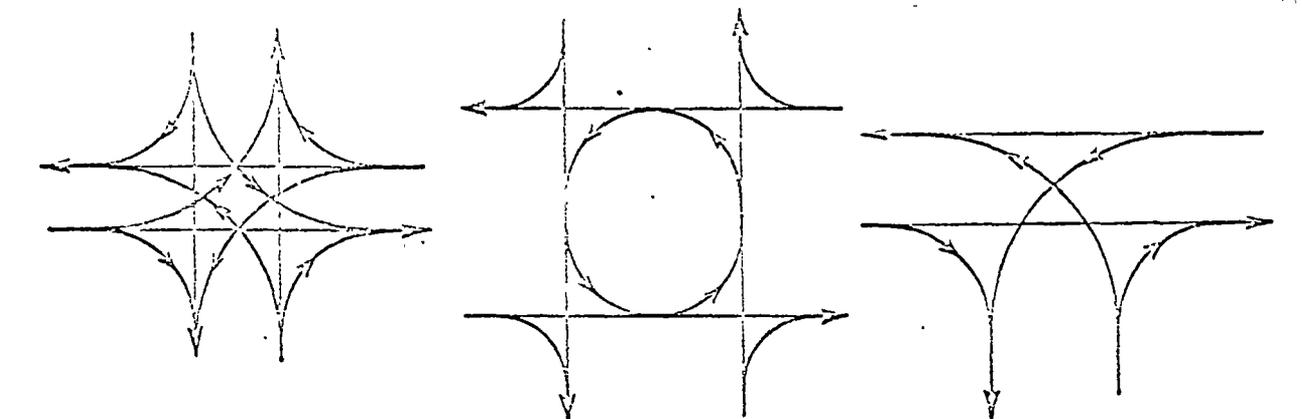
Los elementos que aquí se mencionan se aplican para las intersecciones tanto a nivel como a desnivel; otros elementos y detalles de proyecto que son aplicables únicamente a un determinado tipo de intersecciones se tratarán en las partes correspondientes a cada tipo en particular.

12.4.1 Curvas en intersecciones.

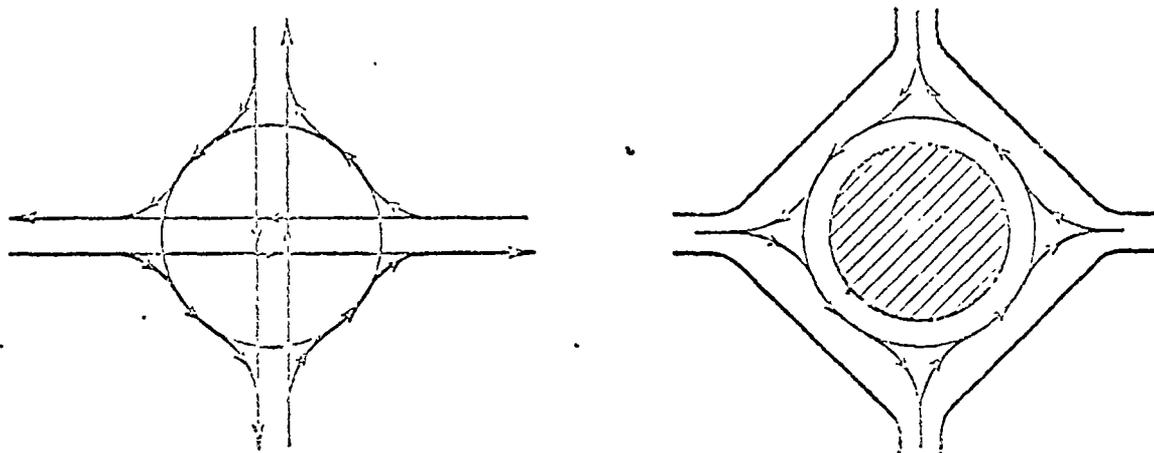
Donde sea necesario proyectar curvas en espacios reducidos debe usarse como base del diseño la trayectoria mínima de los vehículos de proyecto. Esta trayectoria estará comprendida entre las huellas dejadas por las llantas delantera externa y trasera interna de un vehículo circulando a una velocidad de 15 Km/h. Las curvas de la orilla interna de la calzada que se adaptan a la trayectoria mínima de los vehículos de pro-



A - CRUCE DIRECTO, VUELTA IZQUIERDA INDIRECTA O SEMIDIRECTA Y VUELTA DERECHA DIRECTA



B - CRUCE DIRECTO, VUELTA IZQUIERDA DIRECTA Y VUELTA DERECHA DIRECTA



C - CRUCE DIRECTO, VUELTA IZQUIERDA CON ENTRECruzAMIENTO Y VUELTA DERECHA DIRECTA.

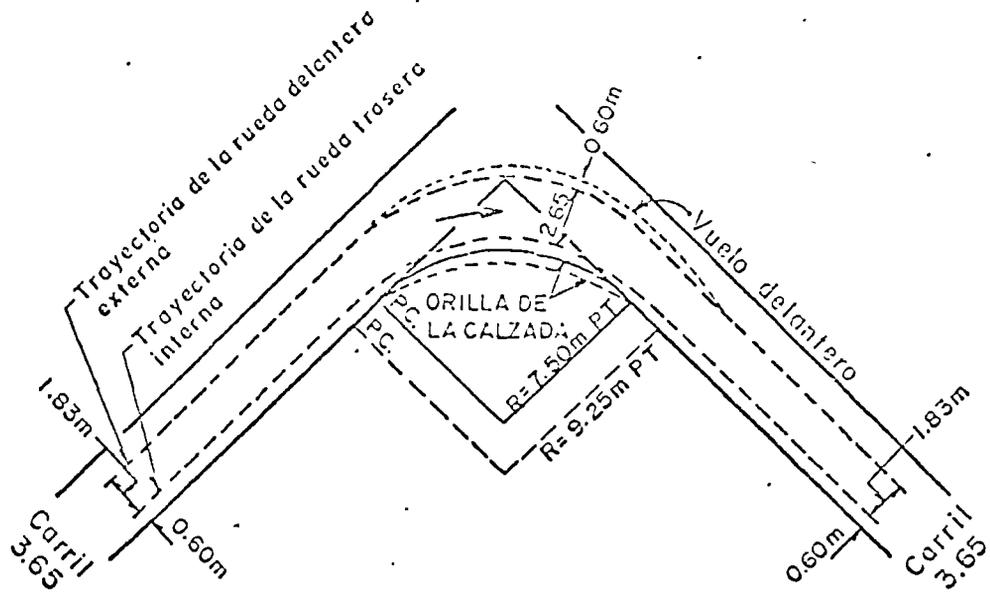
D - ENTRECruzAMIENTO, VUELTA DERECHA DIRECTA

Fig.12.19.-Disposición general de las áreas de maniobra

yecto se los considera como de diseño mínimo.

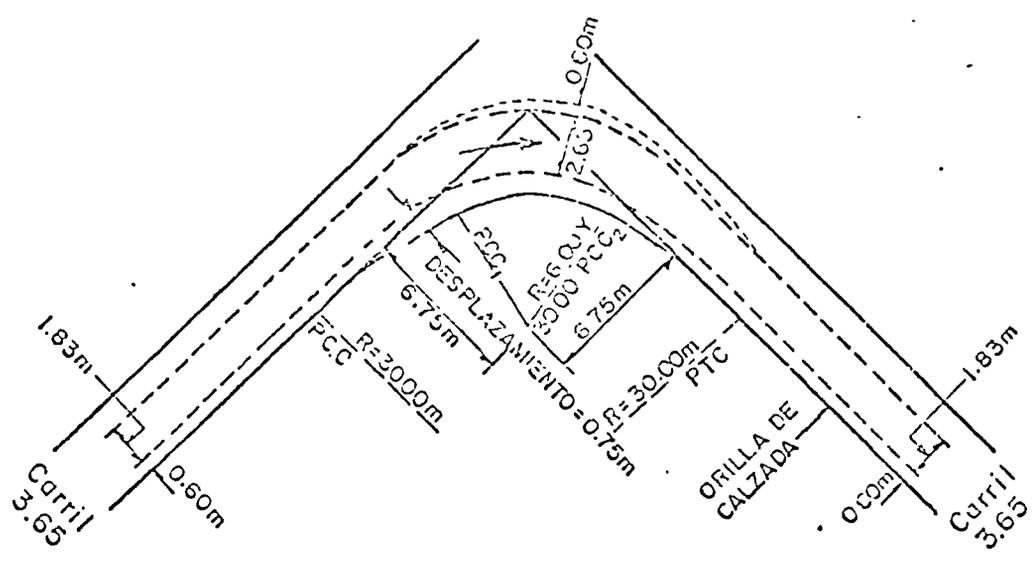
A.- Diseño mínimo para vueltas forzadas: Para la determinación de los radios de la orilla interna de la calzada, en las curvas, que permiten alojar la trayectoria mínima del vehículo de proyecto, se supone que éste vehículo transita adecuadamente dentro de su carril al entrar y al salir de la curva, esto es, a 0.50 m. de la orilla interna de la calzada. Las trayectorias mínimas de los vehículos y las orillas internas de la calzada que están de acuerdo con esta suposición, se muestran en las figuras 12.20, 12.21 y 12.22. Existen algunas diferencias entre las trayectorias internas de los vehículos que dan vuelta a la izquierda y las de los que dan vuelta a la derecha, pero no son tan importantes que afecten el proyecto. Aún cuando no se indica, los proyectos mostrados en las figuras mencionadas, se aplican también para vueltas a la izquierda.

1) Automóviles.- En la Fig. 12.20, se muestran los radios mínimos, para la orilla interior de la calzada, en una vuelta derecha a 90° necesarios para acomodar al vehículo de proyecto DE-335. La Fig. 12.20.A, muestra un radio a la orilla interna de la calzada de 7.50 m., en la línea continua, otro de 9.25 m., en la línea discontinua. El radio de 7.50 m., corresponde a la curva más pronunciada que permite alojar la trayectoria de la rueda interna pasando a 0.25 m., aproximadamente de la orilla de la calzada en el punto donde termina la curva. La curva de radio 9.25 m., proporciona un espacio libre de 0.35 m. al final de la curva y de aproximadamente 1.70 m. en la parte central de la misma.



CURVA CIRCULAR SIMPLE MINIMA CON RADIOS DE 7.50 ó 9.25 m

-A-



CURVA COMPUESTA DE RADIOS 30.00 - 6.00 Y 30.00 m; CON DESPLAZAMIENTO DE 0.75 m

-B-

Fig. 12.20 Diseño mínimo para el vehículo de proyecto DE-335 en una deflexión de 90°

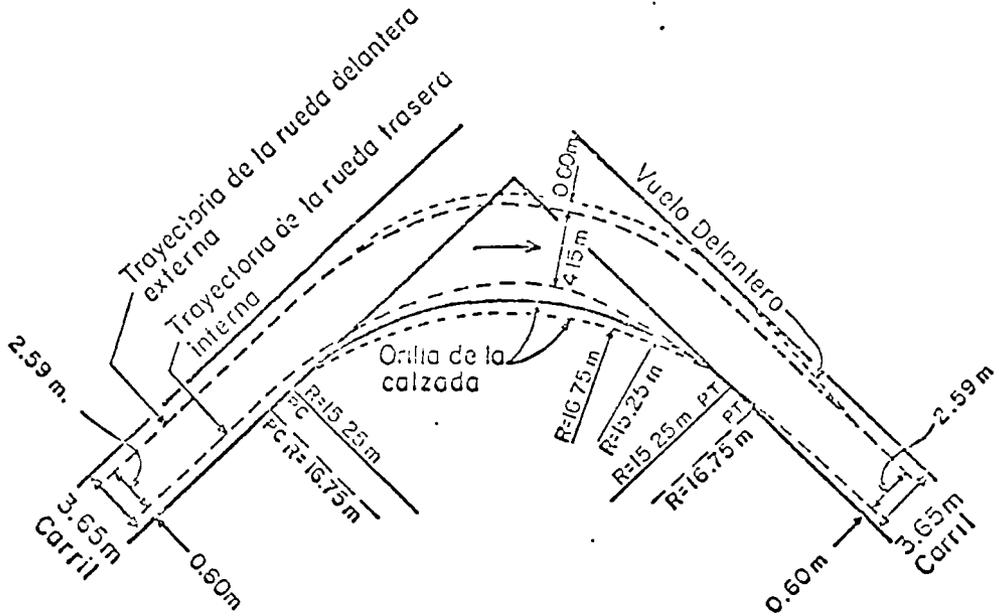
El croquis mostrado en la Fig. 12.20 B representa una curva compuesta, con radios de 30.00 m., 6.00 m y 30.00 m. El ancho de calzada que resulta con este diseño es un poco mayor que el correspondiente a la curva circular simple de 9.25 m., pero se ajusta más a la trayectoria del vehículo de proyecto.

2).- Camiones unitarios y autobuses.- En la Fig. 12.21 se indican los radios mínimos para la orilla interior de la calzada correspondiente a una vuelta derecha a 90°, necesarios para acomodar el vehículo de proyecto DE-610. La parte superior de la figura muestra, con línea continua, el proyecto correspondiente a un radio de 15.25 m. a la orilla interna de la calzada; este radio es el mínimo que permite acomodar el vehículo sin invadir los carriles adyacentes. Sin embargo, en el punto donde termina la curva, la trayectoria interior de las ruedas se acerca mucho a la orilla de la calzada. Una curva circular simple de 16.75 m. de radio, mostrada con línea de puntos en la figura, permite un espacio ligeramente mayor en el extremo de la curva.

La parte inferior de la figura representa una curva compuesta de radios de 36.00 m., 12.00 m y 36.00., con un desplazamiento de 0.60 m.

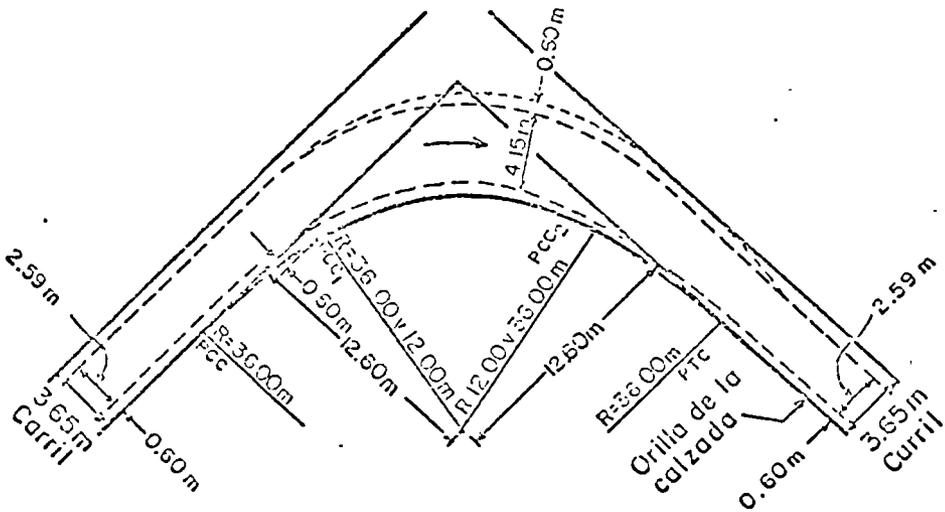
Desde el punto de vista de la operación de los vehículos, la curva compuesta es más ventajosa que la curva simple, debido a que se ajusta mejor a la trayectoria de la rueda trasera interna y requiere un poco menos de superficie de calzada.

En ambos casos, el vuelo delantero del vehículo de proyecto, quedará dentro de un carril de 3.65 m. En cambio con carri - - -



CURVA CIRCULAR SIMPLE MINIMA CON RADIOS DE 15.25 ó 16.75 m

- A -



CURVA COMPUESTA DE RADIOS 36.00 - 12.00 y 36.00 CON DESPLAZAMIENTO DE 0.60m

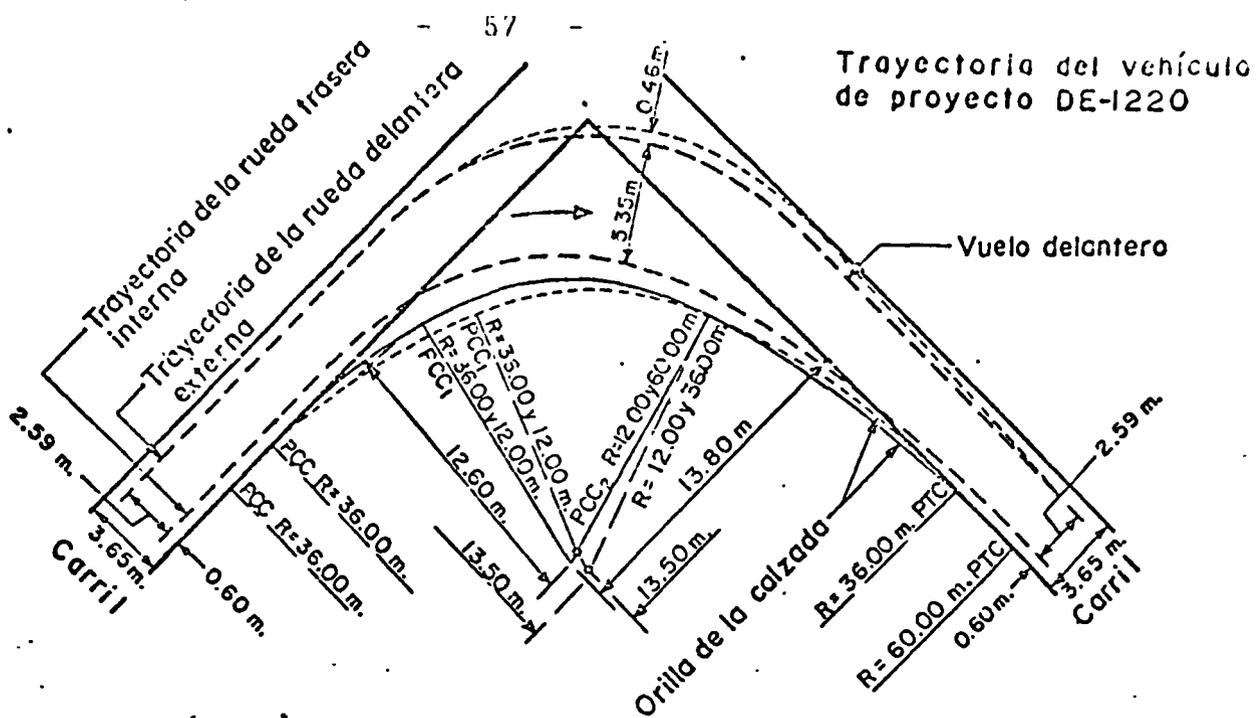
- B -

Fig. 12.21 - Diseño mínimo para el vehículo de proyecto DE-610 en una deflexión de 90°

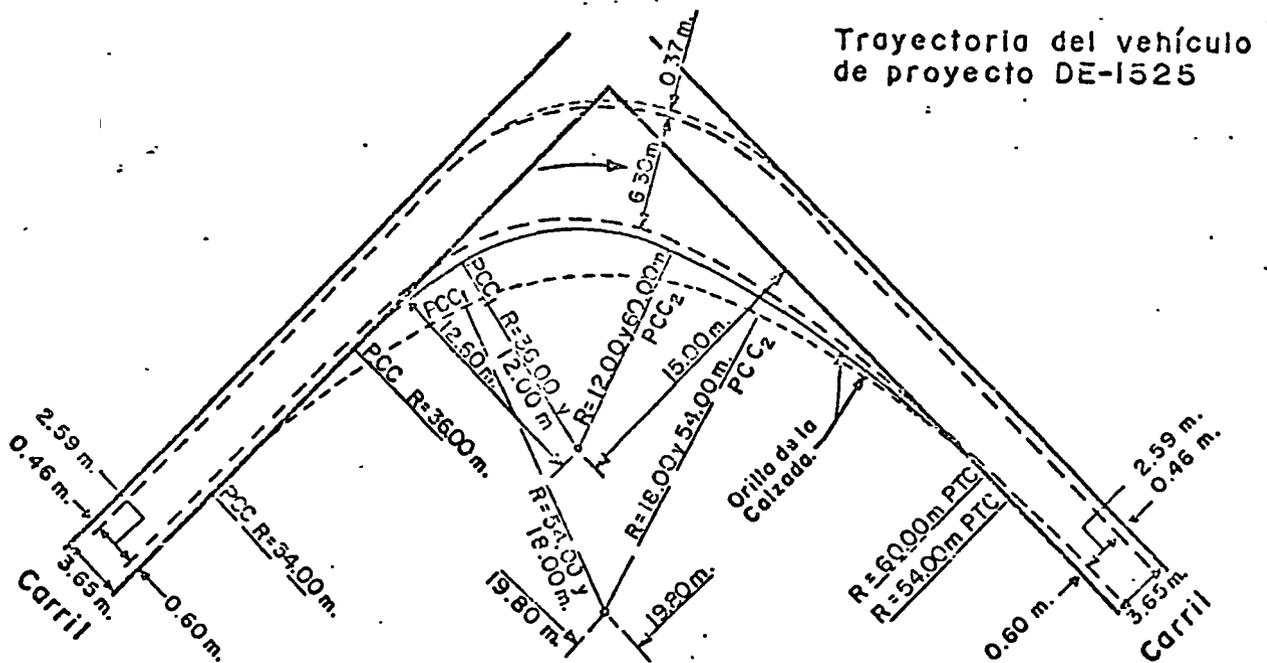
les de 3.35 ó 3.05 m., el vehículo invade al carril adyacente; para evitar esto, tendría que usarse un radio más grande que el mínimo indicado en la figura para la orilla de la calzada.

3) Semiremolques.- Para este tipo de vehículos no es recomendable adaptar una curva circular simple a las trayectorias mínimas. Sin embargo, donde los carriles de tránsito son de 3.65 m. de ancho, tales vehículos pueden girar sin invadir los carriles adyacentes cuando el radio de la curva en la orilla interior de la calzada es de aproximadamente 23.00 m. para el vehículo DE-1220 y de 29.00 m. para el vehículo DE-1525. Tales vueltas se harían con radios de giro, de la rueda delantera externa, mayores que el mínimo indicado para estos vehículos. Para adaptar la orilla de la calzada a la trayectoria mínima de los semiremolques, es conveniente emplear curvas asimétricas compuestas de tres centros. Para el vehículo de proyecto DE-1220, estas curvas tienen radios de 36.00 m., 12.00 m. y 60.00 m. con desplazamientos de 0.60 m. y 1.80 m., tal como se indica con línea continua en la Fig. 12.22-A. La línea de puntos de la misma figura muestra un proyecto simétrico, cuando el vehículo gira sobre su trayectoria mínima. Consiste en curvas compuestas que tienen 36.00 m., 12.00 m. y 36.00 m. de radios con desplazamientos de 1.50 m.; con este proyecto se facilitan las maniobras de los vehículos más pequeños, especialmente los automóviles.

Para adaptar la trayectoria del vehículo de proyecto DE-1525, se estima apropiada una curva compuesta asimétrica con los



CURVAS COMPUESTAS DE RADIOS 36.00 - 12.00 Y 60.00 CON DESPLAZAMIENTOS DE 0.60 m Y 1.80 m Y DE RADIOS 36.00 - 12.00 Y 36.00 CON DESPLAZAMIENTO DE 1.50 m



CURVAS COMPUESTAS DE RADIOS 36.00 - 12.00 Y 60.00 CON DESPLAZAMIENTOS DE 0.60 m Y 3.00 m Y DE RADIOS 54.00 - 18.00 Y 54.00 CON DESPLAZAMIENTO DE 1.80 m

Fig. 12.22 - Diseño mínimo para los vehículos de proyecto DE-1220 y DE-1525 en una deflexión de 90°

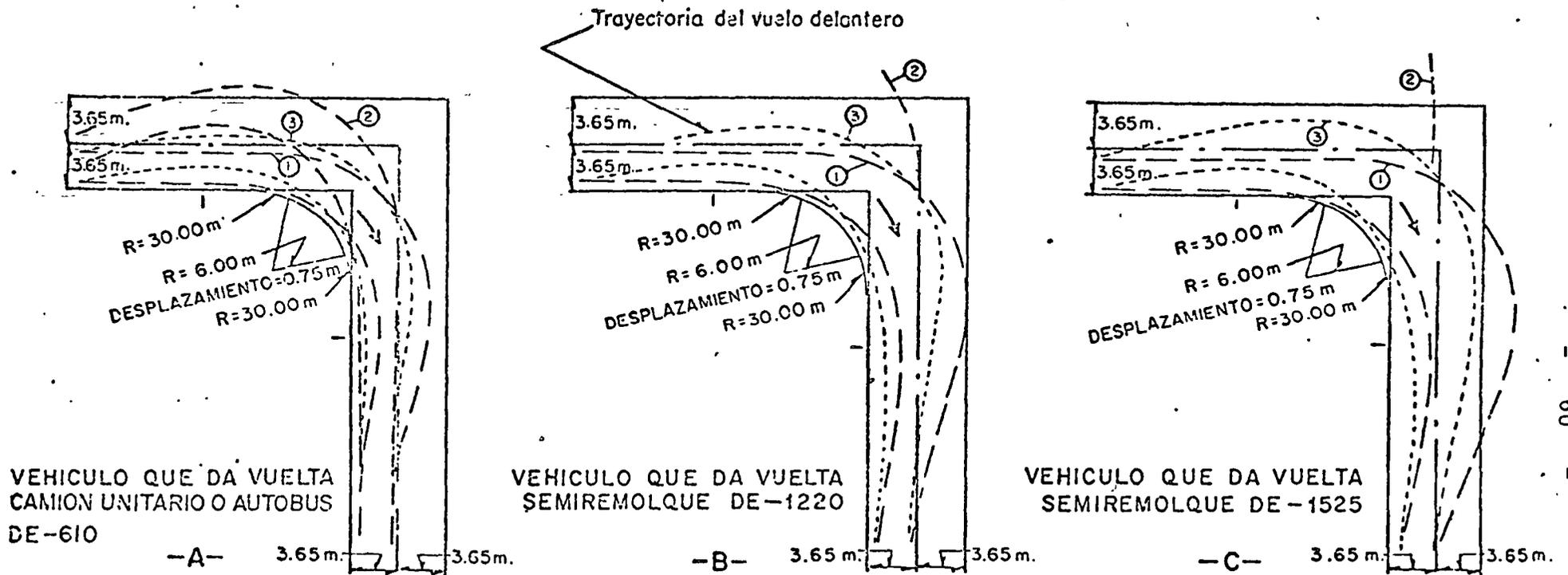
mismos radios recomendados para el semiremolque más pequeño, 36.00 m. 12.00 m. y 60.00 m., pero con desplazamientos de 0.60 y 3.00 m., tal como se indica, con línea continua, en la Fig. 12.22-B. La línea de puntos de la figura 12.22-B, se adapta al giro más forzado de este vehículo, y está formada por la curva compuesta de radios de 54.00 m., 18.00 m. y 54.00 m., con desplazamiento de 1.80.

8.- Elección del diseño mínimo para condiciones específicas.- Las curvas de las figuras 12.20 a la 12.22 son las que se ajustan a las trayectorias mínimas de los diferentes vehículos de proyecto; pueden emplearse combinaciones de curvas con radios distintos de los mostrados, si con ello se obtienen resultados satisfactorios. En los casos en que sea conveniente o deseable conservar los diseños mínimos, será necesario que el proyectista sepa cuál de los indicados en estas figuras deba emplearse. La elección del diseño depende del tipo y tamaño de los vehículos que van a dar vuelta y de la amplitud con que deben hacerlo. Esto a su vez puede depender de otros factores tales como tipo y naturaleza de los caminos que se intersectan, volúmenes de tránsito, número y frecuencia de vehículos pesados, así como del efecto de estos vehículos sobre todo el tránsito. Por ejemplo, si un alto porcentaje de los vehículos que dan vuelta son automóviles, no es práctico proyectar la curva para vehículos pesados, teniendo en cuenta que uno de estos vehículos ocasionalmente puede dar vuelta invadiendo el carril adyacente sin trastornar mucho al tránsito. Es necesario que el proyectista analice las trayectorias probables y las invasiones del carril que se producirían si transitaran vehículos más grandes que aquellos para los que se hizo el diseño.

En la Fig. 12-23 se muestran las trayectorias de los vehículos de proyecto DE-610, DE-1220 y DE-1525 cuando dan vuelta a la derecha alrededor de la orilla interna de una calzada diseñada para un vehículo DE-335, con una curva compuesta de radios 30.00 m., 6.00 y 30.00 m., y un desplazamiento de 0.75 m. La trayectoria (1) corresponde a la de un vehículo que al llegar a la curva inicia la vuelta desde su carril, para completarla invadiendo el carril adyacente en el camino transversal. La trayectoria (2) es la de un vehículo que al llegar a la curva invade el carril adyacente y entra al camino transversal dentro de su propio carril. La trayectoria (3) es la de un vehículo que invade el carril adyacente en ambos caminos.

La Fig. 12-23-A muestra las trayectorias del vehículo de proyecto DE-610. Estas trayectorias demuestran claramente que el vehículo puede girar a 90° siguiendo la orilla interna de la calzada diseñada para el vehículo DE-335, cuando cada uno de los caminos que se intersectan es de dos o más carriles de 3.65 m., pero al hacerlo puede impedir la circulación en el carril adyacente. La trayectoria que elija el conductor y la magnitud de las invasiones del carril adyacente estarán determinadas por la importancia relativa de los caminos y por la naturaleza del tránsito.

En las Figs. 12-23-B y 12-23-C se indican las trayectorias de los semiremolques de proyecto DE-1220 y DE-1525, respectivamente. Estas trayectorias muestran que también los semiremolques pueden girar a 90° alrededor de la orilla interna de la calzada diseñada para el vehículo DE-335 cuando cada uno de los caminos que se intersectan es de dos o más carriles, pero en estos casos el conduc



- ① — — — Trayectoria cuando un vehículo que se aproxima inicia la vuelta dentro de su propio carril e invade el carril adyacente del camino transversal.
- ② - - - - Trayectoria cuando un vehículo que se aproxima invade el carril adyacente y entra al camino transversal, dentro de su propio carril.
- ③ - - - - - Trayectoria cuando un vehículo invade el carril adyacente en ambos caminos. La invasión es aproximadamente igual en cada camino.

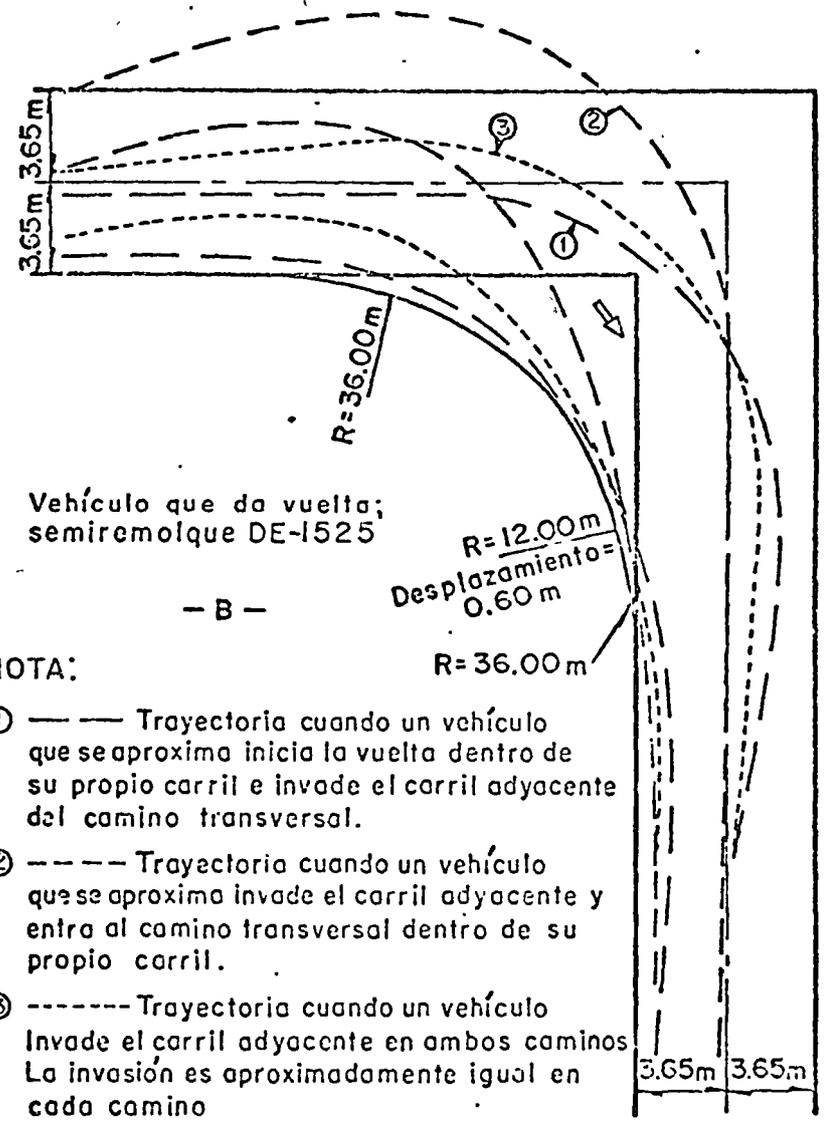
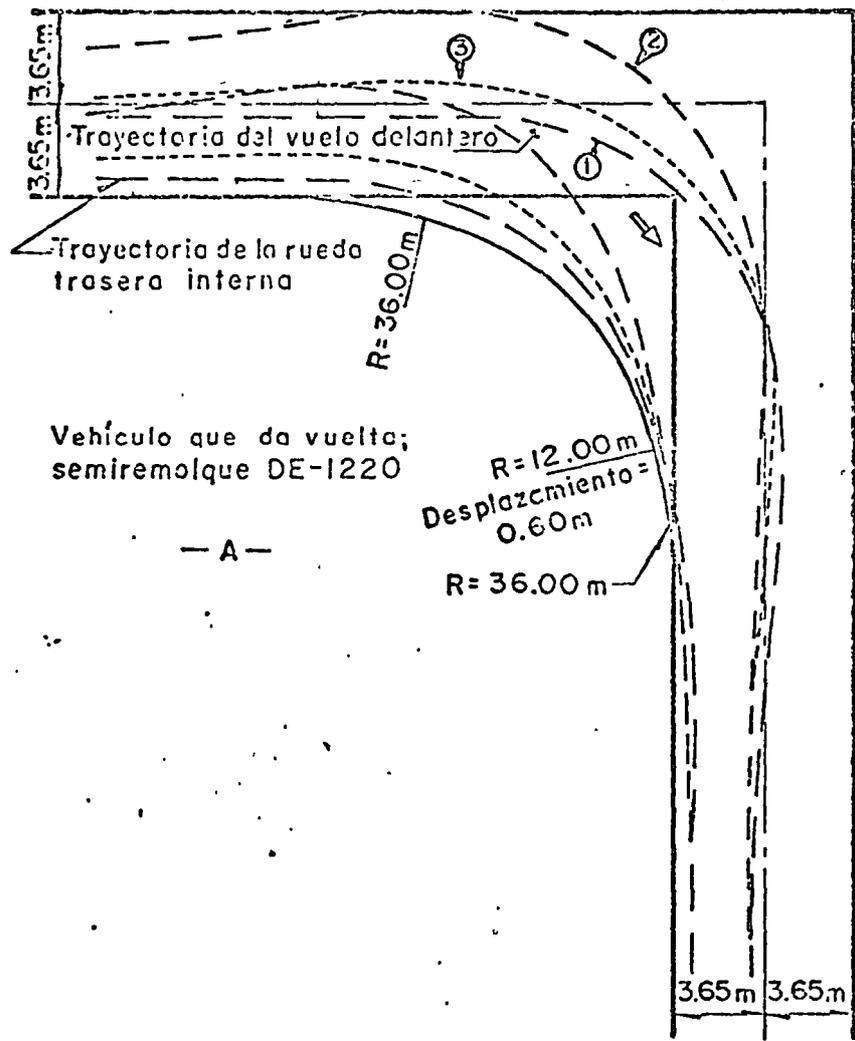
Fig. 12.23-Diseño mínimo para el vehículo de proyecto DE-335 y trayectoria necesaria para vehículos mayores

tor no tiene completa libertad para elegir el tipo de trayectoria y las invasiones a los carriles adyacentes son mayores que las del vehículo DE-610.

Cuando la orilla interna de la calzada se diseña adaptándose a la trayectoria del vehículo DE-610, es decir, con una curva compuesta de radios 36.00 m., 12.00 y 36.00 m., y desplazamientos de 0.60 m., puede acomodarse un vehículo de proyecto DE-1220 con solo ligeras invasiones, cuando los carriles son de 3.65 m., de ancho tal como se indica en la Fig. 12-24-A. Las invasiones en los carriles adyacentes son de 0.60 m. y de 0.45 m. para las trayectorias (1) y (3) respectivamente. Un vehículo DE-1525 que gira alrededor de la misma orilla interna de la calzada, invade los carriles adyacentes 2.15 m. y 1.20 m en las trayectorias (1) y (3) respectivamente, como se muestra en la Fig. 12.24-B. De análisis de estas trayectorias, junto con otros datos pertinentes, el proyectista puede elegir el tipo de diseño mínimo apropiado. Los diseños mínimos pueden adoptarse en los casos en que las velocidades de los vehículos sean bajas, el valor de la propiedad alto, y los volúmenes de tránsito bajos. La selección del vehículo adecuado para el diseño mínimo, figuras 12.20 a la 12.22, dependerá del criterio del proyectista después de que haya analizado todas las situaciones y evaluado el efecto de la operación de los vehículos más grandes.

Como resumen, a continuación se indican los casos en que pueden aplicarse los diseños mínimos:

Los diseño mínimos correspondientes a la trayectoria DE-335 mostrado en la Fig. 12.20, se aplican en las intersecciones de los caminos, en donde el mayor porcentaje de vehículos lo constituyen -----



NOTA:

- ① — — — Trayectoria cuando un vehículo que se aproxima inicia la vuelta dentro de su propio carril e invade el carril adyacente del camino transversal.
- ② - - - - - Trayectoria cuando un vehículo que se aproxima invade el carril adyacente y entra al camino transversal dentro de su propio carril.
- ③ - - - - - Trayectoria cuando un vehículo invade el carril adyacente en ambos caminos. La invasión es aproximadamente igual en cada camino.

Fig. 12.24-Diseño mínimo para el vehículo de proyecto DE-610 y trayectoria necesaria para vehículos máyores

los automóviles; en intersecciones de caminos secundarios con caminos principales cuando el tránsito que da vuelta es reducido; y en intersecciones de dos caminos secundarios que tienen poco tránsito. Sin embargo, en la mayor parte de las veces es preferible emplear, si las condiciones lo permiten, los diseños correspondientes al vehículo DE-610, mostrados en la Fig. 12.21.

Los diseños mínimos correspondientes a la trayectoria DE-610 de la Fig. 12.21, se aplican en todos los caminos rurales que estén en condiciones distintas a las descritas en el párrafo anterior. Las vueltas más importantes en caminos principales, especialmente en aquellos por los que circula un porcentaje alto de vehículos pesados, deben proyectarse de preferencia con radios más grandes, y con carriles de cambio de velocidad.

Los diseños mínimos correspondientes a la trayectoria de los semi remolques de proyecto, Fig. 12.22, se aplican cuando es muy frecuente el tránsito de este tipo de vehículos. Por lo general se preferirán las curvas simétricas compuestas, sobre todo cuando los vehículos más pequeños constituyen un porcentaje apreciable del tránsito total que da vuelta. Como estos diseños requieren de grandes superficies de calzada, por regla general es conveniente canalizarlos, para lo cual se requieren radios un poco más grandes.

Los diseños mínimos para vueltas, algunas veces se hacen necesarios en entronques canalizados, o donde se requiere un control con semáforos; o bien, en entronques secundarios en los que pocos vehículos dan vuelta. Las especificaciones mínimas también pueden usarse para caminos de alta velocidad con altos volúmenes de

tránsito, en aquellos lugares en donde está limitado el derecho de vía, en estos casos deben proyectarse además carriles de cambio de velocidad.

Las guarniciones a lo largo de las orillas de la calzada en intersecciones con curvas pronunciadas, restringen la operación de los vehículos que dan vuelta. Por esta razón, cuando se colocan guarniciones es conveniente considerar una ampliación adicional y proyectar curvas más suaves que las mínimas.

C.- Vueltas en ángulo oblicuo.- Los radios mínimos para vueltas en intersecciones con ángulos distintos de 90° se establecieron en la misma forma que para la vuelta en ángulo recto, esto es, dibujando las trayectorias de los vehículos de proyecto en las vueltas más agudas y ajustando curvas simples o compuestas a las trayectorias de las ruedas traseras internas. La tabla 12-8, contiene los radios y desplazamientos que se recomiendan para diferentes deflexiones y para cada tipo de vehículos de proyecto. En ella se aprecia que para deflexiones menores de 90° , los radios que se requieren para seguir las trayectorias mínimas de los vehículos, son mayores que los recomendados para vueltas en ángulo recto. Para deflexiones de más de 90° , los radios requeridos son menores y se necesitan mayores desplazamientos del arco central de la curva.

Los valores que se recomiendan en la tabla 12-8 son los requeridos para las vueltas más pronunciadas de los diferentes vehículos de proyecto. También pueden usarse otras combinaciones de curvas compuestas con resultados satisfactorios. Cuando se diseña una intersección con dimensiones mínimas, el proyectista puede elegir

VEHICULO DE PROYECTO	DEFLEXION grados	RADIO DE LA CURVA SIMPLE metros	CURVAS COMPUESTAS SIMETRICAS		CURVAS COMPUESTAS ASIMETRICAS	
			R A D I O	DESPLAZA MIENTO	R A D I O	DESPLAZA MIENTO
			metros	metros	metros	metros
DE - 335	30	18.25	—	—	—	—
DE - 610		30.25	—	—	—	—
DE - 1220		45.75	—	—	—	—
DE - 1525		60.25	—	—	—	—
DE - 335	45	15.25	—	—	—	—
DE - 610		23.00	—	—	—	—
DE - 1220		36.75	—	—	—	—
DE - 1525		52.00	61.00-3000-60.00	0.90	—	—
DE - 335	60	12.25	—	—	—	—
DE - 610		18.25	—	—	—	—
DE - 1220		26.00	—	—	—	—
DE - 1525		—	61.00-23.00-61.00	1.70	61.00-23.00-84.00	0.60-1.35
DE - 335	75	11.00	30.00-7.50-30.00	0.60	—	—
DE - 610		16.75	36.00-13.50-36.00	0.60	—	—
DE - 1220		26.00	36.00-13.50-36.00	1.55	36.00-13.50-60.00	0.60-2.00
DE - 1525		—	45.00-15.00-45.00	1.35	45.00-15.00-67.50	0.60-3.00
DE - 335	90	9.25	30.00-5.00-30.00	0.75	—	—
DE - 610		15.25	36.00-12.00-36.00	0.60	—	—
DE - 1220		—	36.00-12.00-36.00	1.50	36.00-12.00-60.00	0.60-1.30
DE - 1525		—	54.00-18.00-54.00	1.80	36.00-12.00-60.00	0.60-3.00
DE - 335	105	—	30.00-6.00-30.00	0.75	—	—
DE - 610		—	30.00-10.50-30.00	0.90	—	—
DE - 1220		—	30.00-10.50-30.00	1.55	30.00-10.50-60.00	0.60-2.45
DE - 1525		—	50.00-14.00-50.00	2.45	45.00-12.00-63.00	0.60-3.00
DE - 335	120	—	30.00-6.00-30.00	0.60	—	—
DE - 610		—	30.00-9.00-30.00	0.90	—	—
DE - 1220		—	36.00-9.00-36.00	1.35	30.00-9.00-54.00	0.60-2.75
DE - 1525		—	54.00-12.00-54.00	2.60	45.00-10.75-67.50	0.60-3.60
DE - 335	135	—	30.00-6.00-30.00	0.45	—	—
DE - 610		—	30.00-9.00-30.00	1.20	—	—
DE - 1220		—	30.00-9.00-30.00	2.00	30.00-7.50-54.00	0.60-2.75
DE - 1525		—	48.00-10.50-48.00	2.75	39.00-9.00-55.50	0.90-4.25
DE - 335	150	—	23.00-5.50-23.00	0.60	—	—
DE - 610		—	30.00-9.00-30.00	1.20	—	—
DE - 1220		—	30.00-9.00-30.00	1.35	27.00-7.50-48.00	0.90-3.35
DE - 1525		—	48.00-10.50-48.00	2.15	35.00-9.00-54.00	0.90-4.25
DE - 335	180 VUELTA EN U	—	15.00-4.50-15.00	0.15	—	—
DE - 610		—	30.00-9.00-30.00	0.45	—	—
DE - 1220		—	30.00-6.00-30.00	2.90	25.50-6.00-45.00	1.35-3.95
DE - 1525		—	38.50-7.50-38.50	2.90	30.00-7.50-54.00	1.65-3.95

Tabla.-12-B Radios para el diseño mínimo de intersecciones

uno cualquiera de los grupos de valores mostrados en la tabla, la elección dependerá del tipo y tamaño de los vehículos que van a dar vuelta y de la amplitud o facilidad con que se quiere que lo haga. En intersecciones a 90° con carriles proyectados para el tránsito de automóviles, los camiones pueden dar vuelta invadiendo los carriles adyacentes. Para ángulos de giros menores de 90° , los camiones también pueden dar vuelta en carriles proyectados para automóviles, invadiendo menos los carriles adyacentes que en las vueltas a 90° . Para deflexiones de más de 90° , deberá modificarse el diseño mínimo para el vehículo DE-335 en tal forma que se asegure que todos los camiones que van a dar vuelta permanezcan dentro de los carriles del camino. Para deflexiones de 120° o más pueden usarse las mismas dimensiones de las curvas compuestas que se requieren para el vehículo DE-335, es decir, 30.00 m.-6.00 y 30.00 m.; pero en este caso el desplazamiento de la curva central debe aumentarse de 0.75 m., hasta 3.00 m. como máximo para las vueltas a 180° . Cuando se dispone de espacio suficiente es preferible, por regla general, un proyecto basado en el vehículo DE-610 aún para caminos secundarios. Con el proyecto del DE-610, los vehículos DE-1220 y DE-1525, invadirán ligeramente los carriles adyacentes.

Con los radios recomendados para deflexiones mayores de 90° , pueden resultar intersecciones innecesariamente grandes, ya que habrá partes de su superficie que no se usen sino ocasionalmente, lo que puede provocar confusión entre los conductores y peligrosa a los peatones. Estos inconvenientes pueden atenuarse bastante, empleando curvas compuestas asimétricas o bien radios grandes con isletas canalizadoras, como se verá más adelante. En caminos principales que se cruzan con ángulos distintos de 90° , deben pro

yectarse, si es factible, enlaces para el tránsito que da vuelta a la derecha en los cuadrantes donde los vehículos giran 120° o más.

D.- Diseños mínimos para enlaces.- Cuando un entronque se proyecta para que circulen semiremolques, o para que den vuelta automóviles a una velocidad de 25 km/h. o mayor, la calzada puede llegar a ser excesivamente ancha para un control adecuado del tránsito. Para evitar esto, deben proyectarse isletas canalizadoras de tal manera que formen un camino separado, es decir, un enlace que conecte dos ramas del entronque.

Lo que gobierna principalmente el proyecto de los enlaces en curvas es el grado máximo que define el diseño mínimo de la orilla interna de la calzada y el ancho de la misma. Con radios mayores que los mínimos, se obtienen superficies que permiten colocar isletas para guiar al tránsito que sigue de frente y al que da vuelta; también sirven para colocar señales y como zonas de seguridad para peatones.

La orilla interna de la calzada en las curvas de los enlaces debe -- proyectarse de tal manera que permita alojar por lo menos la isleta mínima, además del ancho de calzada necesario.

La calzada debe tener el ancho suficiente para que - - -

las trayectorias de los vehículos de proyecto pasen aproximadamente a 0.50 m. de la orilla en ambos lados del enlace. Por regla general, el ancho de la calzada no debe ser menor de 4.25 m. en la parte central de la curva.

La Fig. 12-25 muestra el diseño mínimo de enlaces en curva para vueltas a la derecha a 90° , que cumplen con los requisitos mencionados en el párrafo anterior. Un diseño basado en la isleta mínima y en el ancho mínimo de calzada de 4.25 m. Fig. 12.25-A, requiere un arco circular con radio de 18.25 m. en la orilla interna de la calzada o una curva compuesta de radios 45.00 m., 15.00- y 45.00 m. con desplazamiento de 1.00 m. Este diseño permite no solamente que los automóviles den vuelta a una velocidad de 25 Km/h., sino también que la trayectoria de la rueda externa del vehículo DE-610 tenga un radio de giro de aproximadamente 20.00 m. y pase a 0.30 m. de la orilla de la isleta y de la orilla interna de la calzada, como se muestra en la figura.

Aumentando el ancho de la calzada a 5.50 m. en la parte central de la curva y usando la misma curva compuesta, pero con un desplazamiento de 1.50 m. se obtiene un mejor proyecto, tal como se indica en la Fig. 12.25-B. Este diseño permite al vehículo DE-610 utilizar un radio de giro de 21.00 m. con espacios libres amplios, y hace posible que el vehículo DE-1525 gire invadiendo ligeramente los carriles adyacentes.

Cuando el número de semiremolques que van a dar vuelta es apreciable, especialmente las unidades más grandes, debe emplearse el proyecto mostrado en la Fig. 12.25-C. Este, que consiste de una curva central de 20.00 m. de radio, desplazamiento de 1.75 m. y

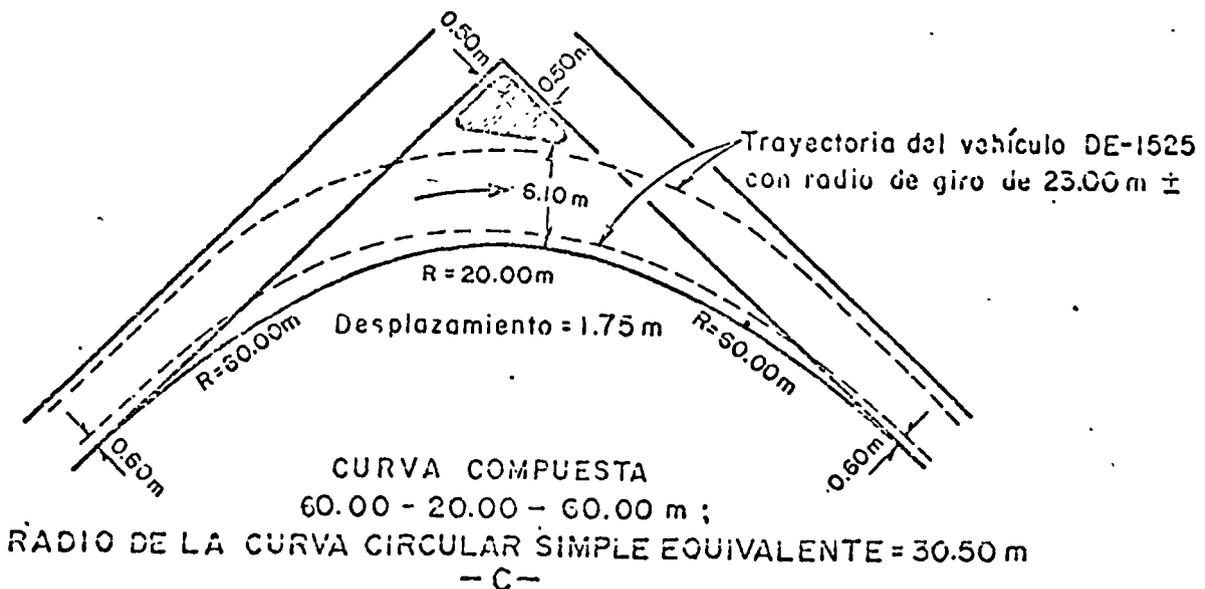
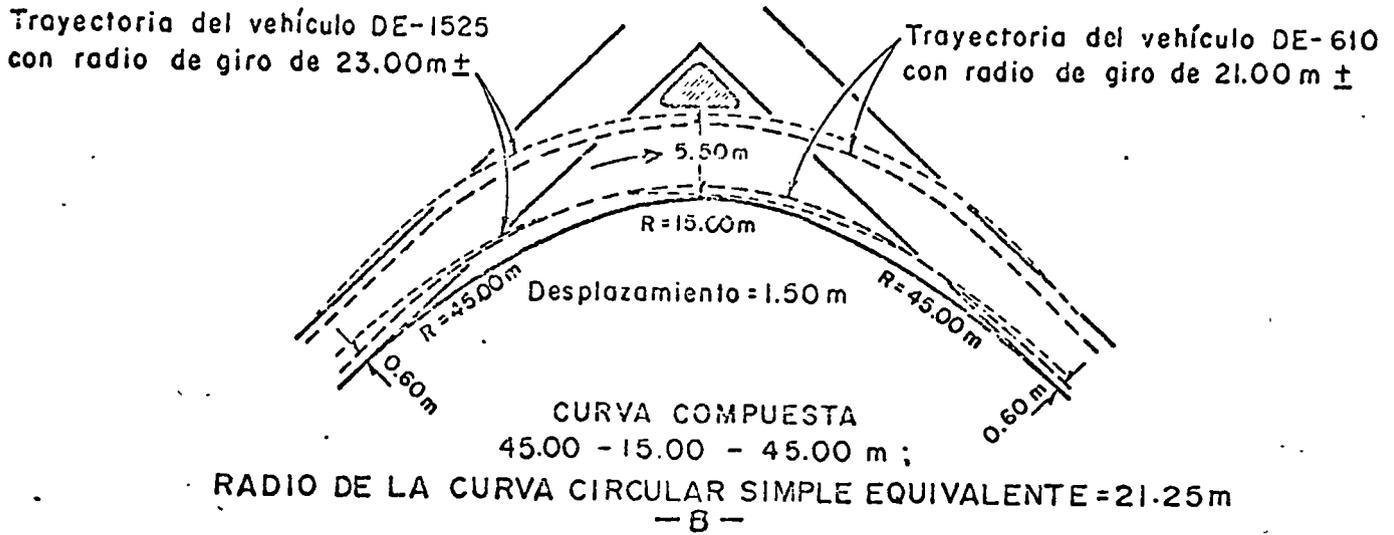
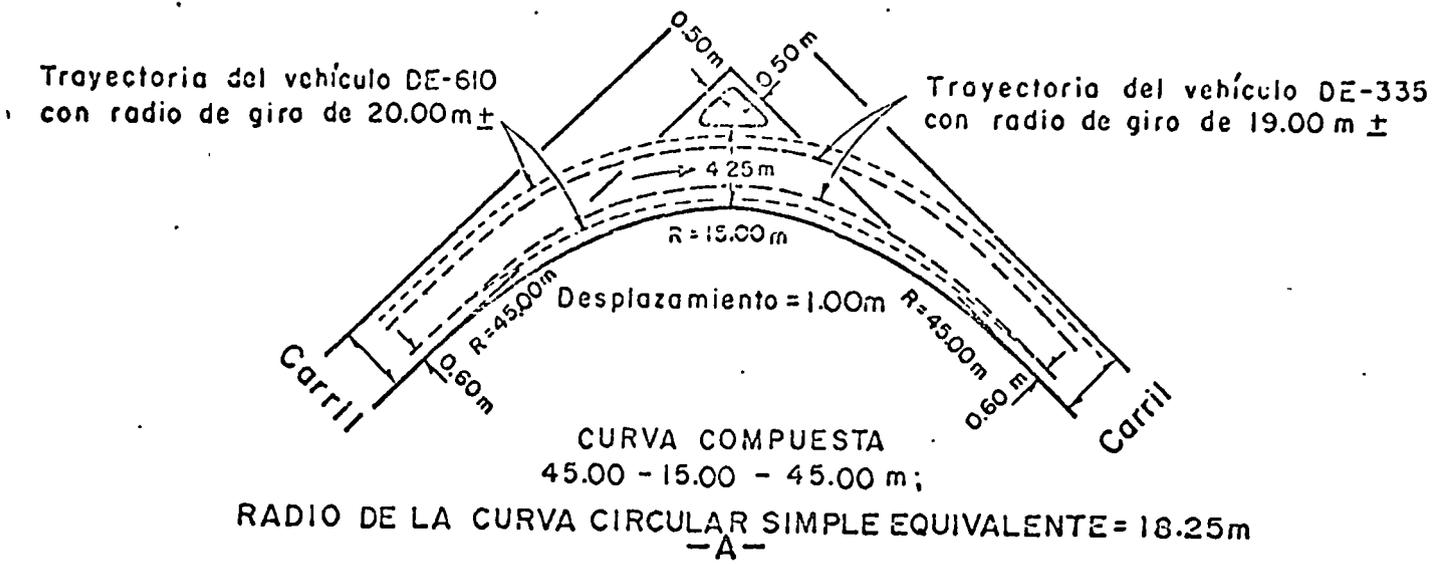


Fig.12.25-Diseño mínimo de enlaces en curva para vueltas a la derecha a 90°

curvas extremas de 60.00 m. de radio, fué preparado para que el vehículo DE-1525 pueda circular por una calzada de 6.10 m., beneficiando además la operación de los vehículos más pequeños.

En todos los casos las isletas deben colocarse a 0.50 m. aproximadamente de la prolongación de la orilla interna de la calzada entangente, como se muestra en la figura. Cuando las isletas tienen las dimensiones mínimas, es conveniente proveerlas de guarniciones. En carreteras, las guarniciones deben ser achaflanadas para hacerlas menos peligrosas al tránsito que sigue de frente y para permitir mayor libertad en la operación de vehículos grandes.

Para cada uno de los diseños mínimos mostrados en la Fig. 12.25 se recomienda una curva compuesta, simétrica, sin embargo, también pueden usarse curvas compuestas asimétricas, especialmente en los proyectos elaborados para que den vuelta vehículos pesados. Aunque en la figura se indica en cada caso una curva simple equivalente de radio dado, su empleo en los dos últimos diseños pueden ocasionar que el vehículo de proyecto invada la isleta.

E.- Enlaces con vueltas en ángulo oblicuo.- En la tabla 12-C se muestran las dimensiones mínimas para el diseño de enlaces con vueltas en ángulos de 75° a 150° , dimensiones determinadas en forma semejante a las de las vueltas en ángulo recto. Para cada uno de los tipos de proyecto descritos en la parte inferior de la tabla, se indican los radios y desplazamientos de la curva de la orilla interna de la calzada, su ancho y el área aproximada de la isleta. Para un entronque particular, el proyectista debe escoger entre los tres tipos de proyecto de acuerdo con el tamaño de

DEFLEXION	* TIPO DE PROYECTO	CURVAS COMPUESTAS		ANCHO DE LA CALZADA (metros)	TAMAÑO APROXIMADO DE LA ISLETA (metros cuadrados)
		RADIOS (metros)	DESPLAZAMIENTO (metros)		
75	A	46.00 - 23.00 - 46.00	1.05	4.25	5.50
	B	46.00 - 23.00 - 46.00	1.50	5.50	4.60
	C	45.00 - 27.50 - 45.00	1.05	6.10	4.60
90 +	A	45.00 - 15.00 - 45.00	1.00	4.25	4.60
	B	45.00 - 15.00 - 45.00	1.50	5.50	7.40
	C	54.00 - 19.50 - 54.00	1.75	6.10	11.60
105	A	36.00 - 12.00 - 36.00	0.60	4.55	6.50
	B	30.00 - 10.50 - 30.00	1.50	6.70	4.60
	C	56.00 - 14.00 - 56.00	2.45	9.15	5.60
120	A	30.00 - 9.00 - 30.00	0.75	4.90	11.10
	B	30.00 - 9.00 - 30.00	1.50	7.30	8.40
	C	54.00 - 12.00 - 54.00	2.60	10.35	20.40
135	A	30.00 - 9.00 - 30.00	0.75	4.90	42.70
	B	30.00 - 9.00 - 30.00	1.50	7.90	34.40
	C	48.00 - 10.50 - 48.00	2.75	10.65	60.00
150	A	30.00 - 9.00 - 30.00	0.75	4.90	130.00
	B	30.00 - 9.00 - 30.00	1.85	9.15	110.00
	C	48.00 - 10.50 - 48.00	2.15	11.60	100.00

+. Se ilustra en la figura

- * A.- Principalmente vehículos ligeros; permitiendo ocasionalmente diseños para el vehículo DE-610 con espacios restringidos para dar vuelta.
- B.- Provisto adecuadamente para el vehículo DE-610; ocasionalmente permite al DE-1525 girar invadiendo ligeramente los carriles de tránsito adyacentes.
- C.- Provisto exclusivamente para el vehículo DE-1525

NOTA: Pueden usarse curvas compuestas, asimétricas y transiciones rectas con una curva circular simple, sin alterar significativamente el ancho de la calzada o el tamaño de la isleta.

Tabla.-12-C Radios para el diseño mínimo de entlaces

los vehículos. el volumen previsto del tránsito y las restricciones físicas del lugar. Las vueltas con ángulos pequeños requieren radios relativamente grandes, y no están considerados en este grupo. En estos casos se necesita elaborar un proyecto especial que se ajuste a las condiciones del sitio y del tránsito. Para deflexiones entre 75° y 120° , las dimensiones mínimas están limitadas por las de la isleta. Para deflexiones de 120° o mayores, las dimensiones mínimas generalmente están limitadas por las trayectorias más pronunciadas de los vehículos seleccionados y por las curvas de la orilla interna de la calzada que se ajustan a estas trayectorias, siendo las dimensiones resultantes de la isleta, mayores que la mínima.

12.4.2 Aberturas en la faja separadora central.

En los caminos con faja separadora central, se proporcionan aberturas para permitir a los vehículos que transitan por el camino efectuar vueltas izquierdas, o el cruce a los vehículos que transitan por caminos transversales.

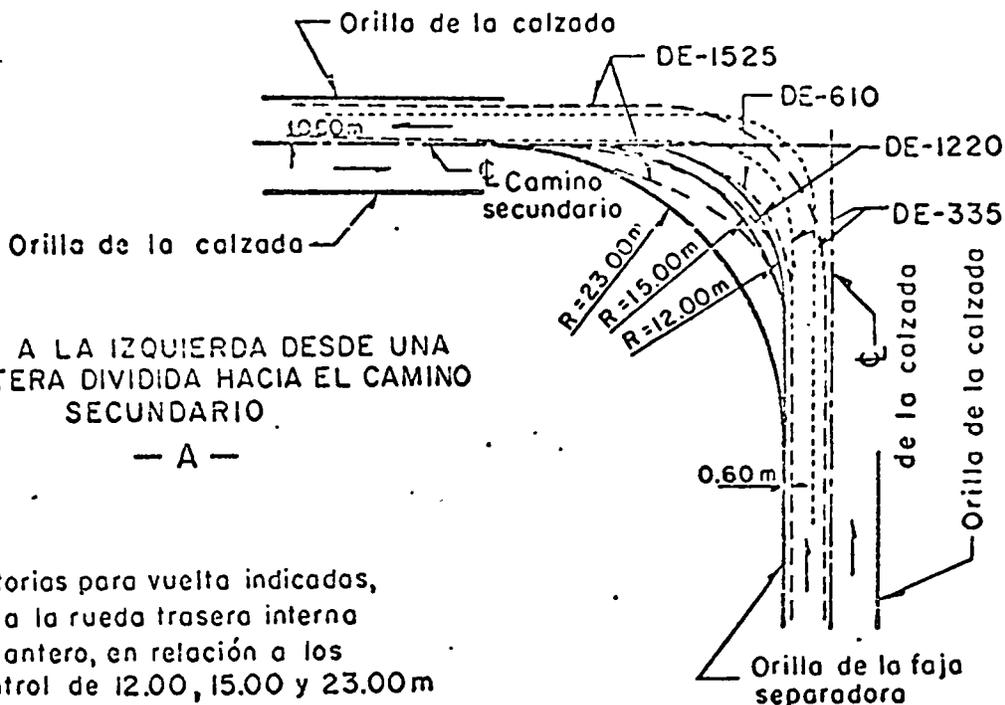
Cuando el tránsito en un camino alcanza altas velocidades y gran volumen, se justifica un proyecto en el que la abertura tenga la forma y dimensiones adecuadas para que los movimientos de vuelta se efectúen con poca o ninguna interferencia para el tránsito que sigue de frente.

El proyecto de las aberturas, de los anchos y remates de la faja separadora central debe hacerse con base en el tipo de los vehículos que dan vuelta, eligiéndose un vehículo de proyecto para establecer el patrón de los movimientos de vuelta y de cruce, comprobando si vehículos mayores pueden también efectuar la maniobra con ciertas restricciones.

A.- Dimensiones para los diseños mínimos de vuelta izquierda.- En el proyecto de las vueltas izquierdas se ha optado por la utilización de curvas circulares simples tangentes a los ejes de los caminos que se intersectan o a la orilla de la faja separadora central en caso de que ésta exista, los radios que definen estas curvas para cada vehículo de proyecto se llaman "radios de control" y consideran que la trayectoria de la rueda trasera interna del vehículo dando vuelta se encuentra al principio y al final de la curva a 0.60 de los ejes centrales u orillas de la faja separadora en su caso.

En la Fig. 12.26, se muestran las trayectorias mínimas de vuelta a la izquierda con deflexión de 90° , recorridas por los vehículos de proyecto y los radios de control para cada uno de estos vehículos. La Fig. 12.26-A, muestra las trayectorias de los vehículos que dan vuelta a la izquierda desde una carretera dividida hacia un camino secundario, y la Fig. 12.26-B las de los vehículos que dan vuelta a la izquierda desde un camino secundario para entrar a una carretera dividida.

Las trayectorias a las que mejor se ajustan los vehículos que dan vuelta, son las definidas por curvas de transición. Para vueltas pronunciadas el proyecto de la orilla que mejor se adopta a estas trayectorias es el de una curva compuesta como las que se han indicado para las vueltas a la derecha. Estas mismas curvas se aplican para vueltas a la izquierda y deberán usarse donde exista un límite físico de la calzada, como en el caso de entronques canalizados o a desnivel. Para los entronques a nivel en las carreteras divididas, no es indispensable la precisión de las curvas compuestas y se ha comprobado la conveniencia de usar curvas simples para delinear al remate de la faja sepa-

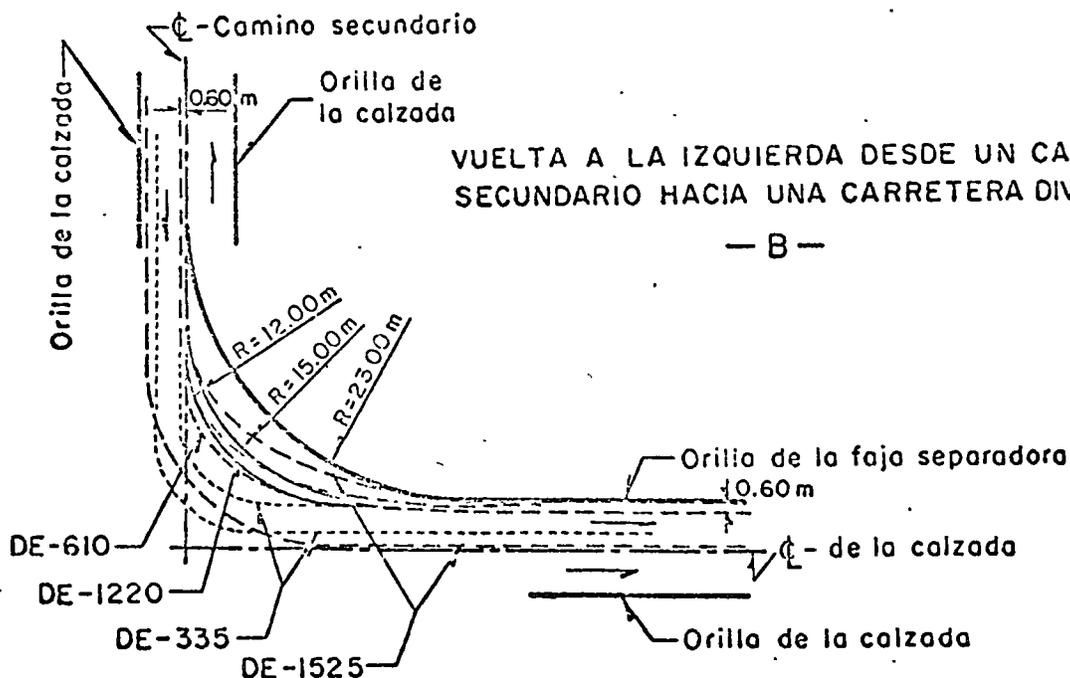


VUELTA A LA IZQUIERDA DESDE UNA CARRETERA DIVIDIDA HACIA EL CAMINO SECUNDARIO

- A -

NOTA:

Las trayectorias para vuelta indicadas, corresponden a la rueda trasera interna y al vuelo delantero, en relación a los radios de control de 12.00, 15.00 y 23.00m



VUELTA A LA IZQUIERDA DESDE UN CAMINO SECUNDARIO HACIA UNA CARRETERA DIVIDIDA

- B -

Fig. 12.26-Radios de control en intersecciones con vueltas a la izquierda a 90°

radora en las vueltas izquierdas. Obviamente, mientras mayor sea el radio de curva, más fácilmente efectuará la maniobra el vehículo de proyecto, pero se requerirá una longitud mayor de la abertura de la faja separadora central y mayor área de calzada que para el radio mínimo; esta amplitud puede dar por resultado maniobras erráticas de los vehículos pequeños.

Considerando los radios para vueltas mínimas a la derecha y la necesidad de que circule más de un tipo de vehículos en los entronques comunes, pueden usarse los siguientes radios de control, para un diseño mínimo eficiente.

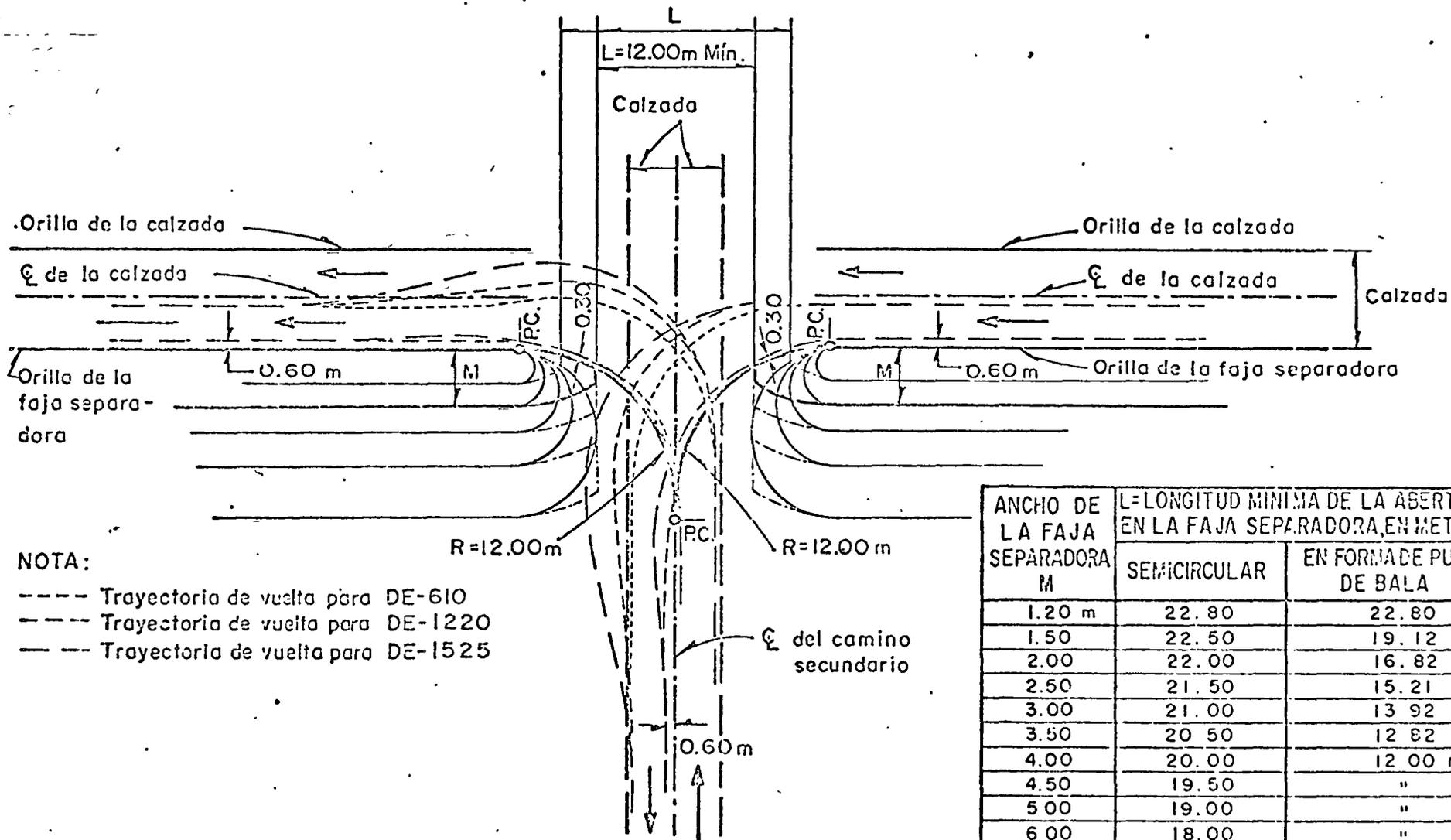
R = 12.00 m. conveniente para vehículos DE-335 y ocasionalmente para
DE-610

R = 15.00 m adecuado para vehículos DE-610 y ocasionalmente para DE-1220

R = 23.00 m para vehículos DE-1220 y ocasionalmente para DE-1525

En las Figs. 12.27 a 12.29; se verifican los radios de control, con el empleo de vehículos mayores que efectúan movimientos ocasionales, distintos de aquellos para los que fué diseñada la vuelta izquierda. Para cada radio se proporciona una tabla de la que se obtiene, a partir del ancho de la faja separadora central la longitud mínima de la abertura.

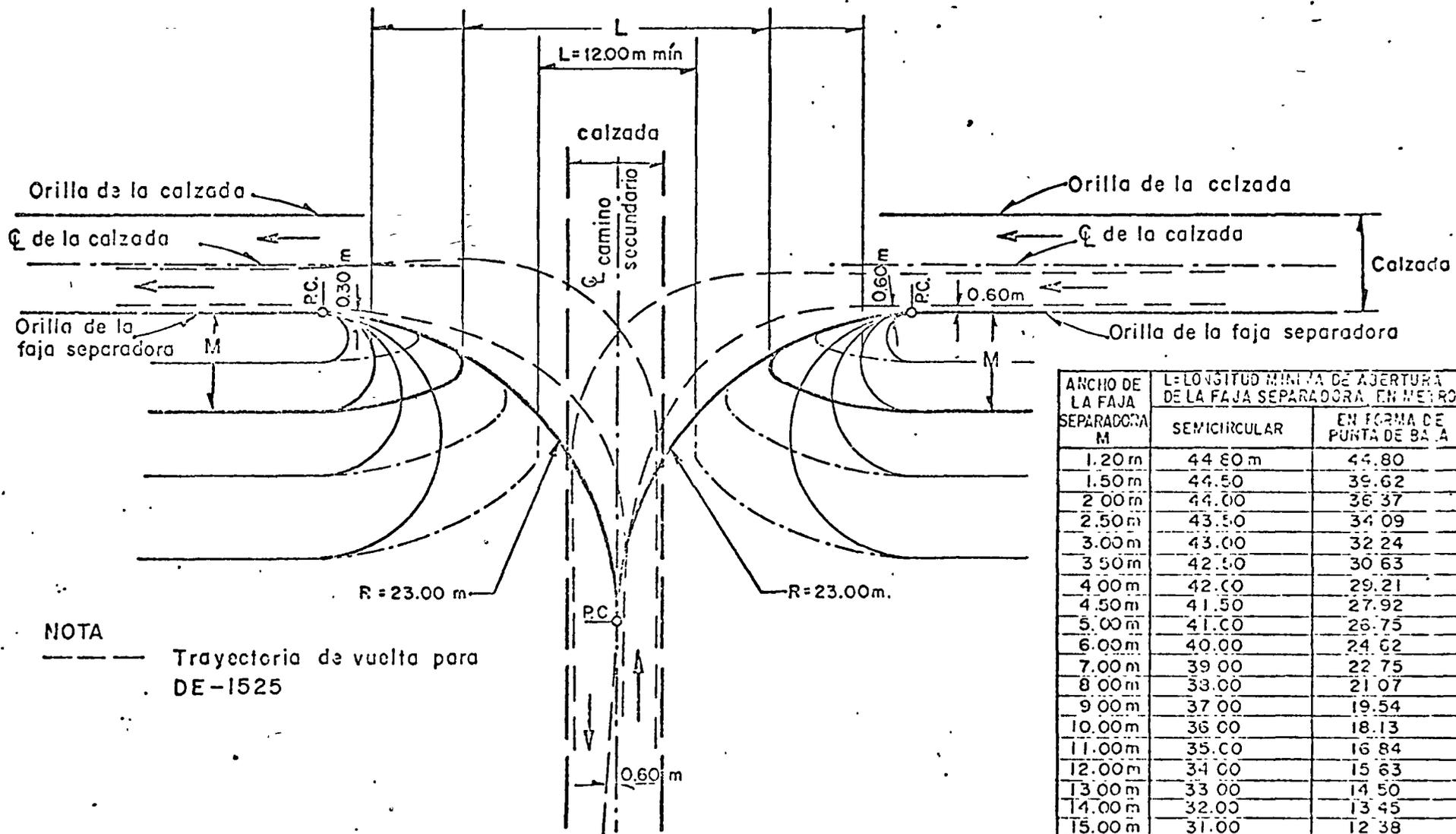
B.- Forma del remate de la faja separadora central.- El semicírculo como forma del remate de la faja separadora central en las aberturas, es conveniente solo para fajas angostas, para anchos superiores a 2.50 m se han encontrado desvenjadas al empleo -----



NOTA:
 - - - - Trayectoria de vuelta para DE-610
 - - - - Trayectoria de vuelta para DE-1220
 - · - · Trayectoria de vuelta para DE-1525

ANCHO DE LA FAJA SEPARADORA M	L=LONGITUD MINIMA DE LA ABERTURA EN LA FAJA SEPARADORA, EN METROS	
	SEMICIRCULAR	EN FORMA DE PUNTA DE BALA
1.20 m	22.80	22.80
1.50	22.50	19.12
2.00	22.00	16.82
2.50	21.50	15.21
3.00	21.00	13.92
3.50	20.50	12.82
4.00	20.00	12.00 mín.
4.50	19.50	" "
5.00	19.00	" "
6.00	18.00	" "
7.00	17.00	" "
8.00	16.00	" "
9.00	15.00	" "
10.00	14.00	" "
11.00	13.00	" "
12.00	12.00	" "
>12.00	12.00	" "

Fig.12.27-Diseño de la abertura mínima en la faja separadora para vehículo de proyecto DE-335 con radio de control de 12.00m



NOTA
 - - - - - Trayectoria de vuelta para DE-1525

ANCHO DE LA FAJA SEPARADORA M	L= LONGITUD MÍNIMA DE AJERTURA DE LA FAJA SEPARADORA EN METROS	
	SEMICIRCULAR	EN FORMA DE PUNTA DE BATA
1.20 m	44.80 m	44.80
1.50 m	44.50	39.62
2.00 m	44.00	36.37
2.50 m	43.50	34.09
3.00 m	43.00	32.24
3.50 m	42.50	30.63
4.00 m	42.00	29.21
4.50 m	41.50	27.92
5.00 m	41.00	26.75
6.00 m	40.00	24.62
7.00 m	39.00	22.75
8.00 m	38.00	21.07
9.00 m	37.00	19.54
10.00 m	36.00	18.13
11.00 m	35.00	16.84
12.00 m	34.00	15.63
13.00 m	33.00	14.50
14.00 m	32.00	13.45
15.00 m	31.00	12.38
16.00 m	30.00	12.00 mín
17.00 m	29.00	" "
18.00 m	28.00	" "
19.00 m	27.00	" "
20.00 m	26.00	" "
25.00 m	21.00	" "
30.00 m	16.00	" "
34.00 m	12.00 mín.	" "
35.00 m	12.00 mín	" "

Fig.12.29-Diseño de la abertura mínima en la faja separadora para vehículo de proyecto DE-1220 con radio de control de 23.00m

de esta forma, cambiándose entonces por un remate en forma de punta de bala, recondeado o truncado tal como se muestra en las Figs. 12.27 a 12.29, para los radios de control de 12.00 m., 15.00 m. y 23.00 m. El diseño con forma de punta de bala está considerado por dos arcos circulares trazados con el radio de control y un arco de radio de aproximadamente 0.60m. para redondear la punta, siendo este valor únicamente para diseños con dimensiones mínimas.

El proyecto en forma de punta de bala se ajusta a la trayectoria de la rueda interna trasera y requiere en comparación con el remate semicircular, una menor área de calzada para la intersección y una menor longitud de la abertura. Con estas variaciones operacionales, el conductor que voltea hacia la izquierda cuenta con una buena guía para su maniobra puesto que tiene la mayor parte de su proyecto canalizado.

En fajas separadoras centrales con ancho de 1.20 m. prácticamente no existe diferencia operacional para las formas de los remates. Cuando el ancho es de 2.50 m. o más, la forma de punta de bala es preferible a la semicircular. En anchos mayores, la forma de punta de bala requiere una longitud menor de la abertura que la semicircular hasta llegar a una anchura de 4.00 m. en el que para el radio de control de 12.00 m. empieza a prevalecer la longitud mínima de la abertura. A partir de este ancho el remate adopta la forma de punta de bala truncada, con el extremo plano paralelo al camino secundario; independientemente del ancho de la faja en cuestión. Esta forma será siempre superior a la semicircular porque canaliza mejor el tránsito.

Las formas de punta de bala se proyectan con el fin de encauzar -

a los vehículos que voltean, desde o hacia el eje del camino secundario; en tanto que los remates semicirculares ocasionan que los vehículos que realizan el movimiento izquierdo de salida puedan invadir, el carril de sentido contrario del camino secundario.

C.- Longitud mínima de la abertura.- En las intersecciones de tres o cuatro ramas en una carretera dividida la longitud de la abertura en la faja separadora central debe cuando menos ser igual a la mayor de las siguientes dimensiones; anchura de la corona del camino secundario a la anchura de la calzada de dicho camino más 2,50 m o 12.00 m. Cuando el camino secundario tenga también faja separadora la longitud de la abertura en el camino principal será como mínimo igual a la anchura de la corona del camino secundario y en ningún caso menor que la suma de las anchuras de las calzadas más la anchura de la faja, más 2.50 m, todo referido al camino secundario.

La longitud mínima de 12.00 m no se aplica a las aberturas para vueltas en "U", las que se analizarán posteriormente.

D.- Diseño basado en el radio de control para los vehículos de proyecto.- La Fig. 12.27 muestra el diseño de abertura mínima, basado en el radio de control de 12.00 m para vuelta izquierda con deflexión de 90°. El arco definido por el radio de control es tangente, tanto a la orilla superior de faja separadora central, como al eje del camino secundario. La longitud de la abertura varía según el ancho de la faja separadora, como se muestra en la tabla de la figura.

El radio de 12.00 permite a los vehículos DE - 3 3 5 realizar vueltas - - -

algo mayores que la mínima, cuya verdadera trayectoria no se muestra; pero puede verse en la Fig. 12.26. En la Fig. 12.27 se indican las trayectorias de los vehículos DE-610, DE-1220 y DE-1525 al realizar la vuelta izquierda, tanto de salida como de entrada a la carretera dividida, mostrando que aun estos grandes vehículos pueden dar vuelta en una intersección proyectada para automóviles. Solo se muestran las trayectorias de la rueda trasera interna y la del vuelo delantero. Se encuentran representadas partiendo en posición paralela a la orilla de la faja separadora central o al eje del camino secundario al inicio de la vuelta, indicando una curva amplia seguida de otra inversa, al término de la vuelta. Los conductores de vehículos grandes que realicen vueltas izquierdas cerradas podrán girar a la derecha antes de dar vuelta a la izquierda. Se ilustra la trayectoria del movimiento paralelo al inicio de la vuelta porque representa la máxima invasión.

1) Diseño para vehículos DE-335.- En el diseño que se ilustra en la Fig. 12.27 la trayectoria del vehículo DE-1220 al dar vuelta desde el camino dividido, se sale aproximadamente 0.90 m de la orilla de la calzada del camino secundario de dos carriles de 3.65 m cada uno. La trayectoria del vehículo DE-1525 se desplaza cerca de 3.40 m. Esta invasión puede afectar a la vuelta derecha, localizada diagonalmente opuesta a la iniciación del movimiento de vuelta izquierda. En caminos secundarios anchos, estos desplazamientos tienen lugar dentro de la abertura de la faja separadora y la invasión no se extiende más allá del área correspondiente a la vuelta derecha.

En los caminos secundarios de dos carriles los desplazamientos inva-

den el remate de la faja separadora cuando ésta es ancha y tiene la longitud de la abertura mínima. La mayoría de los conductores pueden pasar a través de estas aberturas sin salirse del área pavimentada comenzando la vuelta un metro o más hacia la derecha sobre la carretera dividida. Este procedimiento, aunque se lleva a cabo con gran frecuencia, es peligroso y debe evitarse siempre que sea posible usando dimensiones mayores.

Para las vueltas hacia la carretera dividida, las trayectorias muestran diversas invasiones al carril exterior. El vehículo DE-610 invade 0.30 m el DE-1220 invade 1.50 m y el DE-1525 cerca de 3.10 m del carril exterior de la carretera dividida.

Esto puede aminorarse si el conductor desvía su vehículo hacia la derecha antes de iniciar la vuelta izquierda cuando dispone del espacio suficiente para ello. Este espacio depende del ancho de la faja, de la longitud de la abertura, y de las posibles isletas para canalizar las vueltas a la derecha.

2) Diseño para vehículos DE-610.- En la Fig. 12.28, se muestra el diseño de abertura mínima para una vuelta izquierda con deflexión de 90° , basado en el radio de control de 15.00 m. El principio fundamental de su desarrollo, o sean los remates de la faja separadora y las trayectorias, son semejantes a los de la figura anterior.

Como se indica en la Fig. 12.26 un radio de 15.00 m resulta adecuado para los vehículos DE-610. En la Fig. 12.28 se muestran las trayectorias seguidas por los vehículos DE-1220, -----

DE-1525 al efectuar la vuelta izquierda tanto de salida como de entrada, a la carretera dividida, mostrando la forma en que estos vehículos dan la vuelta en un diseño para vehículos DE-610. El vehículo DE-1220 cuando gira directamente a la izquierda hacia la carretera dividida suele invadir el carril adyacente cerca de 0.90 m., pero esto puede reducirse o evitarse girando hacia la derecha sobre el camino secundario, al iniciar la vuelta. El DE-1525 se desplaza aproximadamente 1.20 m. fuera del camino secundario de dos carriles de 3.65 m. cada uno al dar vuelta desde la carretera dividida, desplazamiento que puede igualmente reducirse efectuando un amplio giro al principio de la vuelta. Al girar hacia la carretera dividida, invadirá aproximadamente 2.00 m. del carril adyacente, lo que también podrá reducirse, pero no eliminarse realizando un amplio giro al inicio de la vuelta, para ello será necesario que la longitud de la abertura sea mayor de 12.00 m.

3) Diseño para vehículos DE-1220 y DE-1525.- La Fig. 12.29, muestra el diseño para la abertura mínima en la faja separadora central, para curva izquierda con deflexión de 90° basado en el radio de control de 23.00 m. que según se indica en la Fig. 12.26, es el apropiado para los vehículos DE-1220. La trayectoria mínima del vehículo DE-1525 que aparece en la Fig. 12.29 muestra cómo se comporta este vehículo, al dar la vuelta.

En la vuelta a la izquierda, desde el camino secundario los vehículos DE-1525 invadirán el carril adyacente de la carrete

ra dividida, aproximadamente en 0.60 m., pudiéndose evitar esta invasión girando a la derecha al iniciar la vuelta.

4) Efecto del esviajamiento.- En un cruce esviajado, es necesario usar el radio de control para localizar el punto de tangencia con la orilla de la faja separadora, punto (1) de la Fig. 12.30, cuyo arco equivale a la trayectoria mínima para vehículos dando vuelta con deflexión distinta de 90° .

Existen varias alternativas de proyecto para el remate de la faja separadora cuya elección depende del ángulo de esviajamiento, del ancho de la faja y del radio de control.

Los remates semicirculares de la faja separadora central, marcados con A en la figura, conducen a aberturas muy amplias y a escasa canalización.

El proyecto simétrico del remate en forma de punta de bala, B, cuyos lados circulares se hallan determinados por los radios de control, tangentes en los puntos (1) y (2), tiene asimismo menos canalización para los vehículos que dan vuelta con deflexión menor de 90° , partiendo de la carretera dividida.

El remate asimétrico en forma de punta de bala C, con radios R_1 y R_2 , proporciona un control más efectivo, en menor área de calzada que los anteriores. Tanto la orilla de la faja separadora, punto 2, como el eje del camino secundario son tangentes a la curva descrita por el radio R_2 , el cual es mayor que el R_1 . En este diseño el remate se halla desplazado del eje de la faja, pero está correctamente ubicado respecto de ambas trayectorias de vuelta izquierda.

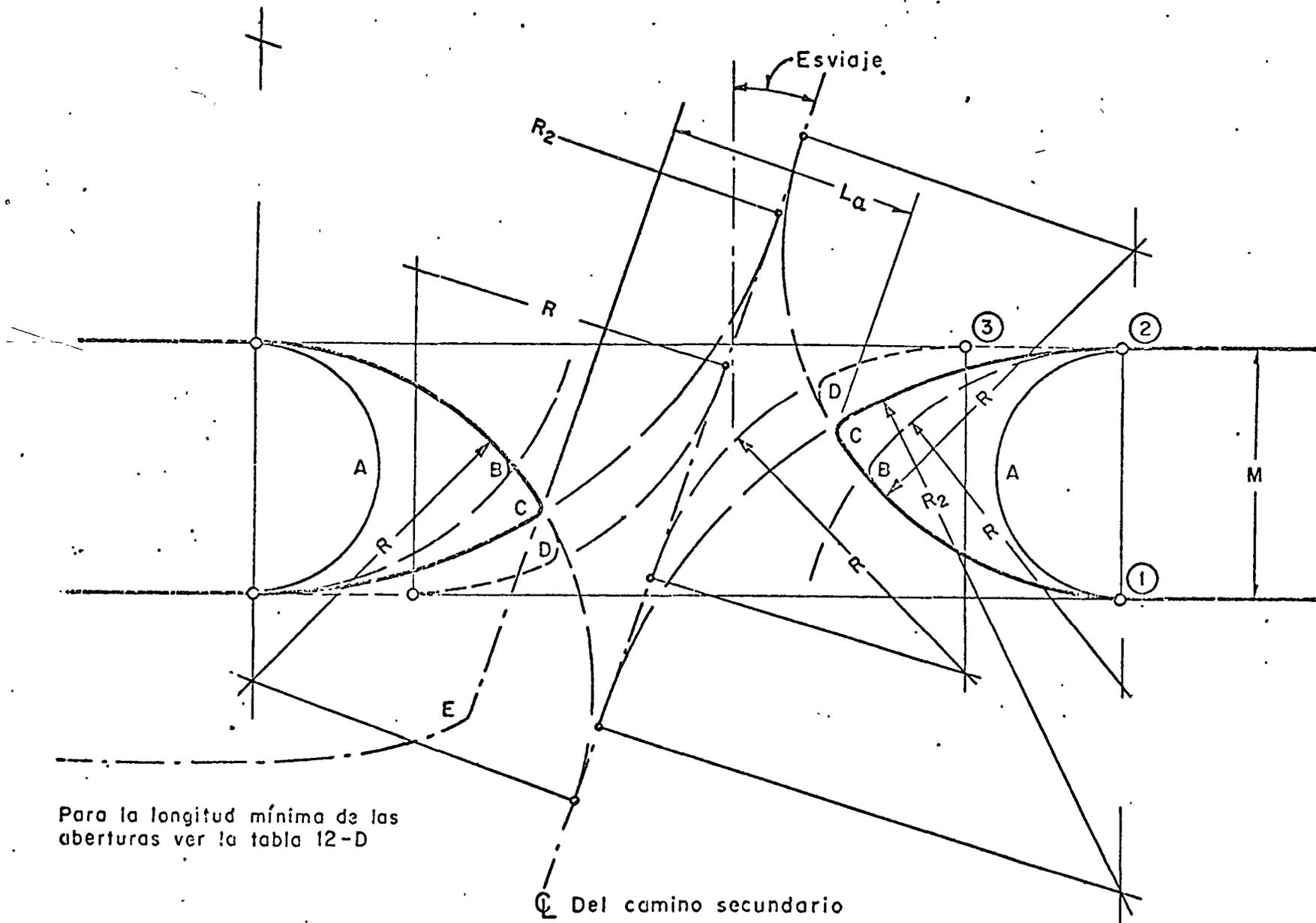


Fig.12.30-Efectos del esviaje en el diseño mínimo de aberturas en fajas separadoras centrales.

Puede también diseñarse un extremo asimétrico en punta de bala, D, usando el radio de control R para ambas vueltas, con los puntos de tangencia sobre las orillas de la faja separadora, punto (1) y (3). Debido a su forma asimétrica este remate no se considera aconsejable. Además la longitud de abertura que proporciona es generalmente insuficiente.

Tratándose de fajas separadoras anchas con fuerte esviajamiento, en los diseños B, C y D, deberá proyectarse el remate en forma de punta de bala truncada paralelamente al camino secundario, con el fin de lograr la longitud de abertura conveniente L_a tal como se muestra en la parte inferior izquierda C-E, de la Fig. 12.30.

La tabla 12-0 muestra los valores de la longitud de la abertura en la faja separadora central, medida perpendicularmente al camino transversal para los diseños del remate en forma semicircular, punta de bala simétrica y asimétrica, los valores del radio R2 para el diseño C, cuando el radio de control R es igual a 15.00 m., para determinados ángulos de esviajamiento y diferentes anchuras de faja separadora.

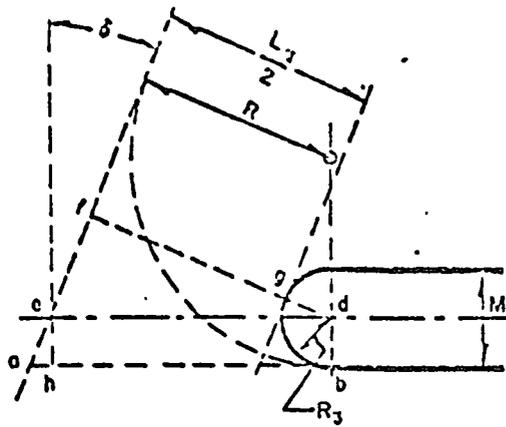
En la Fig. 12.31 se muestran las fórmulas para calcular la longitud de la abertura para cualquier ángulo de esviaje.

En general, es preferible, el remate asimétrico en forma de punta de bala, C. Donde el remate B no resulte notablemente diferente, debe preferirse por los aspectos prácticos de simetría que presenta.

E.- Diseños mayores que el mínimo para vuelta a la izquierda.-
Cuando en una intersección el volumen de tránsito y la velocidad son altos teniendo además movimientos de vuelta izquierda impor-

ANGULO DE ESUIAJE, EN GRADOS	ANCHO DE LA FAJA SEPARADORA CENTRAL, EN METROS	LONGITUD DE LA ABERTURA DE LA FAJA SEPARADORA CENTRAL, MEDIDA PERPENDICULARMENTE AL CAMINO TRANSVERSAL, EN METROS			R ₂ PARA EL DISEÑO C, EN METROS
		SEMICIRCULAR A	REMATE EN FORMA DE PUNTA DE BALA		
			SIMETRICA B	ASIMETRICA C	
0°	1.20	28.30	28.80	28.80	15.00
	2.50	27.50	20.24	20.24	15.00
	5.00	25.00	14.50	14.50	15.00
	10.00	20.00	12 min	12 min	15.00
	15.00	15.00	12 min	12 min	15.00
	20.00	10.00	12 min	12 min	15.00
10°	1.20	33.80	33.80	33.80	21.05
	2.50	32.27	25.15	22.25	20.73
	5.00	29.54	19.06	17.86	20.25
	10.00	23.47	12 min	12 min	19.20
	15.00	17.60	12 min	12 min	18.15
	20.00	11.74	12 min	12 min	17.10
20°	1.20	38.65	38.65	38.65	29.97
	2.50	36.91	30.17	28.59	29.29
	5.00	33.55	23.91	21.53	28.00
	10.00	26.84	16.17	12.75	25.00
	15.00	20.13	12 min	12 min	22.30
	20.00	13.42	12 min	12 min	20.20
30°	1.20	43.16	43.16	43.16	43.80
	2.50	41.18	35.14	33.21	42.50
	5.00	37.35	28.92	25.46	40.00
	10.00	29.70	20.85	15.64	35.00
	15.00	22.05	15.01	12 min	30.00
	20.00	14.40	12 min	12 min	25.00
40°	1.20	47.31	47.31	47.31	66.92
	2.50	45.18	39.92	36.93	64.48
	5.00	41.07	33.91	29.59	59.99
	10.00	32.86	25.78	18.89	50.99
	15.00	24.64	19.61	12 min	41.99
	20.00	16.43	14.54	12 min	32.99

Tabla 12-D - Efecto del esviamiento en el diseño mínimo para aberturas en la faja separadora, cuando el radio de control es igual a 15.00 mts.



A.- Remote en forma semicircular

$$\frac{L_0}{2} = \overline{fg} = \overline{df} - \overline{dg} = \overline{df} - \frac{M}{2}$$

$$\overline{df} = \overline{de} \cos \delta; \overline{ce} = \overline{ob} - \overline{oh}; \overline{ob} = R \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ + \delta}{2} \right)$$

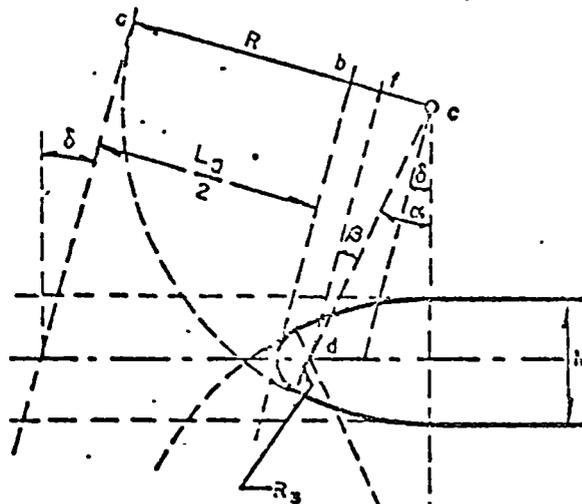
$$\overline{oh} = \overline{eh} \operatorname{tg} \delta; \overline{de} = R \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ + \delta}{2} \right) - \overline{eh} \operatorname{tg} \delta$$

$$\overline{df} = R \cos \delta \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ + \delta}{2} \right) - \overline{eh} \operatorname{sen} \delta$$

$$\therefore L_0 = 2R \cos \delta \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ + \delta}{2} \right) - M (1 + \operatorname{sen} \delta)$$

Si $\delta = 0^\circ$

$$\therefore L_0 = 2R - M$$



B.- Punta de bola (simétrica)

$$\frac{L_0}{2} = R - \overline{bc}$$

$$\overline{bc} = \overline{bf} + \overline{fc}$$

$$\overline{bf} = R_3 = 0.60 \text{ m}$$

$$\alpha = \text{áng} \cos \frac{R - \frac{M}{2}}{R - R_3}$$

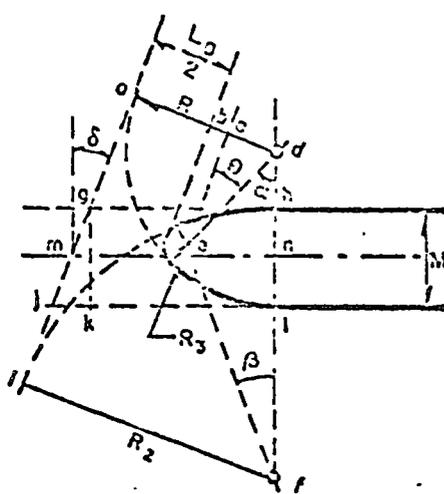
$$\beta = \alpha - \delta$$

$$\therefore \overline{fc} = (R - R_3) \operatorname{sen} \beta$$

$$\therefore L_0 = 2R - 1.20 - 2(R - R_3) \operatorname{sen} \beta$$

$$\therefore L_0 = 2(R - 0.60) [1 \pm \operatorname{sen} \beta]$$

+ $\operatorname{Sen} \beta$; Si $\delta \geq \alpha$
 - $\operatorname{Sen} \beta$; Si $\delta \leq \alpha$



C.- Punta de bola (asimétrica)

$$\overline{gh} = \overline{gi} = \overline{jl} - \overline{jk}$$

$$\overline{jl} = R \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ + \delta}{2} \right)$$

$$\overline{jk} = M \operatorname{tg} \delta$$

$$\therefore \overline{gh} = R \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ + \delta}{2} \right) - M \operatorname{tg} \delta$$

También $\overline{gh} = R_2 \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ - \delta}{2} \right)$

$$\therefore R_2 = \frac{R \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ + \delta}{2} \right) - M \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ - \delta}{2} \right)}$$

$$L_0 = 2(R - R_3) (1 \pm \operatorname{sen} \theta)$$

Si $R = 15$ metros

$$R_2 = \frac{15 \operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ + \delta}{2} \right) - M \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \left(\frac{90^\circ - \delta}{2} \right)}$$

+ $\operatorname{Sen} \theta$; Si $\theta = \alpha - \delta$
 - $\operatorname{Sen} \theta$; Si $\theta = \alpha + \delta$

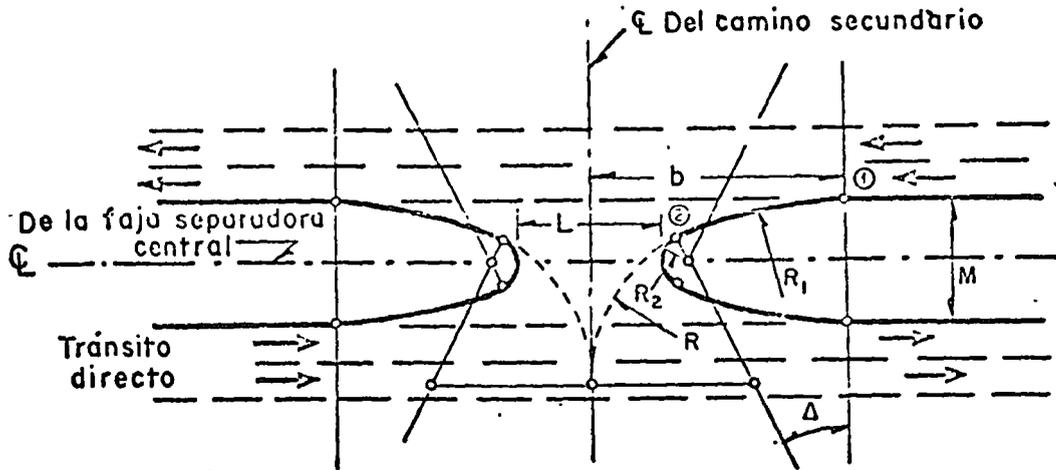
$$\theta = \text{áng} \cos \frac{(R - R_3)^2 + (R_2 + R - M)^2 - (R_2 - R_3)^2}{2(R - R_3)(R_2 + R - M)} \pm \delta; \begin{cases} + \text{Si } \delta > \alpha \\ - \text{Si } \delta < \alpha \end{cases}$$

Fig.12.31 Efecto del esviaje en el diseño mínimo

tantes, deben evitarse las interferencias, diseñando aberturas en la faja separadora de dimensiones tales que permitan a los vehículos dar vuelta sin invadir los carriles adyacentes, y con el espacio necesario para lograr la protección del vehículo mientras da la vuelta, o se detiene. Para este caso puede utilizarse el patrón general para el diseño mínimo, aumentando sus dimensiones. Dependiendo del ancho de la faja separadora central, del ancho del camino secundario, y del tamaño del vehículo de proyecto que deba utilizarse, se pueden considerar una variedad de dimensiones en las aberturas, aquí se presenta el caso más general:

Remate en forma de punta de bala.- En los diseños mayores que el mínimo, la modificación más importante es el aumento en el radio de control. Cuando se diseña para semiremolques que realizan una vuelta de 90°, a baja velocidad, se puede evitar la invasión que se tiene para radios de 23.00 m. empleando un radio de 26.00 m. para vehículos DE-1220 y de 29.00 m., para los DE-1525. Los diseños con radios iguales o mayores que estos permitirán la maniobra de la vuelta a velocidades superiores a las permitidas con radios de control mínimos. Para radios de control mayores, las ventajas del remate en forma de punta de bala sobre el semicircular se acentúan ya que, el control sobre el vehículo y la apariencia del remate mejoran, además de que el área pavimentada es menor.

En la Fig. 12.02 se muestra un diseño para la abertura de la faja separadora central con remates en forma de punta de bala, y radios de control mayores que el mínimo. R es el radio para



$$\Delta = \text{Ang} \cos \frac{R_1 - \frac{M}{2}}{R_1 - R_2}$$

$$b = R + (R_1 - R) \text{ Sen } \Delta$$

$$L = 2 (R - R_2) (1 - \text{Sen } \Delta)$$

$$R_2 = \frac{M}{5}$$

$$R = 15 \text{ metros}$$

$$L \text{ mín.} = 12 \text{ metros}$$

$$M \text{ mín.} = 3 \text{ metros}$$

M ANCHURA DE LA FAJA SEPARADORA	DIMENSIONES EN METROS					
	R ₁ = 25		R ₁ = 50		R ₁ = 75	
	L	b	L	b	L	b
5	18.26	18.48	21.12	23.60	22.39	27.01
6	17.07	18.82	20.17	24.42	21.54	28.17
7	15.93	19.14	19.29	25.18	20.75	29.23
8	14.98	19.41	18.47	25.88	20.00	30.23
9	14.04	19.68	17.69	26.55	19.29	31.15
10	13.16	19.94	17.06	27.18	18.62	32.02
11	12.33	20.18	16.25	27.78	17.98	32.86
12	12.00	20.41	15.58	28.36	17.36	33.66
13			14.95	28.90	16.77	34.42
14			14.34	29.43	16.20	35.16
15			13.76	29.93	15.65	35.88
16			13.19	30.44	15.12	36.56
17			12.64	30.92	14.60	37.23
18			12.13	31.39	14.10	37.89
19			12.00	31.84	13.62	38.52
20					13.15	39.13
21					12.69	39.74
22					12.25	40.33
23					12.00	40.91

Remate en forma de punta de bala

Fig. 12.32 Diseños mayores que el mínimo para aberturas en la faja separadora central.

la parte más cerrada de la curva; R_1 , define la curva de la orilla del remate y R_2 es el radio de la punta del remate. Para una longitud suficiente de R_1 , se garantiza una velocidad de vuelta aceptable para los vehículos que van dejando la carretera principal y el área, dentro de la orilla interior del carril de tránsito directo, entre los puntos (1) y (2) puede aprovecharse para efectuar los cambios de velocidad necesarios, así como para protección de los vehículos que dan vuelta. El radio R_1 puede variar entre 25.00 y 125.00 m. Los valores tabulados muestran que 25.00 m., 50.00 m. y 75.00 m. son los radios mínimos establecidos para velocidades de vuelta de 30, 40 y 50 km/h., respectivamente. El radio R_2 puede variar considerablemente, pero para una mejor proporción y apariencia se recomienda que sea igual a un quinto de la anchura de la faja separadora central. El radio R es tangente al eje del camino secundario, o a la orilla de la faja separadora cuando éste la tenga. Los radios R y R_1 , forman una curva de dos centros que se adapta a la trayectoria de la vuelta izquierda. R no debe ser menor que el radio de control mínimo para el vehículo de proyecto, o éstos no podrán voltear de o hacia el carril que desean, aún a baja velocidad.

La longitud de la abertura de la faja separadora central se rige por los radios. Para fajas con anchos mayores de 9.00 m., sobre carreteras que cruzan un camino secundario de cuatro o más carriles, el radio de control R , generalmente necesitará ser mayor de 15.00 m., o la abertura resultará demasiado estrecha. En tal caso, el proyectista puede seleccionar la longitud de la-

abertura, entre 15 y 18 m., y usar dicha dimensión para localizar el centro correspondiente a R_2 . Entonces R es una dimensión comprobatoria de la efectividad del proyecto. Los valores tabulados en la Fig. 12.32 muestran las longitudes resultantes para la abertura, de acuerdo con las anchuras de la faja separadora central. La dimensión b se incluye como un control general del diseño y para establecer una comparación con otros que excedan al mínimo.

El diseño de la abertura de la faja separadora central de la Fig. 12.32 no proporciona una área de protección dentro de los límites del ancho de la faja. Los diseños en los que R_1 sea igual o mayor a 30.00 m. proporcionan un espacio para que por lo menos un automóvil se detenga en el área que quede libre protegido de las demás corrientes del tránsito. En fajas separadoras centrales con anchos mayores de 9.00 m., dichos radios proporcionan suficiente espacio aún para vehículos más grandes.

F.- Diseños para movimientos de cruce.- La anchura de la faja separadora central, más que por las intersecciones; es determinada por las condiciones generales a lo largo de la carretera dividida. La abertura de una faja separadora de ancho conocido se selecciona dándole la forma específica y la longitud necesaria para coordinar el uso que los distintos tipos de vehículos hacen de la intersección, con la importancia relativa de los movimientos de cruce y de vuelta.

En algunos casos, la anchura de la faja separadora central, así como la de sus aberturas deben estar determinadas por el tránsito que cruza. Estos casos son los de las intersecciones sin disposi

tivos de control en donde existen volúmenes de tránsito importantes en la carretera dividida que hacen casi imposible el cruce seguro en una sola operación. Cuando el tránsito que cruza es importante debe proporcionarse una anchura suficiente de la faja separadora para permitir cuando menos, que un vehículo se detenga en el área de la abertura, protegido del tránsito directo. La longitud del vehículo de proyecto que se use para representar al tránsito que cruza, constituye la dimensión de control. El ancho de la faja separadora debe ser igual ó cuando sea factible, mayor que esta longitud.

Si se considera que el vehículo DE-610 se ha seleccionado para determinar la anchura de la faja separadora, y un vehículo DE-1220 permanece dentro del área de protección, tendrá que invadir uno o ambos carriles de alta velocidad de la carretera dividida. El peligro que representa el detenerse en este sitio se reduce cuando el conductor que va a cruzar la carretera dividida dispone de suficiente distancia de visibilidad, que le permita realizar el cruce en una sola operación.

G.- Diseños para vueltas en U.- En algunas carreteras divididas con faja separadora central se requieren aberturas en ésta para acomodar los vehículos que solo dan vuelta en U, adicionalmente a las aberturas proyectadas para movimientos de cruce y de vueltaizquierda. Los lugares en donde pueden ubicarse las aberturas para vueltas en U, son las siguientes:

Después de intersecciones a nivel o de algunas intersecciones a desnivel, a fin de permitir a los conductores regresar a ella por haber equivocado la ruta al no estar familiarizados con la intersección.

Poco después de una intersección con el fin de facilitar los movimientos de vuelta poco frecuentes, cuando el área principal de la intersección, se reserva para los movimientos de vuelta importantes.

Poco antes de una intersección, en la que el tránsito directo y otros movimientos se verían afectados por las vueltas en "U", sobre todo cuando la faja separadora central de la carretera tenga pocas aberturas y obligue a efectuar recorridos más largos para llegar a las áreas adyacentes.

En intersecciones donde al tránsito del camino secundario no le está permitido cruzar directamente la carretera dividida y para realizarlo requiere voltear a la derecha incorporándose al tránsito del camino principal; entrecruzarse, efectuar el retorno, volver a entrecruzarse y dar vuelta a la derecha para completar su maniobra de cruce. En carreteras de altas velocidades ó fuertes volúmenes de tránsito, las dificultades que se presentan y las grandes longitudes requeridas para entrecruzarse sin riesgo, hacen que este tipo de diseño resulte inconveniente, a menos que los volúmenes del camino secundario sean escasos y la faja separadora central tenga un ancho adecuado.

Donde las aberturas espaciadas regularmente faciliten las operaciones de conservación, vigilancia y servicio de reparación de vehículos. Para estos fines pueden ser necesarias tanto en carreteras de accesos controlados como en las divididas que atraviesan áreas no desarrolladas.

En carreteras divididas, donde las aberturas de la faja separadora central, esté destinada a servir a las propiedades adyacentes.

En la mayoría de los casos es suficiente un espaciamento entre 400 y 800 m., el cual no es necesario mantenerlo uniforme, debido a las variaciones del terreno y a los requerimientos de las propiedades colindantes.

1) Diseño Mínimo.- Las aberturas de la faja separadora central para vueltas en U, deben permitir que estas se realicen en una sola maniobra. Los diseños mínimos se rigen directamente por las trayectorias mínimas de cada uno de los vehículos de proyecto que dan vuelta en U. De preferencia, todo vehículo debe estar en posibilidad de iniciar y terminar la vuelta en U sobre los carriles interiores adyacentes a la faja separadora central sin invadir los exteriores, pero el ancho de la faja que esto requiere lo hace impracticable en muchas carreteras, y deben considerarse vueltas en U que empiecen ó terminen en los carriles exteriores de la carretera dividida. En casos extremos, puede ser necesario considerar vueltas en U que se inicien o terminen en los acotamientos, para que puedan realizarlas ocasionalmente camiones y semiremolques.

En la Fig. 12.33 se muestran las vueltas en U y los anchos de la faja separadora central necesarios para acomodarlas. Se ha supuesto que los carriles para el tránsito principal miden 3.65 m., de ancho y que la rueda interna trasera del vehículo de proyecto se haya a 0.60 m. de la orilla interior del carril indicado en los extremos de la vuelta. Cuando la vuelta se hace hacia o desde el acotamiento, se supone que la rueda interna trasera del vehículo de proyecto se encuentra al principio y al final de la vuelta, sobre la orilla exterior de la calzada del tránsito principal de 7.30 de ancho.

TIPO DE MANIOBRA		M - Anchura mínima de la faja separadora central, en metros. Para vehículo de proyecto			
		DE-335	DE-610	DE-1220	DE-1525
		Longitud del vehículo de proyecto.			
		5.90 m	9.15 m	15.25 m	16.80 m
De carril interior a carril interior		10.00	20.00	18.00	21.00
De carril interior a carril exterior		6.00	16.00	15.00	18.00
De carril interior al acotamiento		3.00	13.00	12.00	15.00
De carril exterior a carril exterior		2.50	12.00	11.00	14.00
De carril exterior al acotamiento		0	9.00	8.00	11.00
De acotamiento a acotamiento		0	6.00	5.00	8.00

Fig. 12.33 Diseños mínimos para vueltas en "U"

La anchura de la faja separadora central necesaria para el vehículo DE-1525 es 3.00 m. mayor que el requerido por el DE-1220. La anchura indispensable para los vehículos DE-610 es aproximadamente la semisuma de los anteriores.

Al realizar una vuelta en U, el conductor puede detenerse o no sobre la abertura de la faja separadora central, pero cuando lo haga, su vehículo deberá quedar preferentemente fuera de los carriles del tránsito principal. La comparación de las longitudes de los vehículos de proyecto, indicados en la parte superior de la Fig. 12.33 con los anchos de las fajas separadoras dados para acomodar las vueltas en U, muestra cuáles proporcionarán protección en el área de la abertura. Un ancho de 18.00m. de la faja separadora central proporciona protección para casi todos los vehículos.

Las curvas compuestas que forman el remate con forma de punta de bala y que se ajustan a todas las aberturas para vuelta en U y a todo tipo de vehículos, son los siguientes:

M	
Anchura de la faja separadora central en m.	Radios de las curvas compuestas en m.
9.00 o menos	15.00 - 0.2 M. - 15.00
9.00 a 18.00	23.00 - 0.2 M. - 23.00
18.00 a 24.00	36.00 - 0.2 M. - 36.00

Para fajas separadoras centrales de ciertos anchos, el remate en forma de punta de bala tiene considerables ventajas sobre el diseño semicircular, por lo que se refiere a facilitar la trayectoria de los vehículos que realizan la vuelta en U. Pa

ra camiones, cuando el ancho de la faja es menor de 12.00 m.; y para automóviles, cuando es menor de 5.00 m. carece de importancia qué tipo de diseño se aplica, ya que la vuelta en U debe iniciarse a cierta distancia de la orilla de la faja. Cuando las fajas son más anchas, los conductores pueden iniciar la vuelta desde el carril adyacente a la faja, además cuentan con la ayuda del ahusamiento en su remate y son inducidos a seguir la orilla en vez de invadir el carril del tránsito directo. Ya que las vueltas en U se proyectan principalmente para dar servicio a automóviles, el remate en forma de punta de bala deberá aplicarse a todas las aberturas para vueltas en U con fajas separadoras centrales de un ancho mayor a 5.00 m.

La longitud mínima necesaria de una abertura para dar servicio a los diversos tipos de vehículos, es aproximadamente de 9.00 m. excepto para automóviles, que requieren únicamente 6.00 m. En la mayoría de los casos deberá preferirse el remate en forma de punta de bala sobre el semicírculo, porque en las fajas separadoras anchas el diseño semicircular ocasiona una mayor longitud de abertura.

Los proyectos que han dado mejor resultado para la orilla exterior, en las vueltas en U de un solo sentido, se hallan indicados por las líneas discontinuas que aparecen a la izquierda de la Fig. 12.33.

El servicio que proporcionan las aberturas para retornos realizados de acuerdo con el diseño mínimo, pueden sintetizarse como sigue:

Anchura de la faja separadora central. (m)	Tipo de maniobras realizables en carreteras divididas de 4 carriles.	Vehículo protegido mientras está parado en la abertura.
18.00	Casi todos los vehículos pueden realizar la vuelta en U, iniciándola y terminándola sobre los carriles interiores.	Todos los de proyecto.
12.00	Todo automóvil puede voltear en U, desde y hacia los carriles interiores. Algunos camiones inician y terminan la vuelta sobre los carriles exteriores; otros más largos lo hacen con cierta invasión del acotamiento.	DE-335 a DE-610
10.00	Permite la vuelta en U a los automóviles desde y hacia los carriles interiores; los camiones invaden el acotamiento	DE-335 a D-610
6.00	Permite a los automóviles la vuelta en U del carril interior al exterior; los camiones grandes no pueden hacerlo en una sola operación.	DE-335 y DE-450

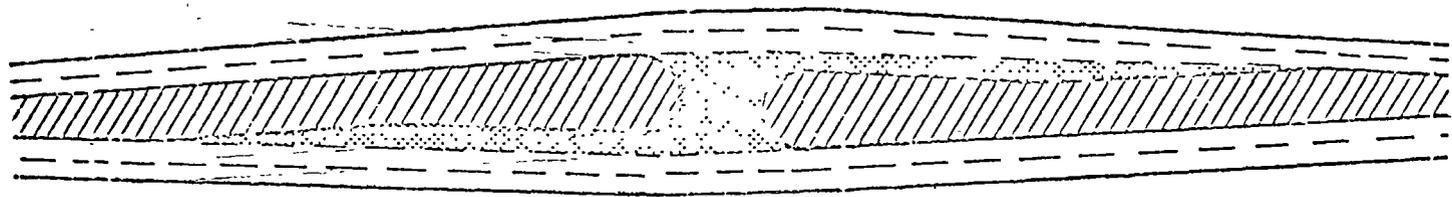
2) Diseños especiales para vueltas en U.- Cuando en las carreteras divididas con grandes volúmenes de tránsito y altas velocidades, sea necesario proporcionar vueltas en U, los riesgos y la interferencia con el tránsito principal pueden reducirse al mínimo mediante diseños especiales que permitan a los vehículos iniciar y terminar dichas vueltas en mejores condiciones.

En muchas carreteras divididas, el ancho de la faja separadora central es insuficiente para establecer aberturas convenientes, destinadas a retornos. En estos casos se procede a efectuar un ensanchamiento gradual de la faja hasta obtener la dimensión necesaria para la vuelta en U del vehículo de proyecto seleccionado.

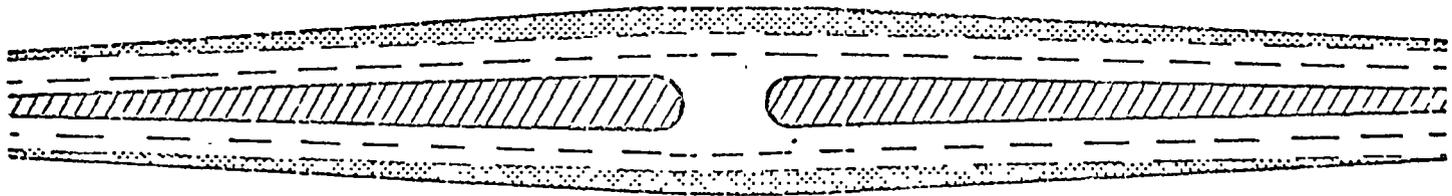
La Fig. 12.34 muestra dos diseños especiales para vuelta en U. En el croquis A se aprecia un carril para cambio de velocidad y protección en la faja separadora central, el cual sería utilizado en aquellos casos en que el conductor desea dar la vuelta en U. En el croquis B muestra el caso en que se incluyen carriles auxiliares en las orillas exteriores de las calzadas que permiten refugiarse a los vehículos cuyos conductores desean dar la vuelta en U, permitiendo que los rebasentros vehículos mientras esperan el momento oportuno para efectuar la maniobra. La anchura de la faja debe proporcionar la protección necesaria al vehículo de proyecto independientemente de la forma en que se inicie la maniobra.

12.4.3 Carriles en la faja separadora central.

La finalidad del carril en la faja separadora central es permitir la desceleración y almacenamiento de los vehículos que voltean a la izquierda al salir de un camino dividido, o bien, funciona como un carril de aceleración para los vehículos que hacen una vuelta izquierda para entrar a dicho camino. El caso más común de carriles de salida en la faja separadora central se muestra en la Fig. 12.35-A. Estos carriles de desceleración pueden ser parte de una intersección controlada con semáforos, en donde cada uno sirve como carril de almacenamiento y de descele-



- A -



- B -

Fig. 12.34 Diseños especiales de vueltas en "U"

ración, o también pueden usarse en aquellas intersecciones en donde el único control son las señales de alto para el tránsito del camino secundario.

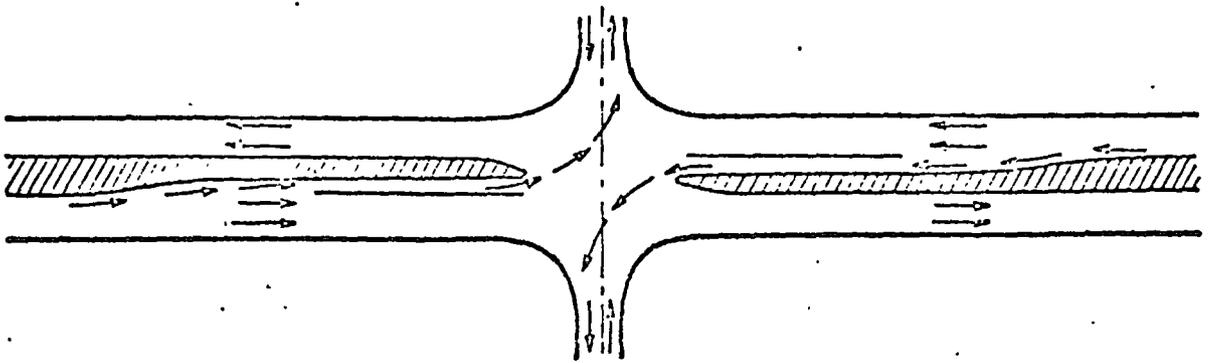
En la Fig. 12.35-B se muestra un diseño con carriles de aceleración. Su empleo es poco frecuente, pues solo se usa en aquellos casos en que exista un gran volumen de tránsito que por medio de la vuelta izquierda se incorpore al camino dividido.

En la Fig. 12.35-C se muestra una intersección con ambos tipos de carriles sobre la faja separadora central. Este arreglo hace menos expuestos los remates, pero tiene la desventaja de permitir al tránsito principal rebases peligrosos.

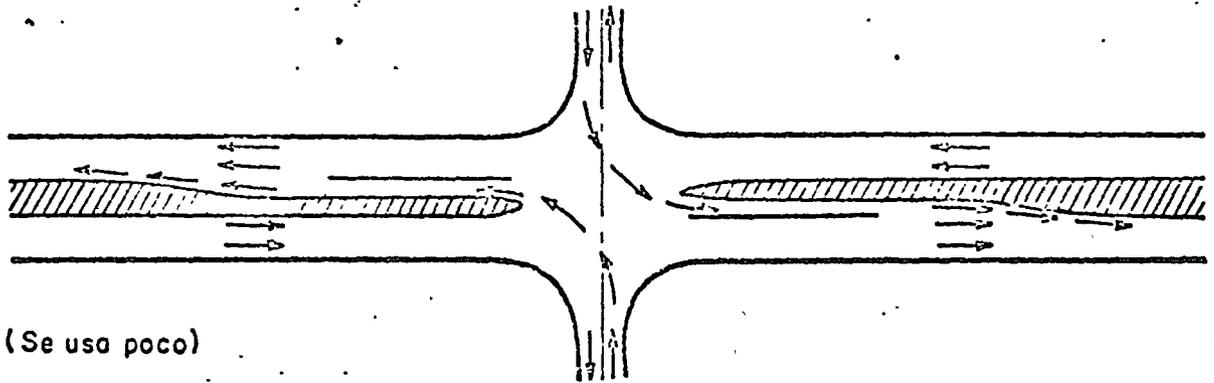
A.- Transición del carril en la faja separadora central.- Los carriles sobre la faja separadora se usan tanto para proteger a los vehículos que dan vuelta a la izquierda en aquellos lugares en donde los volúmenes y la velocidad del tránsito principal son altos como, en donde las velocidades son bajas y los cruces de los caminos secundarios son frecuentes.

Como se muestra en la Fig. 12.36 la transición deberá tener una longitud suficiente para permitir que los vehículos queden protegidos dentro del carril de la faja separadora central y evitar interferencias con el tránsito directo que usa el resto de la calzada.

La Fig. 12.36-A muestra el caso de transiciones formadas por curvas inversas simétricas en las que se considera que una longitud de 23 m. o más es la apropiada. Para bajas velocidades la transición (2) funcionará tal y como se desea y probablemente lo hará -

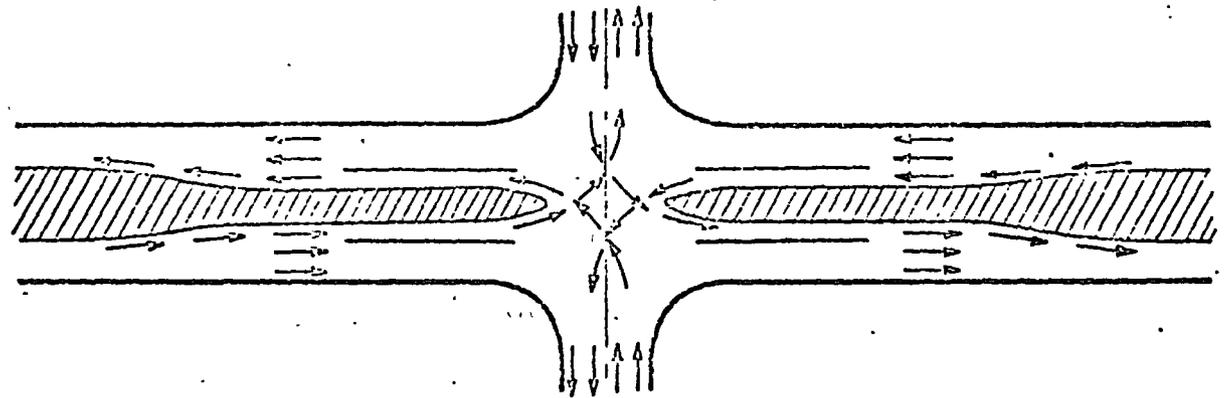


CARRILES EN LA FAJA SEPARADORA CENTRAL PARA VUELTA DE SALIDA
- A -



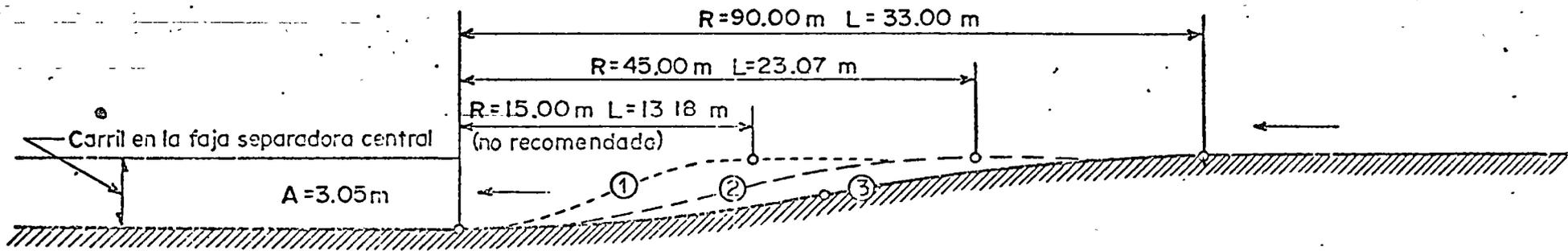
(Se usa poco)

CARRILES EN LA FAJA SEPARADORA CENTRAL PARA VUELTA DE ENTRADA
- B -

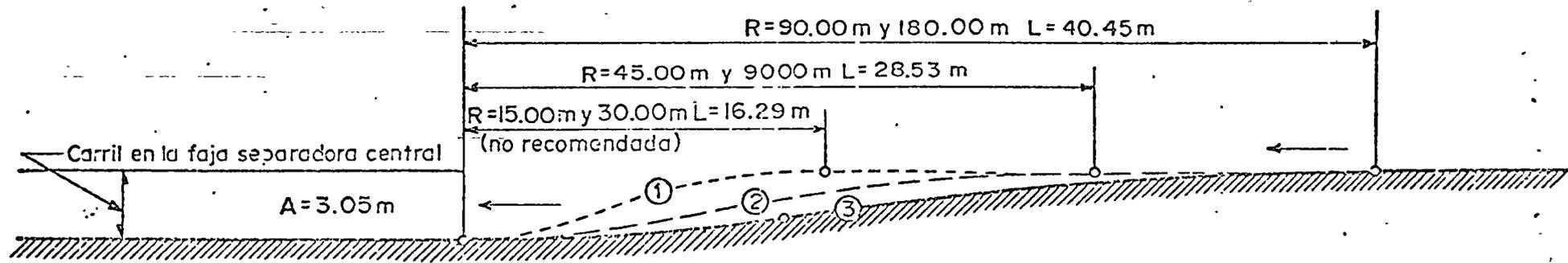


CARRILES EN LA FAJA SEPARADORA CENTRAL PARA VUELTAS DE ENTRADA Y SALIDA
- C -

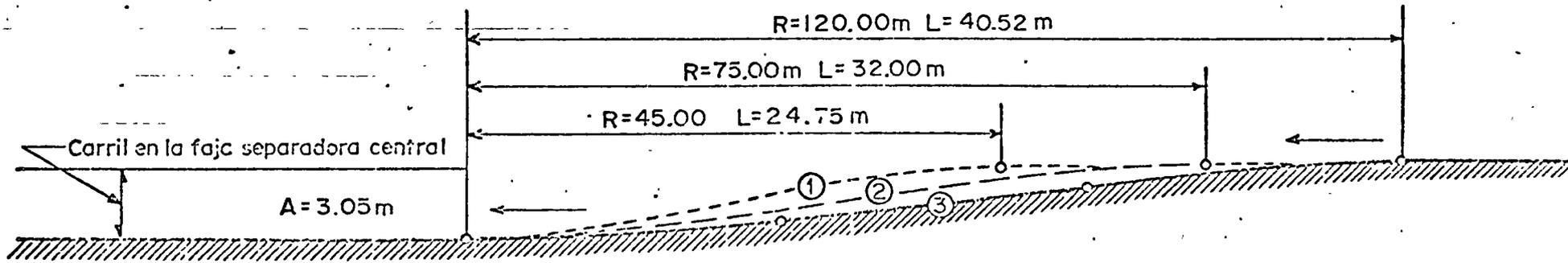
Fig. 12.35- Carriles en la faja separadora central



CURVA INVERSA SIMETRICA
- A -



CURVA INVERSA ASIMETRICA
- B -



TRANSICION CON TANGENTE INTERMEDIA
- C -

NOTA: Longitudes para proyecto
véase Tabla 12-J

Fig. 12.36 Transición del carril en la faja separadora central

también la transición (1), en cambio para altas velocidades funcionará mejor la transición (3) que la (2) pero requiere mayor longitud.

Una transición mejor que la anterior se logra con curvas inversas asimétricas tal como se muestra en la Fig. 12.36-8 en las que el radio de la primera curva es el doble que el de la segunda. Para este caso se considera que una longitud apropiada de la transición son 28.50 m. y su operación será semejante al caso anterior.

El uso de un tramo en tangente entre las curvas, Fig. 12.36-C, proporciona una transición más deseable que la de las curvas inversas unidas directamente. El tramo en tangente deberá tener aproximadamente un tercio de la longitud total.

B.- Anchura y longitud del carril adicional. Los carriles sobre la faja separadora central, Figs. 12.37 y 12.38, deberán tener cuando menos 3.05 m. y preferentemente 3.65 m. de ancho. Generalmente en el lado izquierdo del carril adicional existe una guarnición en cuyo caso, no es necesario proporcionar un ancho adicional para permitir a los conductores separarse de la guarnición, debido a la baja velocidad y a que los conductores van alerta cuando viajan en un carril auxiliar. Una anchura de 3.65 m. es deseable cuando en la faja central se tiene una guarnición del tipo vertical.

En casos especiales de intersecciones canalizadas controladas con semáforos, se pueden proyectar sobre la faja separadora central dos carriles. En este caso el ancho adicional deberá oscilar entre 7.50 y 8.25 m., como se muestra en la tabla 12-H para el caso III, con alineamiento en tangente y en su caso una ampliación pa-

ra guarnición vertical entre 0.30 y 0.60 m.

Los carriles sobre la faja separadora central, para movimientos de salida importantes, deberán proyectarse como un carril de cambio de velocidad; también sirven para almacenar vehículos que esperan completar su maniobra de vuelta, por lo que su longitud deberá ser suficiente para almacenar el número de vehículos que se espera arriben durante cualquier intervalo de tiempo, en el cual no pueda realizarse la vuelta izquierda. De preferencia, la longitud de almacenamiento deberá ser una adición a la longitud de cambio de velocidad, pero en ocasiones puede existir un traslapo razonable.

Como una guía para el cálculo de la longitud de almacenamiento requerida, puede tomarse un minuto como intervalo de tiempo en que la vuelta izquierda no pueda realizarse. Si se supone que N es el número de vehículos que dan vuelta izquierda en la hora máxima, entonces, el promedio de vehículos que llegan por minuto será $N/60$ y puede considerarse un máximo del doble o sea $N/30$. Ahora bien, si se considera una longitud de 7.50 m. para cada vehículo que llega a esperar una vuelta izquierda, se tendrá que la longitud de almacenamiento será:

Vehículos dando vuelta.

por hora (N) _____ 30 60 100 200 300

Longitud de almacenamiento

requerida, en m. _____ 7.50 15.00 25.00 50.00 75.00

En el diseño mínimo de un carril sobre la faja separadora central, para baja velocidad y frecuentes cruces pueden usarse las longitudes de transición que se muestran en la Fig.12.35, adicionándoles

las distancias de almacenamiento, anteriormente citadas. La longitud de estos diseños mínimos no corresponde a la que proporciona un carril para cambio de velocidad, por lo que se consideran como una forma de diseño del remate de la faja separadora, para proteger la vuelta izquierda de los vehículos.

C.- Remates para una faja separadora central reducida.- El tratamiento que se le dé a los remates en una abertura de la faja separadora central, cuyo ancho se ha reducido para introducir un carril adicional para vueltas, como se muestra en las Figs. 12.37 y 12.38, depende en gran parte del ancho disponible en la faja ya reducida.

En la mayoría de los casos, la faja separadora central reducida se protege con guarniciones para delinear la orilla del carril y sirve para separar los movimientos opuestos, para proporcionar espacio necesario para señales, indicadores, postes de iluminación y como refugio de peatones. La faja reducida debe tener cuando menos un ancho de 1.20 y preferentemente 1.80 m., con el remate en forma semicircular.

En las fajas separadoras centrales con una anchura de 4.85 m. o más, el extremo debe desplazarse hacia afuera del carril del tránsito principal de 0.60 a 1.80 m., con un ahusamiento gradual, para hacerlo menos vulnerable a los golpes, tal y como se indica en la Fig. 12.37-B.

Cuando la faja tiene 5.50 m. o más de ancho, Fig. 12.38-A el remate puede tener la forma de punta de bala con las ventajas que se han citado anteriormente. De preferencia, el desplazamiento del extremo debe ser mayor para los carriles del tránsito directo que

el correspondiente al carril auxiliar Fig. 12.38-B.

D.- Separación entre el carril adicional y el de tránsito directo.- Debe definirse una separación entre el carril auxiliar en la faja separadora central y el lado izquierdo del carril del tránsito directo con el fin de dividir los movimientos. La forma más simple consiste en pintar una raya continua entre estos carriles, como se muestra en las Figs. 12.37 y 12.38. Puede lograrse una división más efectiva colocando una línea de botones de tránsito. La raya o los botones deberá empezar donde se tiene el ancho total del carril adicional y, terminar en el extremo del remate de la faja separadora.

E.- Proyectos especiales de vueltas izquierdas.- Para los caminos de volúmenes y velocidades altas, es recomendable prohibir las vueltas izquierdas directas desde los carriles del camino principal, particularmente cuando la faja separadora central es angosta. Cuando los vehículos reducen su velocidad sobre el camino principal, se ha observado una alta incidencia de accidentes, ya que el tránsito principal alcanza a los vehículos parados o que han reducido su velocidad para efectuar la vuelta izquierda.

En la Fig. 12.39 se muestra un diseño que permite las vueltas izquierdas a través de un enlace separado que conecta el camino principal con el secundario que lo cruza. El diseño de este tipo tiene la ventaja de evitar las vueltas izquierdas directas desde el camino principal, permitiendo a los vehículos salir sobre el lado derecho. Los vehículos que van a dar la vuelta izquierda, están en posibilidad de cruzar los carriles del camino principal, con un poco de recorrido extra. A través del uso de este tipo de di-

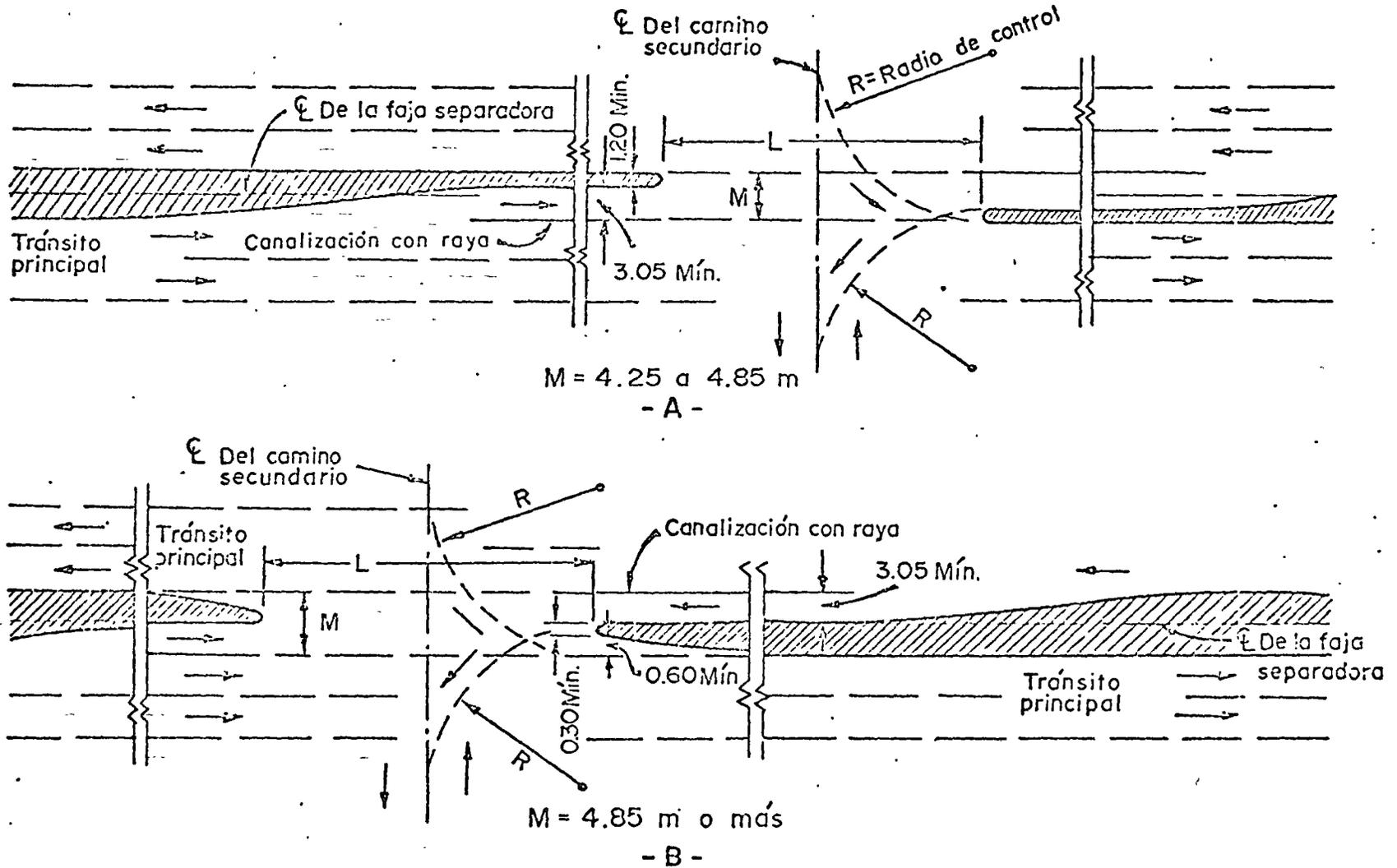


Fig. 12.37 Diseños mínimos de carril en la faja separadora central

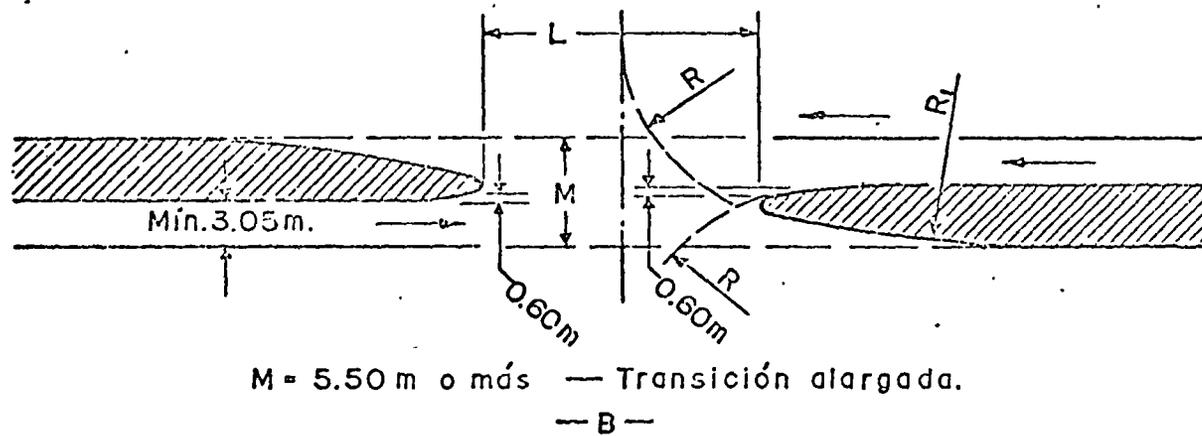
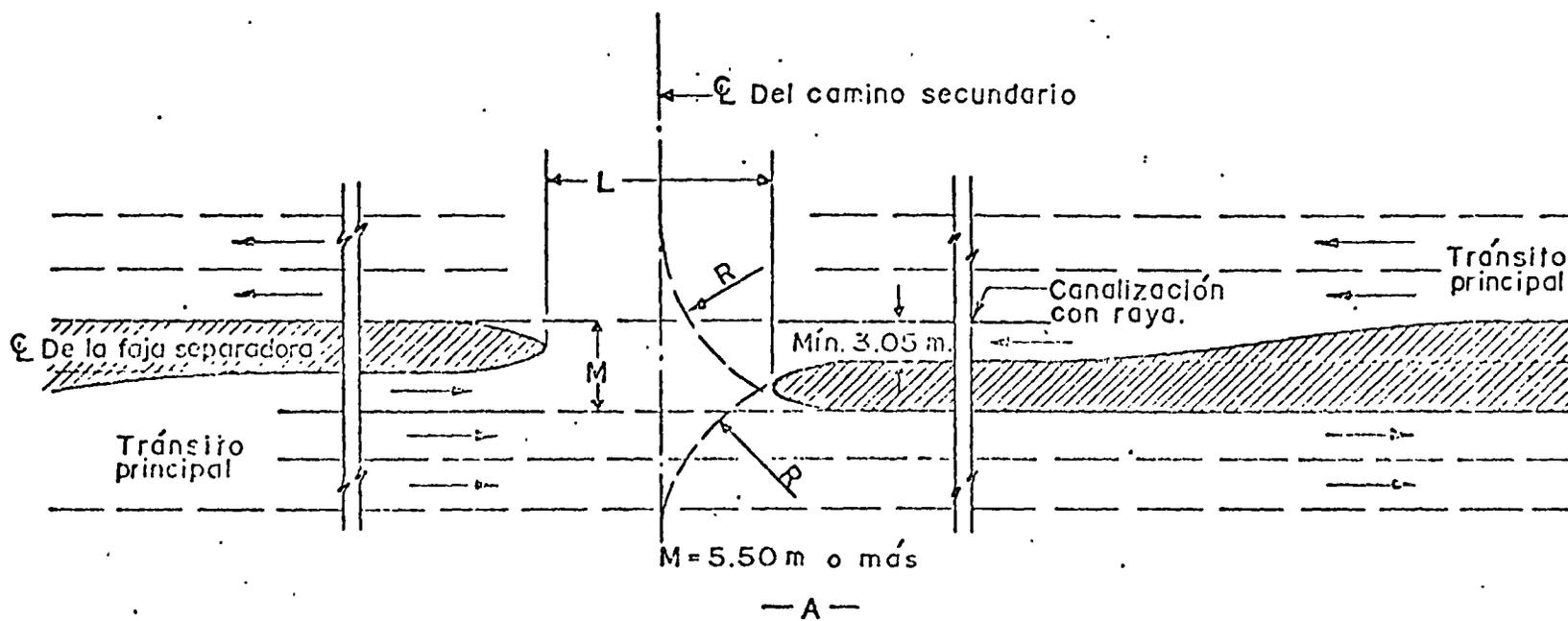


Fig.12.38 Diseños de carril en la faja separadora central con remate en forma de punta de bala

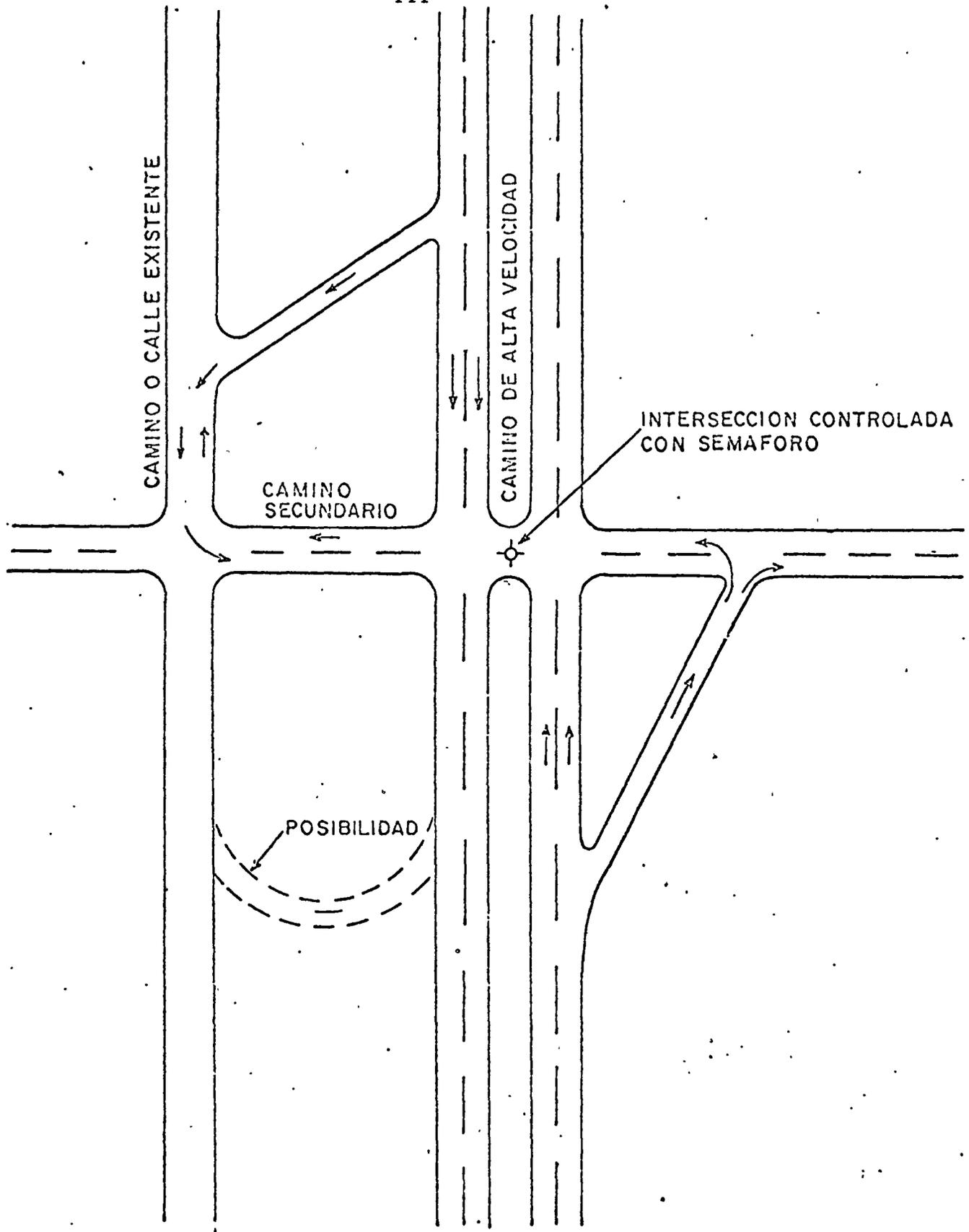


Fig.12.39 Diseño especial de vuelta izquierda para el transito que deja una carretera con faja separadora angosta

seño se ha apreciado una reducción de accidentes en caminos de altos volúmenes de tránsito con cruces a nivel sobre todo cuando se tienen dispositivos de control del tránsito.

12.4.4 Relaciones Velocidad-Curvatura.

Tal como se indicó en el inciso 12.4.1 los vehículos que dan vuelta en las intersecciones proyectadas con dimensiones mínimas, tienen que circular a bajas velocidades, tal vez menores de 15 Km/h. Lo deseable, sería proyectar para que los vehículos circularan a velocidades más altas pero en la mayoría de los casos de intersecciones a nivel, por seguridad y economía es necesario proyectar para velocidades bajas. Las velocidades para las cuales deben proyectarse las curvas de una intersección, dependen en gran parte, de las velocidades de los vehículos en los caminos que se intersectan, del tipo de la intersección, de los volúmenes del tránsito directo y del que da vuelta. Generalmente, una velocidad deseable en las curvas de la intersección, es la velocidad de marcha que llevan los vehículos en los caminos que se intersectan. Los enlaces proyectados con esta velocidad presentan pocos obstáculos a la fluidez del tránsito y pueden justificarse en algunas intersecciones para vueltas en que no existan conflictos con peatones o con vehículos de otra corriente de tránsito.

Las curvas en las intersecciones no deben ser consideradas de la misma categoría que las de un camino abierto, pues los conductores en una intersección aceptan mayores coeficientes de fricción lateral que los que tendrían en camino abierto por darse cuenta de las condiciones críticas del lugar.

A.- Radios mínimos para curvas en intersecciones.- En la Fig. 12.40 están indicados los resultados de los estudios efectuados acerca

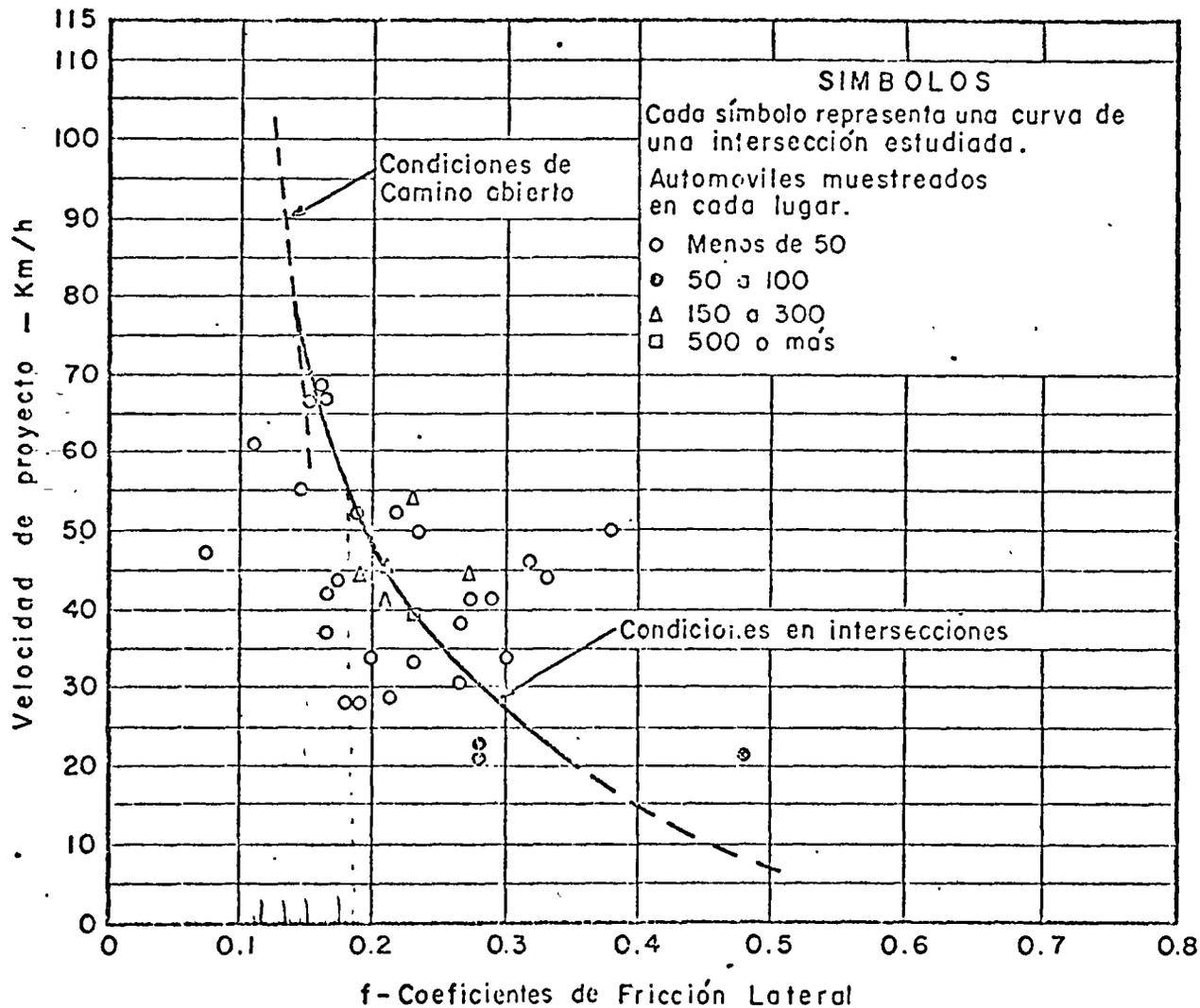


Fig. 12.40 Relacion entre velocidad de proyecto y coeficiente de friccion lateral en intersecciones.

de las relaciones velocidad-curvatura. Para el análisis de estos datos, se supone que el 95 percentil de la velocidad del tránsito, representa aproximadamente la velocidad de proyecto, la cual corresponde generalmente a la velocidad adoptada por el grupo de conductores que viaja más rápido. En la figura se indican los coeficientes de la fricción lateral tomando en cuenta la sobreelevación, obtenidos en treinta y cuatro curvas distintas. Como resultado de estos estudios se obtuvo una curva representativa de los muestreos realizados que indica la relación entre la velocidad de proyecto y los coeficientes de fricción lateral. Esta curva tiene la particularidad de que a velocidades de 70 Km/h. se hizo coincidir con los valores empleados en camino abierto y están mostrados con línea interrumpida en la parte superior izquierda de la figura. Si se considera el valor antes citado como límite para altas velocidades y el coeficiente de 0.5 como límite para bajas velocidades, se habrá determinado la curva que relaciona la velocidad de proyecto con los coeficientes de fricción lateral en las intersecciones.

Con esta relación establecida y suponiendo la sobreelevación que puede tener la curva, se calcula el radio mínimo para varias velocidades de proyecto. Obviamente a diferentes sobreelevaciones corresponden radios diferentes, para una velocidad de proyecto y coeficientes de fricción lateral dados. Para el proyecto de una curva en una intersección es deseable establecer un radio mínimo para cada velocidad de proyecto. Esto se logra suponiendo igualmente una sobreelevación mínima en cada caso. Si se proporciona una sobreelevación mayor que la mínima, los conductores podrán manejar en las curvas más rápido o bien más confortablemente, debido a la fricción lateral menor.

La sobreelevación mínima que se toma para propósitos del cálculo varía desde cero para una velocidad de 25 Km/h., hasta 0.09 para una ve-

locidad de 60 Km/h. Empleando estos valores y los coeficientes de fricción lateral de la Fig. 12.40, se calculan los radios mínimos para curvas en intersecciones, operando los vehículos a la velocidad de proyecto. Estos valores se muestran en la tabla 12.E.

Los radios mínimos recomendados en la tabla 12.E. deben usarse para el diseño de la orilla interna de la calzada y no para el centro de la trayectoria del vehículo o el eje de la vía.

Los radios mínimos de la tabla 12.E están representados por la línea continua más gruesa a la izquierda de la Fig. 12.41. La línea continua más delgada en la parte superior derecha, muestra la relación entre la velocidad de proyecto y el radio mínimo en camino abierto, empleando los valores de μ mostrados en la parte superior izquierda. La unión de las líneas gruesa y delgada indica que en las curvas de intersecciones se alcanzan las condiciones de camino abierto cuando la curvatura es tan suave que permite velocidades entre 60 y 80 Km/h.

Además de la velocidad de proyecto se usa la velocidad de marcha en la consideración de ciertos elementos del proyecto de la intersección. Los puntos indicados con cruces en la Fig. 12.41 son velocidades observadas en las mismas curvas de las intersecciones citadas anteriormente. La línea interrumpida con guiones largos, obtenida de esos estudios representa la velocidad de marcha en las curvas de las intersecciones. Esta curva, cruza la línea interrumpida de guiones cortos, la cual indica la velocidad de marcha para camino abierto.

12.4.5.- Curvas de transición.

Los vehículos que dan vuelta en las intersecciones lo hacen siguiendo trayectorias de transición en la misma forma que lo hacen en las

Velocidad de proyecto km/h	25	30	40	50	60	70
Coefficiente de fricción lateral (μ)	0.32	0.27	0.23	0.20	0.17	0.15
Sobreelevación (s)	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
Total $s + \mu$	0.32	0.29	0.27	0.26	0.25	0.25
Radio mínimo calculado (R), metros	15.33	24.36	46.52	75.48	113.40	153.86
Valores para proyecto						
Radio mínimo, metros	15	24	47	75	113	154
Grado máximo de curvatura	-	48	24	15	10	8

NOTA: Para velocidades de proyecto de 70 km/h o mayores, úsense valores para condiciones de camino abierto.

Fórmula empleada:

$$s + \mu = 0.00735 \frac{V^2}{R}$$

TABLA - 12.E Radios mínimos para curvas en intersecciones

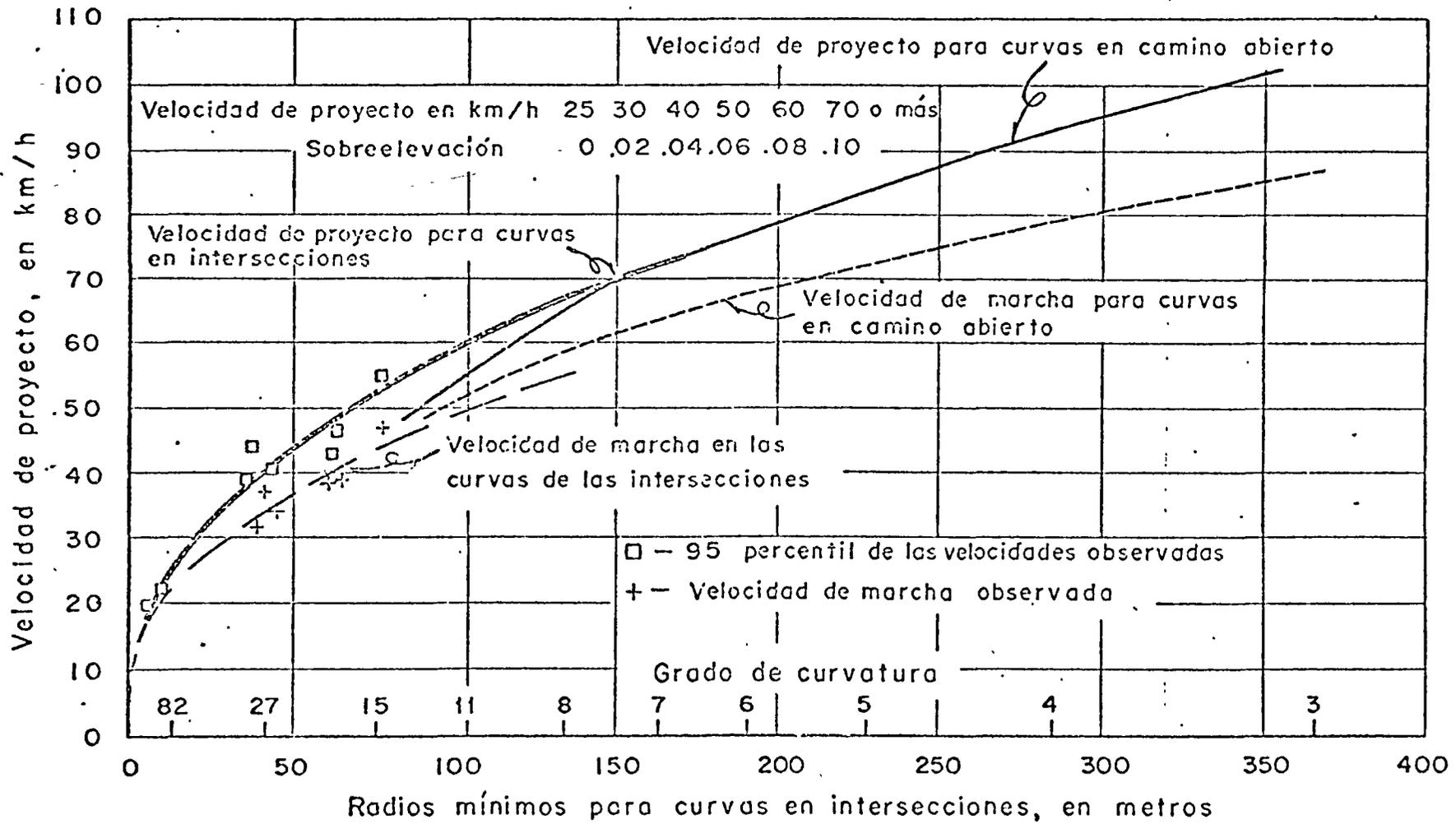


Fig. 12.41 Radios mínimos para curvas en intersecciones

curvas de camino abierto. Si no se proyectan las curvas adecuadamente, los conductores pueden desviarse de su trayectoria e invadir el carril adyacente o el acotamiento. Las curvas de transición que mejor se ajustan a las trayectorias naturales son las curvas espirales las cuales se proyectan entre una tangente y un arco circular o bien entre dos arcos circulares de radios distintos. También pueden utilizarse curvas circulares compuestas ajustadas a las trayectorias de transición. Los tramos en transición se aprovechan para hacer el cambio de la sección transversal normal a la sección transversal sobreelevada.

A.- Longitud de la espiral de transición.- La longitud de la espiral en intersecciones se determina de la misma manera que en las curvas de camino abierto. En las intersecciones, la longitud de las espirales puede ser menor debido a que los conductores aceptan cambios más rápidos en la dirección del viaje. Es decir, que la aceleración centrípeta C , en curvas de intersecciones, puede ser mayor que en las curvas de camino abierto en las cuales se aceptan valores que varían entre 0.30 y 0.90 m/seg^3 . En curvas de intersecciones se supone que C , varía desde 0.75 m/seg^3 , para 80 km/h hasta 1.25 m/seg^3 para 30 km/h . Aplicando estos valores en la fórmula de Shortt, se obtuvieron las longitudes de espirales para curvas en intersecciones que se indican en la tabla 12-F. Los valores que se muestran son para los radios mínimos correspondientes a la velocidad de proyecto.

TABLA 12.F

LONGITUDES MINIMAS DE ESPIRALES PARA CURVAS DE INTERSECCIONES.-

Velocidades de pro yector en la curva, Km/h.	25	30	40	50	60	70
Radio mínimo, m.	15.0	24.0	47.0	76.0	113.0	154.0
C supuesto, m/seg ³	1.30	1.25	1.15	1.05	0.95	0.85
Longitud de espi- ral calculada, m.	17.2	19.3	25.4	33.6	43.1	56.2
Longitud min. de - espiral recomenda- ble m.	17	19	25	34	43	56
Desplazamiento de- la curva circular- respecto a la tan- gente en m.	0.81	0.64	0.57	0.62	0.68	0.85

Nota.- Las longitudes de las espirales se determinan de la misma manera que para camino abierto.

Las espirales pueden usarse ventajosamente entre dos arcos circulares de radios muy distintos. En este caso la longitud de la espiral puede obtenerse de la tabla 12.F, usando el radio equivalente a la diferencia de los grados de curvatura de los arcos. Por ejemplo: dos curvas que van a unirse por medio de una espiral, tienen curvaturas de 5 y 14 grados o radios de 229.16 y 81.85 m., respectivamente. La diferencia de grados de curvaturas es de 9 grados, la cual corresponde a un radio de 127.32 m. (1) Este ra-

$$(1) \quad R = \frac{180^\circ \times 20m}{\pi G} = \frac{1145.92}{G} = 127.32 \text{ m.}$$

dio es un valor intermedio entre 113.00 m. y 154.00 m. de la tabla 12-F, para el cual resulta interpolando, una longitud de espiral mínima de 48 m., aproximadamente.

B.- Curvas circulares compuestas.- Las curvas circulares compuestas son apropiadas para dar la forma que se desea a las curvas en los enlaces de las intersecciones. El uso de curvas compuestas en camino abierto, se ha limitado a que la relación de los radios - más grandes a los más cortos sea como máximo de 1.5. En las intersecciones, donde los conductores aceptan cambios más rápidos de dirección y velocidad, esta relación puede llegar a ser 2. Una relación máxima deseable es de 1.75. Cuando la relación sea mayor de 2, deberá intercalarse entre las dos curvas, un espiral de longitud adecuada o un arco circular de radio intermedio. En los diseños mínimos en los cuales se ha considerado que la curvatura de la orilla interna de la calzada se ajusta a la trayectoria mínima de los vehículos de proyecto, esta recomendación no es válida puesto que se aceptan para estos casos relaciones más grandes como se muestra en las Figs. 12.20 a 12.22 y 12.25.

Las curvas compuestas no deben ser muy cortas para no hacer peligrosa su función de permitir la operación de cambio de una tangente o curva suave a una curva forzada.

En una serie de curvas, cuyos radios van disminuyendo, cada curva debe tener la suficiente longitud para permitir al conductor desacelerar gradualmente. En las intersecciones se considera razonable una desaceleración de 5 Km/h., por segundo, aunque la deseable es de 3 Km/h., por segundo. Sobre esta base, en la tabla 12.6 se indican las longitudes mínimas, usando las velocidades de marcha,

como se muestra en la Fig. 12.41. Las longitudes mínimas están basadas en desaceleraciones de 5 Km/h por segundo, y las deseables en 3 Km/h por segundo. Para este último valor se requiere emplear muy poco los frenos del vehículo, ya que el frenar con el motor equivale a reducciones de 1.6 y 2.2 Km/h por segundo aproximadamente.

TABLA 12.6

LONGITUD DE ARCOS CIRCULARES DE UNA CURVA COMPUESTA CUANDO ESTA SEGUIDA DE UNA CURVA DE RADIO IGUAL A LA MITAD, O PRECEDIDA DE UNA CURVA DE RADIO IGUAL AL DOBLE.

Radio, m.	30	45	60	75	90	120	150 ó más
Longitud del arco circular:							
Mínima, m.	12	15	18	24	30	35	42
Deseable, m.	18	21	27	36	42	54	60

Los valores indicados en la tabla 12.6 se obtuvieron considerando que la trayectoria del viaje es en la dirección de la curva más pronunciada, también son aplicables para la condición de aceleración, cuando la dirección del viaje es de la curva forzada a la más suave.

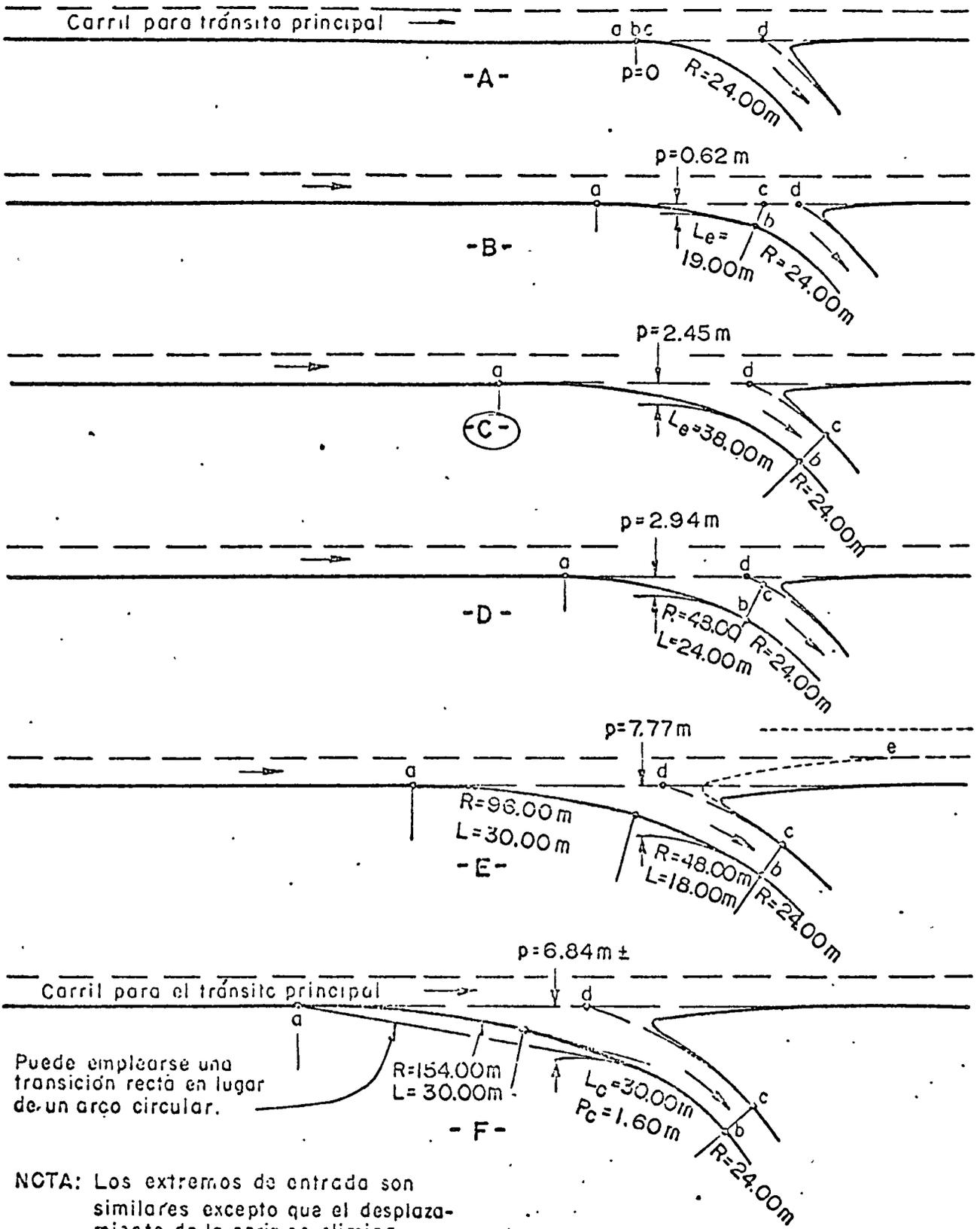
C.- Transiciones en los extremos de los enlaces.- Una parte importante en el diseño de las intersecciones es proporcionar un alineamiento adecuado de la orilla de la calzada en donde los extremos del enlace, se separan de o se juntan con las ramas de la intersección.

La facilidad y la suavidad de la operación resulta cuando la ori-

lla de la calzada se proyecta con curvas de transición de la forma y longitud necesaria para evitar una deceleración brusca de los vehículos antes de entrar al enlace y para permitir el desarrollo de la sobreelevación antes de la curvatura máxima y para que los vehículos puedan seguir su trayectoria natural.

En las Figs. 12.42 y 12.43 se ilustran varias soluciones mediante curvas de transición aplicables al extremo de un enlace proyectado para velocidades de 30. y 50 Km/h., respectivamente y que sale de un camino. Conforme se aumenta el desplazamiento (p) de la tangente de la orilla de la calzada del camino a la curva de radio mínimo, se proporcionan progresivamente salidas más suaves y adecuadas. La trayectoria correspondiente a la curva circular simple de la Fig. 12.42-A mejora notablemente uniendo el extremo de la curva con la orilla de la calzada del camino por medio de una curva espiral de longitud mínima como se muestra en la Fig. 12.42-B. Sin embargo, esta pequeña espiral no proporciona la longitud necesaria para desarrollar gradualmente la sobreelevación que requiere la curva circular, debido a que la cuña del pavimento adicional, a - b - c, es demasiado pequeña. Duplicando la longitud mínima de la espiral, Fig. 12.42-C, el desplazamiento (p) aumenta a cerca de 2.50 m., el cual permite una mejor trayectoria y mayor área a - b - c - d para desarrollar la sobreelevación. Se pueden obtener resultados análogos aunque no siempre tan satisfactorios, con un arco circular de radio doble del mínimo, Fig. 12.42-D.

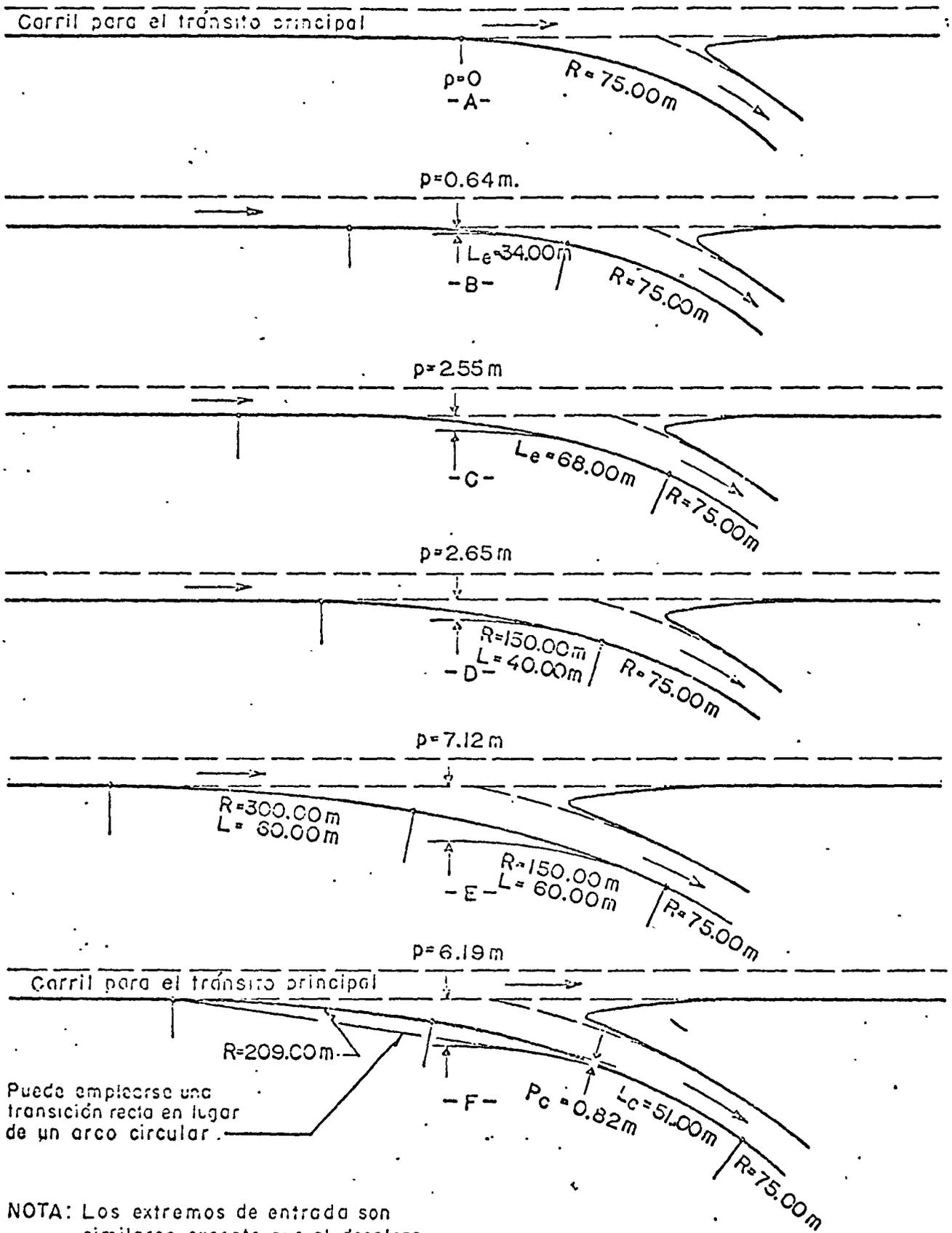
Todavía se puede obtener un mejor alineamiento empleando una curva compuesta, la Fig. 12.42-E. En este caso, la curva de 24.00 m. de radio es precedida de curvas de 48.00 y 96.00 m. de radio, cu-



Puede emplearse una transición recta en lugar de un arco circular.

NOTA: Los extremos de entrada son similares excepto que el desplazamiento de la nariz se elimina.

Fig. 12.42 Transiciones en los extremos de los enlaces
Diseños para 30 km/h



NOTA: Los extremos de entrada son similares excepto que el desplazamiento de la nariz se elimina.

Fig. 12.43 Transiciones en los extremos de los enlaces
Diseños para 50 km/h

yas longitudes son aproximadamente las mínimas indicadas en la tabla 12.6. Este tipo de salida requiere un espacio mayor, debido a que el desplazamiento (p) es mayor de 7.00 m. Este diseño es superior a los ejemplos anteriores porque proporciona un cambio más gradual en la salida, con un espacio para la desceleración del tránsito y una mayor superficie para desarrollar la transición de la sobreelevación. En la Fig. 12.42-F se muestra un tipo similar de salida, mediante una curva circular relativamente suave y una espiral entre esta curva y la de radio mínimo. El radio seleccionado para la curva inicial, corresponde a una velocidad de proyecto de 70 Km/h ó sea 40Km/h., más que la velocidad de la curva mínima de 24.00 m. de radio del enlace. Donde principia la espiral, se deberá tener un ancho aproximadamente igual al ancho de un carril.

Las Figs. 12.42-E y 12.42-F muestran el tipo de alineamiento que el proyectista deberá seguir en los lugares donde los movimientos de vuelta derecha deben canalizarse, especialmente cuando el tránsito sea intenso o se necesite acomodar vehículos largos. Cuando no sea factible aplicar estos diseños, deberán usarse alineamientos semejantes a los mostrados en las Figs. 12.42-C y 12.42-D. El diseño con un solo arco circular, como el de la Fig. 12.42-A, por regla general debe evitarse. La misma explicación general se aplica a la Fig. 12.43, en donde el enlace está proyectado por una velocidad de 50 Km/h.

En las Figs. 12.42 y 12.43 se ilustra el extremo de un enlace que se separa de una carretera, pero pueden aplicarse diseños semejantes para el extremo que se une al camino, excepto en lo que se re

fiere a la nariz, la cual para los extremos de entrada, no sufre desplazamientos en las orillas de la calzada.

En los diseños de las Figs. 12.42 y 12.43 se supone que una parte o todos los cambios necesarios de velocidad tienen lugar en el carril de tránsito principal. Los croquis mostrados también son aplicables cuando se añade un carril auxiliar paralelo o de cambio de velocidad. Si el carril exterior es de desaceleración, la transición en la nariz, será como lo muestra la línea punteada en la Fig. 12.42-E, haciéndose la unión con la orilla de la calzada del carril de tránsito principal en el punto "e".

Una solución alterna en el diseño de los extremos sería utilizar una línea recta en lugar de un arco circular, para unir la orilla del carril del tránsito principal con la curva desplazada de radio mínimo como se ilustra en la Fig. 12.42-F. Esta disposición requiere mayor superficie de pavimento, pero proporciona un cambio de dirección y una desaceleración gradual al salir de los carriles del tránsito principal.

12.4.6 Ancho de la calzada en los enlaces.

Los anchos de la calzada en los enlaces dependen de una serie de factores, entre los cuales están incluidos como principales: el volumen del tránsito y su composición, las características geométricas de los vehículos de proyecto, los grados de curvatura, el tipo de operación que se tendrá en los enlaces y algunas consideraciones con respecto a la distancia entre el vehículo y las orillas de la calzada.

Para fines de proyecto se consideran los siguientes tipos de operación:

- I) Operación en un solo sentido, con un solo carril y sin previsión para rebase.

- II) Operación en un solo sentido, con un solo carril y con previsión de rebase a vehículos estacionados.
- III) Operación en uno o en dos sentidos de circulación y con dos carriles.

Las condiciones anteriores se ilustran en la Fig. 12.44.

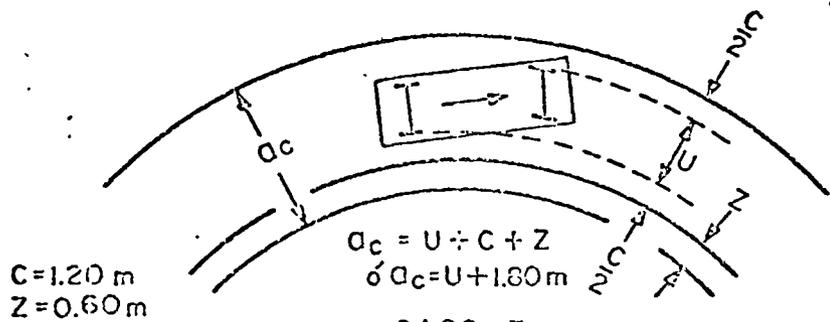
El caso 1) puede aplicarse para enlaces relativamente cortos siempre que los volúmenes de tránsito sean moderados o bajos.

El proyecto para el caso II), permite rebasar a los vehículos estacionados, el espacio aún cuando es restringido permite la circulación, que ha de realizarse a velocidades bajas; se recomienda para volúmenes que no excedan la capacidad de un solo carril.

Los anchos del caso III) se emplean cuando la operación es en dos sentidos, o cuando el volumen de tránsito es tan intenso que requiere de dos carriles para un solo sentido.

En el cálculo de la anchura de la calzada en curva (a_c) intervienen los siguientes elementos:

- EV = entrevía, (m)
- U = distancia entre las trayectorias extremas de las ruedas del vehículo dentro de la curva, (m)
- RG = radio de giro de la rueda delantera externa, (m)
- DE = distancia entre ejes del vehículo, (m)
- FA = proyección del vuelo delantero, (m)
- R = radio de la orilla interna de la calzada, (m)
- Fg = proyección del vuelo trasero, (m)
- V = velocidad de proyecto, Km/h
- C = distancia libre entre vehículos, (m)
- Z = ancho adicional por dificultad de maniobra, (m)

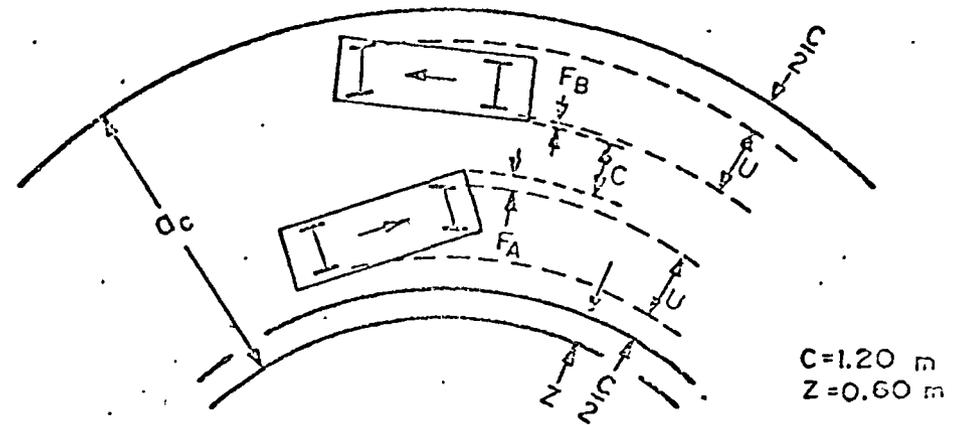


$$a_c = U + C + Z$$

$$\text{ó } a_c = U + 1.80 \text{ m}$$

— CASO I —

OPERACION EN UN SOLO SENTIDO, CON UN SOLO CARRIL Y SIN PREVISION PARA REBASE



$$a_c = 2(U + C) + F_A + F_B + Z \text{ ó}$$

$$a_c = 2U + F_A + F_B + 3.00 \text{ m}$$

— CASO III —

OPERACION EN UNO O EN DOS SENTIDOS DE CIRCULACION Y CON DOS CARRILES

U = Distancia entre las trayectorias extremas de las ruedas del vehículo dentro de la curva, (m)

F_A = Proyección del vuelo delantero, (m)

F_B = Proyección del vuelo trasero, (m)

C = Distancia libre entre vehículos, (m)

Z = Ancho adicional por dificultad de maniobra, (m)



$$a_c = 2(U + C) + F_A + F_B \text{ ó}$$

$$a_c = 2U + F_A + F_B + 1.20 \text{ m.}$$

— CASO II —

OPERACION EN UN SOLO SENTIDO, CON UN SOLO CARRIL Y CON PREVISION DE REBASE A VEHICULOS ESTACIONADOS

NOTA: En las fórmulas para los casos II y III si el vehículo rebasado es de diferente tipo, $2U$ se convertirá en $U_1 + U_2$.

Fig. 12.44 Ancho de la calzada en los enlaces

A continuación se definen brevemente cada uno de estos elementos dando en su caso una expresión para obtenerlas.

Entrevía (EV) es la distancia entre las caras externas de las ruedas traseras. Su valor depende del vehículo de proyecto seleccionado.

El ancho de la rodada en curva (U), se mide entre la trayectoria de la rueda delantera exterior y la de la rueda trasera interior, entre caras externas de las llantas, su valor depende del vehículo de proyecto seleccionado. Su determinación numérica está basada en la expresión siguiente:

$$U = EV + R_G - \sqrt{R_G^2 - DE^2}$$

La ecuación anterior se aplica únicamente a los vehículos formados por una sola unidad; los valores correspondientes para los semiremolques se obtienen de modelos a escala. Los valores para los diferentes tipos de vehículos y para diferentes radios de giro se muestran en las curvas de la Fig. 12.45.

Los valores para el radio de giro mínimo y la distancia entre ejes se obtienen para los diferentes vehículos de proyecto de la tabla 6-E mostrada en el capítulo VI referente a Elementos Básicos para el Proyecto.

La proyección del vuelo delantero (F_A) es la distancia radial entre la cara externa de la rueda delantera exterior y la trayectoria del borde delantero exterior de la carrocería. Sus valores para los diferentes vehículos de proyecto y diferentes radios de giro de la rueda delantera externa, se muestran en las curvas de la Fig. 12.46.

La proyección del vuelo trasero (F_B) es la distancia radial entre la cara externa de la rueda trasera interna y el borde trasero interior

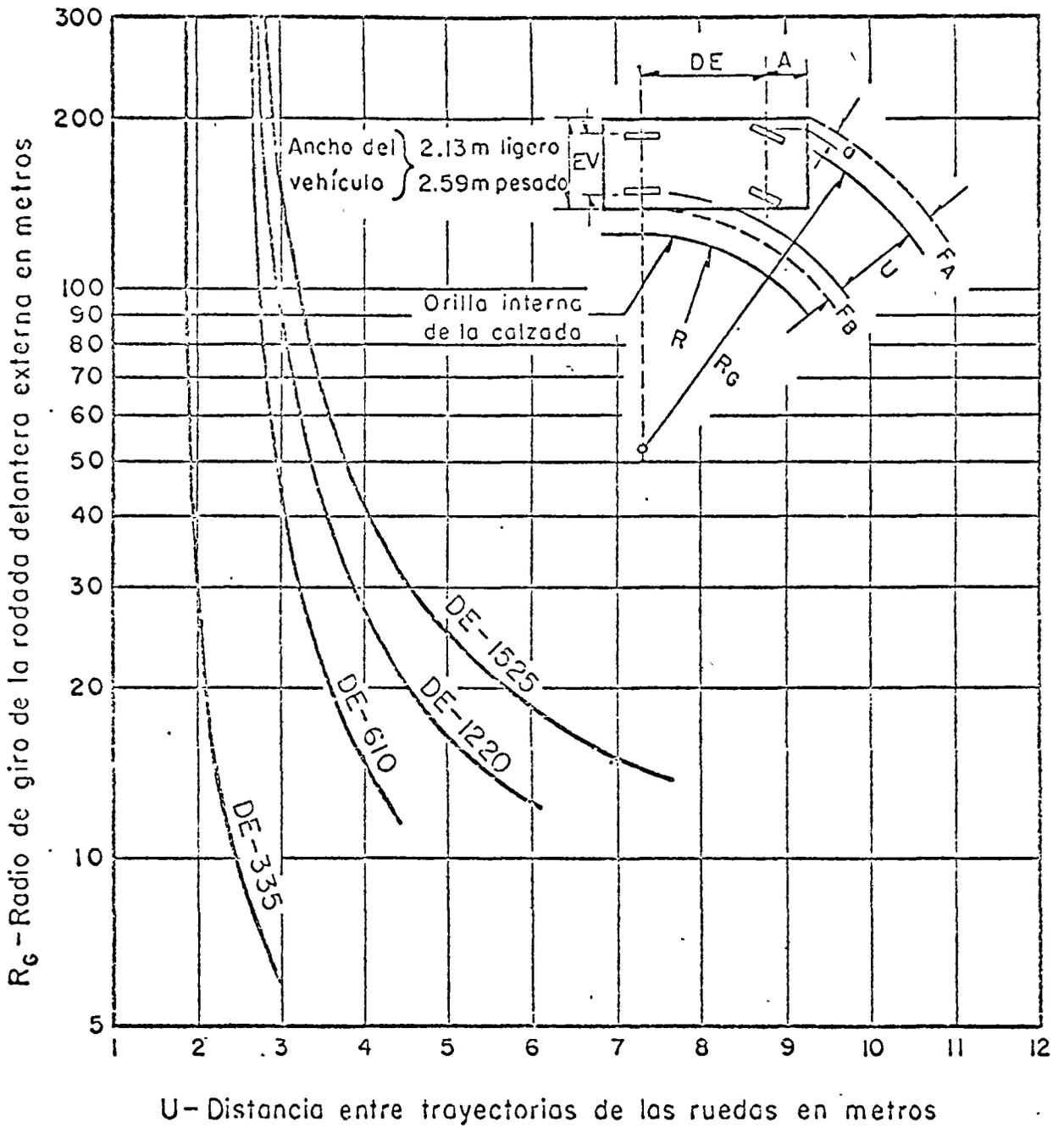


Fig.12.45 Distancia entre las trayectorias externas de las ruedas del vehículo dentro de la curva

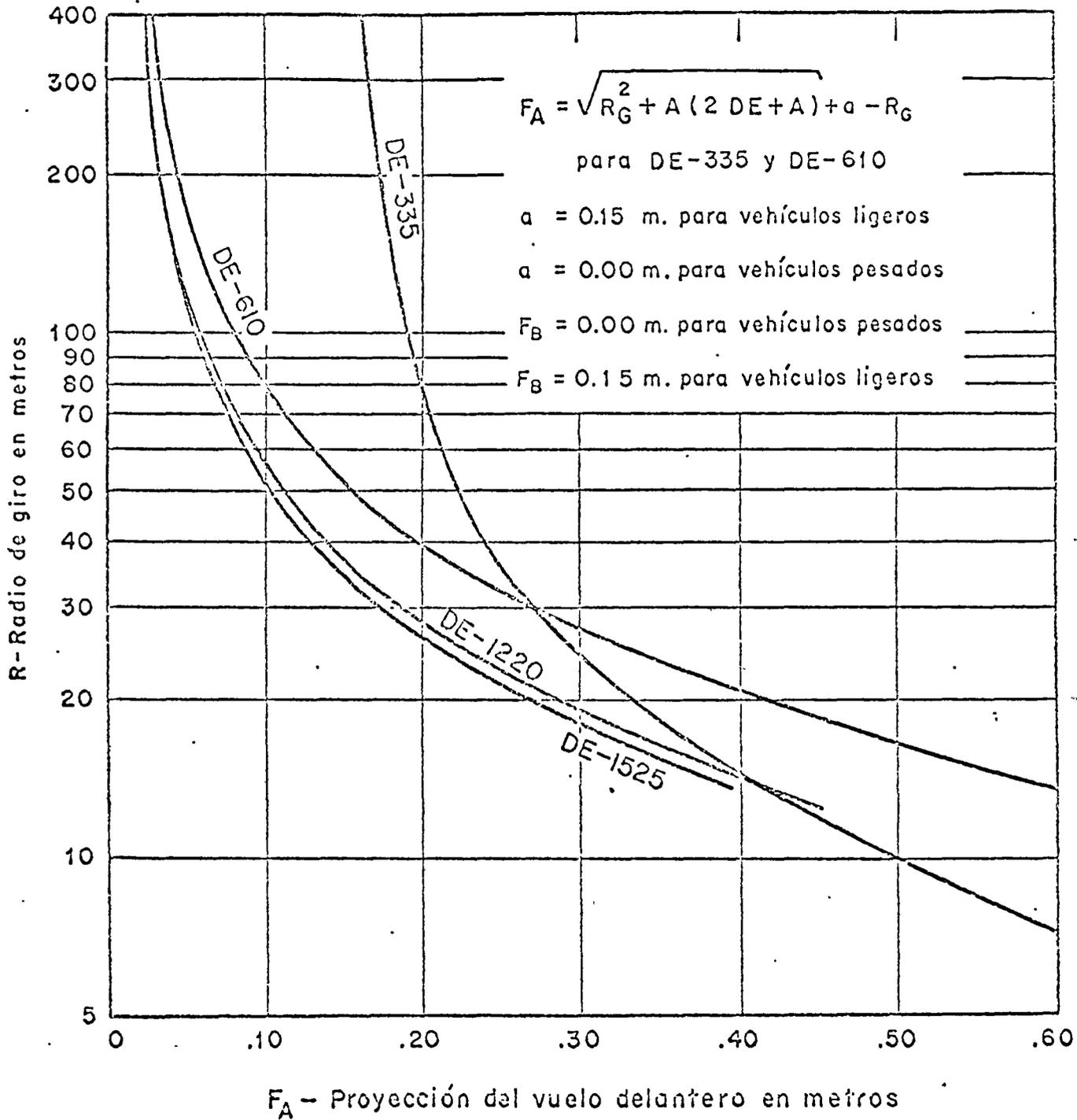


Fig.12.46-Proyección del vuelo delantero del vehículo

de la carrocería. En los automóviles la carrocería es 0.30 m. más ancha que la distancia entre caras externas de las ruedas traseras, por lo que F_B es igual a 0.15 m. En cambio en los camiones el ancho de la carrocería es el mismo que la entrevía de donde $F_B = 0$. Estos valores aparecen en la esquina superior derecha de la Fig. 12.45.

El ancho adicional por dificultad de maniobra (Z) proporciona una tolerancia para las distintas formas de manejar de los conductores. Se mide radialmente y se aplica en la orilla interior de la calzada conservándose uniforme en toda la curva. Su valor se obtiene a partir de la siguiente expresión empírica:

$$Z = \sqrt{\frac{0.10 V}{R}}$$

en donde:

Z y R en metros y

V en Km/h.

Para los valores de V y R empleados usualmente en intersecciones, Z es un valor casi constante de 0.60 m.

La velocidad (V) y el radio (R) están ligados entre sí y sus valores de proyecto se trataron en el inciso 12.4.4.

La distancia libre entre vehículos (C) es la separación entre las carrocerías de los vehículos que se encuentran o rebasan. Su valor para proyecto es igual o mayor de 1.20 m.

Los anchos de calzada para cada uno de los casos de operación, se denominan ($^a c$). En la figura 12.44 se muestran las fórmulas para obtener ($^a c$) y los valores de los factores que intervienen, para cada caso de operación. Para el caso I no se consideran las salientes de la carrocería ni la separación entre vehículos, puesto que no hay rebases ni encuentros. La maniobra de rebaso en el caso II, es una maniobra ocasional que sucede únicamente cuando algún vehículo debe detenerse por una

situación de emergencia; es por ello que se elimina el valor de Z, y el valor de C empleado es la mitad que el utilizado para los casos I y III; o sea 0.60 m. En el proyecto correspondiente al caso III se emplean los valores normales, Z = 0.60 m., C = 1.20 m. y F_A, F_B y U los correspondientes al vehículo o vehículos de proyecto.

Independientemente del tipo de operación para el cual se ha decidido proyectar, de acuerdo con las condiciones esperadas, es necesario conocer el tipo de vehículos que operarán en el enlace antes de determinar el ancho de la calzada. Para fines de proyecto se analizan tres condiciones de tránsito, las cuales se describen a continuación:

Condición de Tránsito A: predominantemente vehículos de proyecto-DE-335, pero con algunos camiones DE-610.

Condición de Tránsito B: un número suficiente de vehículos DE-610 como para gobernar el proyecto, pero con algunos semiremolques.

Condición de Tránsito C: suficientes vehículos DE-1220, ó DE-1525 para gobernar el proyecto.

Las condiciones de Tránsito A, B y C están descritas en términos muy generales debido a que usualmente no se dispone de los datos de tránsito de cada tipo de vehículos, que permitan definir con precisión estas condiciones de tránsito en relación con el ancho de la calzada.

Para fines de proyecto se supone un tipo ó tipos de vehículos por cada caso de operación en combinación con las diferentes condiciones de tránsito. Los tipos seleccionados se presentan en la siguiente tabla:

CASO DE OPERACION.	CONDICIONES DE TRANSITO.		
	A	B	C
Caso I	DE-335	DE-610	DE-1220
Caso II	DE-335 - DE-335	DE-335 - DE-610	DE-610 - DE-610
Caso III	DE-335 - DE-610	DE-610 - DE-610	DE-1220 - DE-1525

La combinación de vehículos por ejemplo DE-335 - DE-610 para el caso II y condición de tránsito B, significa que un vehículo DE-335 puede rebasar a un vehículo DE-610, ó viceversa.

El hecho de proyectar para un cierto vehículo no necesariamente imposibilita el paso de un vehículo de mayores dimensiones, aunque reduce su velocidad de operación y su libertad de maniobra, requiriéndose una mayor habilidad del conductor. En la siguiente tabla se muestran los vehículos más grandes que pueden circular por los enlaces, de acuerdo con los vehículos de proyecto empleados para cada combinación de caso de operación y condición de tránsito mostrados en la tabla anterior:

CASO DE OPERACION	CONDICIONES DE TRANSITO		
	A	B	C
Caso I	DE-1220	DE-1220	DE-1525
Caso II	DE-335 - DE-610	DE-335 - DE-1220	DE-610 - DE-1525
Caso III	DE-610 - DE-1220	DE-1220 - DE-1220	DE-1525 - DE-1525

En la tabla 12.H se dan los valores de proyecto para las anchuras de calzada necesarias para cada caso de operación-condición de tránsito. En la parte inferior de la tabla, se incluye una serie de recomendaciones para modificar el ancho de la calzada de acuerdo con el tratamiento lateral que se da a los enlaces.

La anchura de la calzada se modifica dependiendo de que exista acotamiento así como de la libertad para circular sobre él. En ocasiones puede llegar a reducirse o aumentarse, tal como se indica en la parte inferior de la tabla 12.H.

En algunas intersecciones canalizadas, los enlaces son tan cortos, que su orilla izquierda la constituye la orilla de la isleta direccional, los anchos adicionales, necesarios para el enlace, se tratan en lo referente a isletas.

R Radios de la orilla interna de la calzada, metros	ANCHO DE CALZADA EN METROS								
	CASO I			CASO II			CASO III		
	Operación en un sólo sentido, con un sólo carril y sin previsión para el rebase.			Operación en un sólo sentido, con un sólo carril y con previsión para el rebase a vehículos estacionados.			Operación en uno o dos sentidos de circulación, y con dos carriles.		
	CONDICION DE TRANSITO								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15.00	5.50	5.50	7.00	7.00	7.50	8.75	9.50	10.75	12.75
23.00	5.00	5.25	5.75	6.50	7.00	8.25	8.75	10.00	11.25
31.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.75	7.50	8.50	9.50	10.75
46.00	4.25	5.00	5.25	5.75	6.50	7.25	8.25	9.25	10.00
61.00	4.00	5.00	5.00	5.75	6.50	7.00	8.25	8.75	9.50
91.00	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	9.25
122.00	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	8.75
152.00	3.75	4.50	4.50	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	8.75
Tangente	3.75	4.50	4.50	5.25	5.75	6.50	7.50	8.25	8.25
Modificaciones al ancho de acuerdo con el tratamiento de las orillas de la calzada.									
Guarnición achafalada	NINGUNA			NINGUNA			NINGUNA		
Guarnición vertical:									
Un lado	Aumentar 0.30 m			NINGUNA			Aumentar 0.30m		
Dos lados	Aumentar 0.60 m			Aumentar 0.30m			Aumentar 0.60m		
Acotamiento, en uno o en ambos lados.	NINGUNA			Restar el ancho del acotamiento; Ancho mínimo de la calzada el del Caso I			Cuando el acotamiento sea de 1.20m o mayor, reducir 0.60 m		

Tabla. 12-H Ancho de calzada en los enlaces

En las intersecciones de caminos rurales el acotamiento del lado derecho del enlace, generalmente es igual al del camino de acceso a la intersección, aunque en ocasiones puede tener un ancho menor debido a condiciones especiales de la intersección.

12.4.7.- Carriles de cambio de velocidad.

Se llaman carriles de cambio de velocidad, aquellos que se añaden a la sección normal de una calzada, con el objeto de proporcionar a los vehículos el espacio suficiente para que alcancen la velocidad necesaria y se incorporen a la corriente de tránsito de una vía, o puedan reducir la velocidad cuando desean separarse de la corriente al acercarse a una intersección.

De acuerdo con esta definición, los carriles de cambio de velocidad pueden ser carriles de aceleración y carriles de desaceleración.

Los carriles de aceleración permiten, a los vehículos que entran a la vía principal de la intersección adquirir la velocidad necesaria para incorporarse con seguridad a la corriente de tránsito de la misma, proporcionando la distancia suficiente para realizar dicha operación sin interrumpir la corriente de tránsito principal.

Los carriles de desaceleración permiten a los vehículos, que desean salir de una vía, disminuir su velocidad después de haber abandonado la corriente del tránsito principal.

No pueden establecerse con precisión los requisitos que justifiquen el uso de carriles de cambio de velocidad por la cantidad de factores que deben considerarse, entre los principales se citan los siguientes: velocidad, volumen de tránsito, capacidad, tipo de camino y de servicio que debe proporcionarse, disposición y frecuencia de las intersec-

ciones e incidencia de accidentes; sin embargo de acuerdo con experiencias y observaciones se ha llegado a las siguientes conclusiones con relación a su empleo:

Se requieren carriles de cambio de velocidad en caminos de alta velocidad y de alto volumen de tránsito, en donde es necesario modificar la velocidad de los vehículos que se incorporan o dejan la corriente de tránsito principal.

No todos los conductores usan los carriles de cambio de velocidad de la misma manera y algunos conductores los utilizan poco, pero en general estos carriles son utilizados lo suficiente para mejorar la seguridad y la operación del camino.

El grado de utilización de los carriles de cambio de velocidad varía directamente con el volumen de tránsito; cuando los volúmenes de tránsito son altos la mayoría de los conductores los emplean para ejecutar sus cambios.

Los carriles de desaceleración en los accesos de intersecciones a nivel, que también funcionan como carriles de espera o almacenamiento para el tránsito que va a dar vuelta, son especialmente ventajosos, y en general la experiencia con ellos ha sido favorable. Estos carriles reducen el peligro de accidentes y aumentan la capacidad de la intersección. Un buen ejemplo de esto son los carriles adyacentes a la faja separadora central, los cuales proporcionan un lugar para los vehículos que esperan una oportunidad para dar vuelta, dejando así el carril o los carriles directos sólo para el tránsito que sigue de frente.

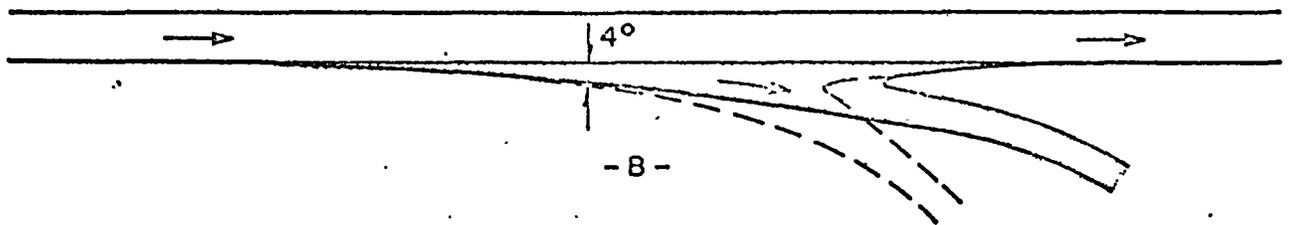
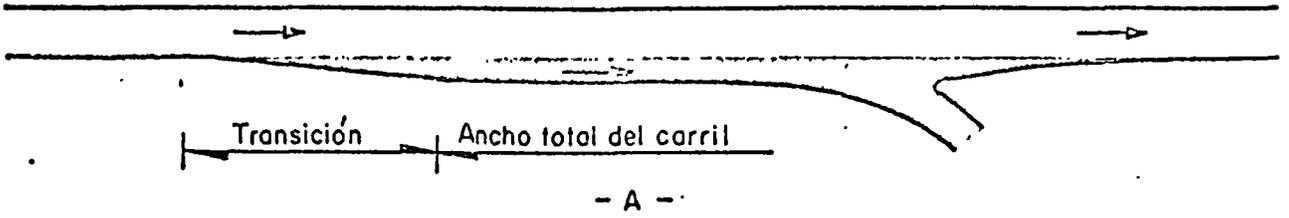
Los carriles de cambio de velocidad pueden tomar diferentes formas, dependiendo del alineamiento del camino, la frecuencia de las intersecciones, y las distancias requeridas para efectuar el cambio de velocidad.

Los carriles de desceleración deben proyectarse de tal manera que den al conductor una indicación clara del lugar en donde se separa de la corriente principal, lo que se logra tanto con superficie de pavimento de color contrastante como con señalamiento e iluminación. En la Fig. 12.47 se muestran algunos diseños típicos de los cuales dos pertenecen a carriles de desceleración.

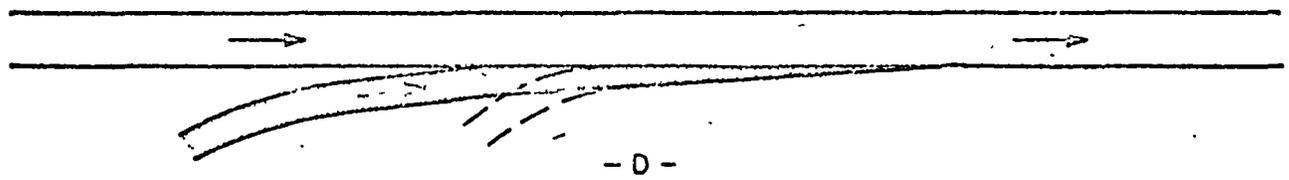
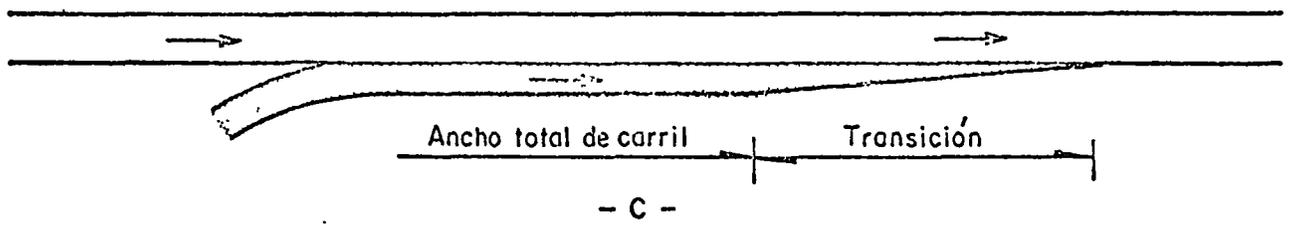
El croquis 12.47-A muestra un carril de desceleración, con una zona de transición que tiene por objeto eliminar la parte del carril que no se usa. Este tipo presenta desventaja para los conductores ya que los obliga a maniobrar siguiendo una curva inversa. La mayoría de los conductores, cuando tienen la libertad de escoger sus trayectorias, prefieren usar una trayectoria directa en lugar de una inversa; sin embargo, cuando el volumen de tránsito es grande se presenta una tendencia en la mayoría de los conductores de utilizar los carriles con una trayectoria inversa.

El croquis 12.47-B muestra el carril de desceleración que se adapta a la trayectoria directa, preferida por los conductores. Su uso es particularmente ventajoso cuando existen movimientos de vuelta importantes.

Cuando los carriles de desceleración se inician dentro de una sección en curva tal como se muestra en la figura 12.48 deben definirse sus límites de tal manera que aseguren al conductor distinguir claramente entre el camino y el enlace; cuando la curva del camino es izquierda, y el enlace sale a la derecha, se presenta un quiebre en la sección transversal en la orilla de la calzada del camino debido a la sobreelevación contraria que debe proporcionársele al enlace, por lo que la longitud del carril de desceleración deberá ser suficiente para permitir un cambio gradual en la sección transversal; cuando esta longitud sea considerable, cuando la sobreelevación del camino sea mayor de 5%, la manera más apropiada



CARRILES DE DESCELERACION



CARRILES DE ACELERACION

Fig.12.47 Formas de carriles de cambio de velocidad

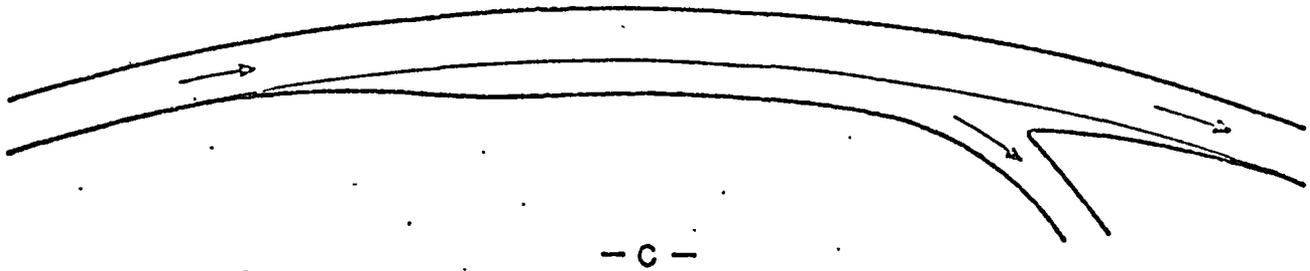
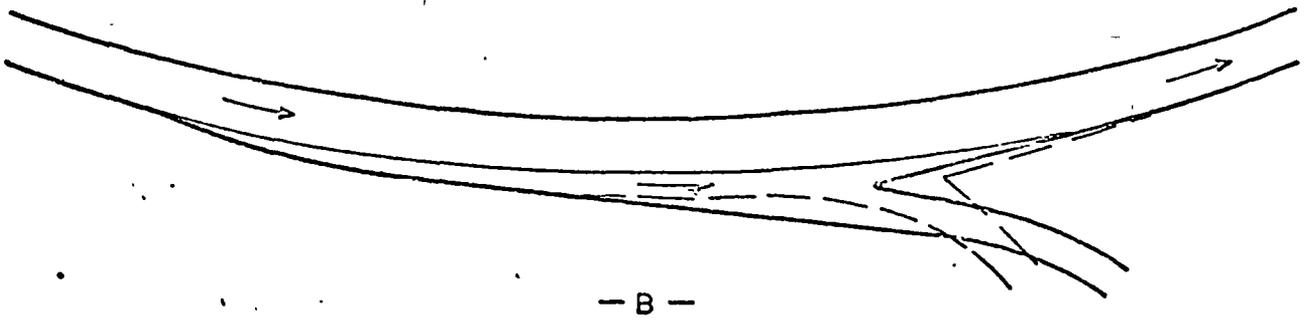
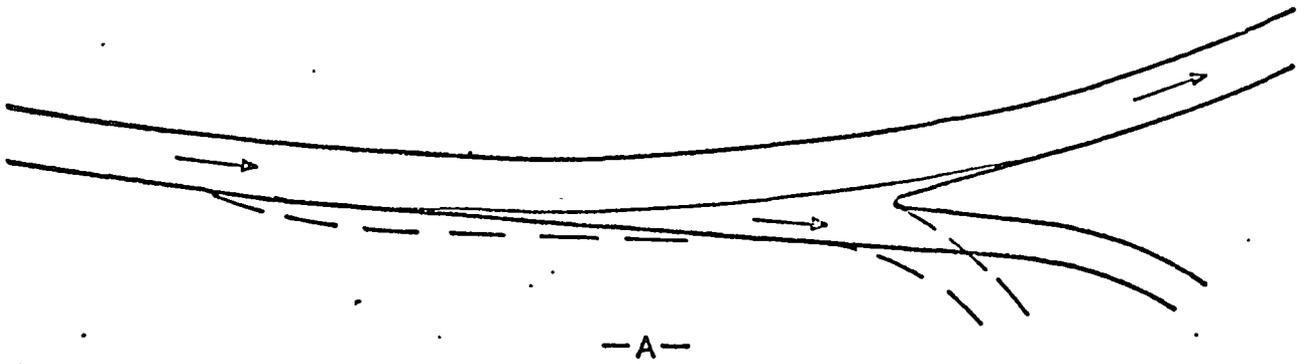


Fig.12.48 Carriles de descceleración en curvas

para diseñar el carril es la que se indica en la Fig. 12.48-B.

Cuando el camino tiene una curva derecha y la salida está ubicada sobre el lado derecho, el carril de desceleración deberá tomar la forma que se indica en la Fig. 12.48-C. La sobreelevación del carril adicional es la misma que tiene la curva del camino y la nariz que separa los carriles, en este caso, como en todos los de carriles de desceleración deberá quedar fuera de la orilla de la calzada del camino, de preferencia a una distancia igual al ancho del acotamiento, de esta manera, un vehículo que se salga de la calzada podrá volver a ella con mínimos daños.

Las consideraciones para el proyecto de los carriles de aceleración son similares a las de los carriles de desceleración.

Los carriles de aceleración tienen una doble función; por un lado, permiten a los conductores aumentar su velocidad antes de entrar a los carriles principales y, por el otro, proporcionan una distancia suficiente dando tiempo a que el conductor pueda incorporarse al flujo adyacente seleccionando un espacio entre dos vehículos que le permiten ejecutar la maniobra.

A.- Transición en los carriles de cambio de velocidad.- Cuando en los carriles de cambio de velocidad se utilizan transiciones para realizar el cambio de carril en una manera cómoda y segura.- La longitud y forma de la transición deberá ser tal que invite a los conductores a efectuar la maniobra de cambio de carril. Para poder determinar la longitud de la transición se han llevado a cabo algunos estudios sobre el tiempo requerido por un vehículo para abandonar el carril de tránsito principal e incorporarse al de cambio de velocidad. Se encontró que el vehículo que ejecuta-

la maniobra requiere de 2.7 a 4.1 segundos, dependiendo de las condiciones del tránsito. Por lo que se considera como normal un tiempo que varía entre 3 y 4 seg., recomendándose para proyecto 3.5 seg. Con base en lo anterior se obtuvieron diferentes valores de la longitud de la transición, dependiendo de la velocidad de marcha y de la de proyecto, esos valores se muestran en la tabla 12.I.

B.- Anchura del carril de cambio de velocidad.- Cuando el carril de cambio de velocidad queda paralelo al eje del camino la anchura no deberá ser menor de 3.35 m. y preferentemente deberá tener 3.65 m. Para el caso en que se utilicen carriles de deceleración direccionales como el mostrado en la Fig. 12.47-B, la anchura es variable dependiendo del enlace y de la forma y desplazamiento de la nariz. Se recomienda que la salida se inicie con una deflexión de 4° para hacer notar el principio del carril de deceleración.

En los carriles de aceleración direccionales como los que se muestran en la Fig. 12.47-D, se procura que la transición sea uniforme con una relación de 50:1 para caminos de alta velocidad y de 20:1 hasta 50:1 para cualquier otro tipo de camino.

Deben construirse acotamientos aunque no tengan un ancho igual al que tienen en el camino. En el caso de que se coloquen guarderías deben quedar alojadas en la orilla exterior del acotamiento y por ningún motivo deberán aceptarse a menos de 0.30 m. de la orilla de la calzada.

C.- Longitud de los carriles de cambio de velocidad.- La longitud de los carriles de deceleración está basada en la combinación de tres factores:

VELOCIDAD DE PROYECTO EN LA CARRETERA, EN km/h	50	60	70	80	90	100	110
VELOCIDAD DE MARCHA, EN km/h	46	55	63	71	79	86	92
LONGITUD DE LA TRANSICION, CALCULADA EN METROS	44.8	53.5	61.3	69.1	76.9	83.7	89.5
LONGITUD DE LA TRANSICION, RECOMENDADA EN METROS	45	54	61	69	77	84	90

Tabla 12 - I.- Longitud de la transición en los carriles de cambio de velocidad

La velocidad a la que los conductores entran al carril adicional.

La velocidad a la que los conductores salen después de recorrer el carril de desceleración.

La forma de descelerar o los factores de la desceleración.

Para fines de proyecto se supondrá que los conductores que van a entrar a los carriles de desceleración viajan a la velocidad de marcha. Deberá colocarse un señalamiento apropiado antes del carril de desceleración para informar a los conductores de la existencia de este.

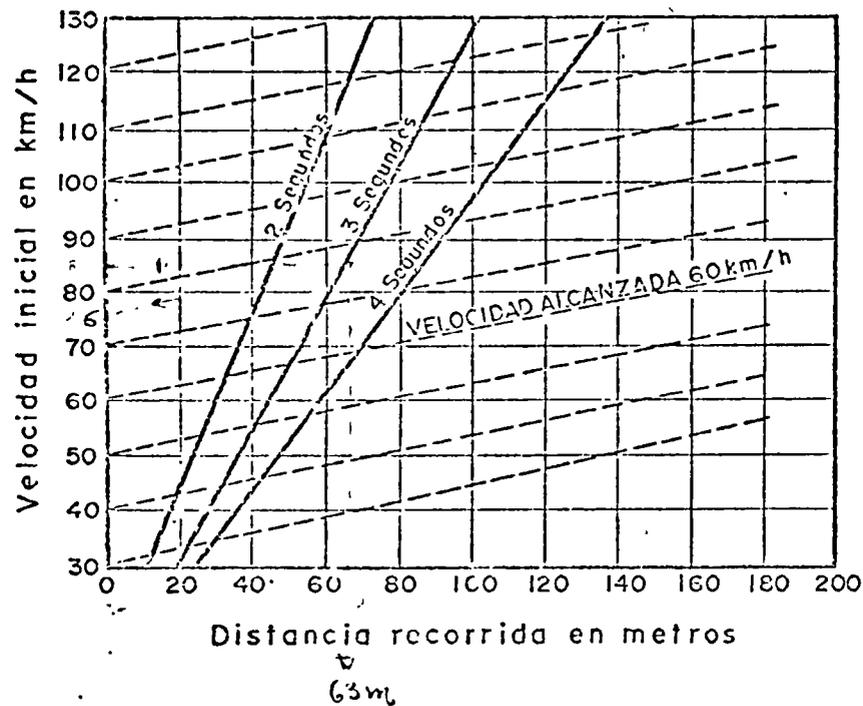
Para determinar la forma de descelerar, se han realizaco varios estudios, los cuales se desarrollan en dos etapas:

a).- Se retira el pie del acelerador, y el vehículo reduce la velocidad únicamente con el motor sin emplear los frenos.

b).- Se aplican los frenos.

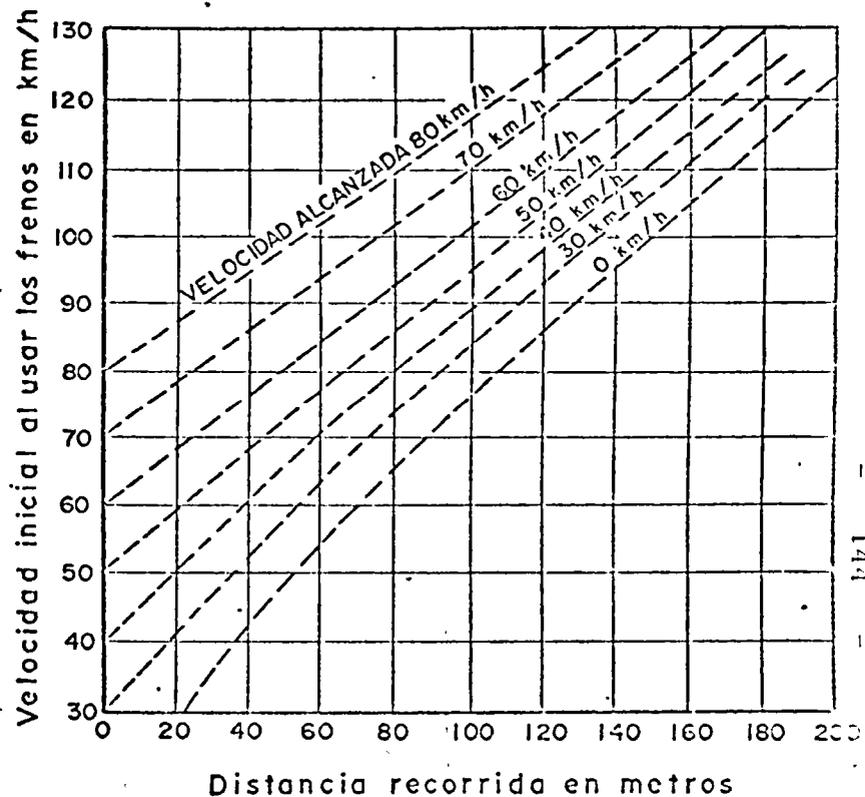
Los estudios efectuados para conocer las características de la desceleración en la etapa (a), se han realizado con vehículos ligeros y de ellos se han concluido que en un tiempo de tres segundos la mayor parte de los conductores capta la situación y pasan a la siguiente etapa. Para la etapa (b) se ha encontrado que una desceleración que se puede llamar cómoda para pasar de 110 Km/h. a un alto total es del orden de 10 Km/h por segundo o sea 2.75 m/seg^2 y para pasar de 50 Km/h. a un alto total es del orden de $6.5 \text{ Km/h por segundo}$, o sea 1.8 m/seg^2 de donde se observa que a velocidades altas los conductores aplican los frenos con mayor seriedad.

En la Fig. 12.49 están mostradas en forma de gráficas las conclu-



DISTANCIA RECORRIDA DURANTE
LA DECELERACION CON MOTOR
SIN USAR FRENOS

A



DISTANCIA RECORRIDA DURANTE
EL FRENADO

B

Fig. 12.49.- Distancias recorridas durante la deceleración para vehículos ligeros, en km/h.

siones de los estudios para las dos etapas citadas anteriormente, en la gráfica A se puede obtener la distancia recorrida durante la desceleración sin aplicar los frenos y en la B la distancia recorrida durante el frenado.

Para ilustrar la manera de utilizar estas gráficas, supóngase que se quiere conocer la distancia que recorre un vehículo que lleva una velocidad de marcha de 85 Km/h. y quiere detenerse. En la gráfica A se entra con el valor de la velocidad de marcha que en este caso es de 85 Km/h y horizontalmente se busca el punto de intersección con la línea de tres segundos que es el tiempo recorrido para utilizarse en el proyecto. Una vez encontrado este punto se regresa a la escala de las velocidades paralelamente a la línea discontinua que indica las velocidades alcanzadas descelerando únicamente con el motor. De esta manera se obtiene una velocidad de 76 Km/h y desde el punto de intersección de la línea de tres segundos con una vertical se corta el eje de las distancias que para el ejemplo sería aproximadamente 65 metros. A la gráfica B se entra con el valor de la velocidad alcanzada después de recorrer tres segundos sin aplicar el freno o sea 76 Km/h. Con una horizontal se interseca la línea que representa la velocidad a la que se quiere llegar al final del carril, en este caso cero y desde este punto se llega verticalmente al eje de las abscisas donde se tendrá que 93 m. es la distancia recorrida mientras se aplican los frenos. La suma de las distancias bajo las dos condiciones de la respuesta al problema ó sea: $65 + 98 = 163$ m.

De acuerdo con lo anterior, se han tabulado las longitudes resultantes para los carriles de desceleración que se muestran en la -

tabla 12-J en donde se determina la longitud en función de la velocidad de proyecto de la carretera. Estos valores están basados en la operación de los vehículos ligeros, reconociendo que los vehículos pesados requieren mayores distancias para desacelerar, pero no se justifican longitudes mayores debido a que la velocidad promedio de los vehículos pesados es generalmente menor que la de los ligeros.

Para medir las longitudes de los carriles de desaceleración hay que distinguir entre los dos tipos principales:

- a).- Cuando son direccionales o sea cuando la transición se efectúa en una forma gradual en toda la longitud del carril.
- b).- Cuando lleva transición normal al principio del carril.

Para el tipo a), debe considerarse que el carril empieza en un punto donde su ancho sea entre 1.50 y 1.80 m., y en autopistas o caminos especiales donde se sostengan altas velocidades puede considerar hasta el punto en donde el ensanchamiento llegue a ser el correspondiente a un carril normal; este incremento de la longitud permitirá un cambio de velocidad más liberal que el considerado. El otro extremo del carril será en aquel punto del enlace en donde sea necesario cambiar la velocidad ya sea por una curva de grado superior ó por que haya necesidad de detenerse.

Para el tipo b) o sea cuando el carril de desaceleración es paralelo al eje del camino, la longitud total se mide donde empieza la transición normal hasta el punto donde empieza el enlace o sea donde se forma una nariz que separa las dos vías.

La longitud de un carril de aceleración se basa en la combinación

de cuatro factores:

La velocidad a la cual los conductores entran al carril de aceleración.

La velocidad a la cual los conductores convergen con el tránsito principal.

La manera de acelerar o los factores de la aceleración.

Los volúmenes relativos del tránsito directo y del que se va a incorporar.

Para caminos de altos volúmenes de tránsito se debe proporcionar la longitud suficiente para que el tránsito que se va a incorporar a la corriente principal tenga el tiempo necesario para esperar que exista un espacio entre dos vehículos de la corriente principal que le permita incorporarse.

La velocidad deseable de los conductores al pasar del carril de aceleración a los carriles del tránsito principal, debe aproximarse a la de éstos, por lo que el proyecto debe basarse en una velocidad de incorporación igual a la velocidad de marcha del camino. Al empezar el carril de aceleración se debe considerar la velocidad de marcha del enlace que precede al carril de aceleración; la diferencia entre la velocidad de marcha del enlace y la del camino es la que determina la longitud del carril de aceleración.

Los estudios sobre la manera que aceleran los vehículos (*), han definido que para pasar de cero hasta 50 km/h., aceleran a razón de 4 Km/h por segundo, o sea 1.11 m/seg^2 , y de 1.6 km/h. por segundo, o sea 0.44 m/seg^2 , para pasar de cero hasta 110 Km/h. de donde se observa que para alcanzar velocidades altas la aceleración es menor.

(*).- Bureau of Public Roads 1937.

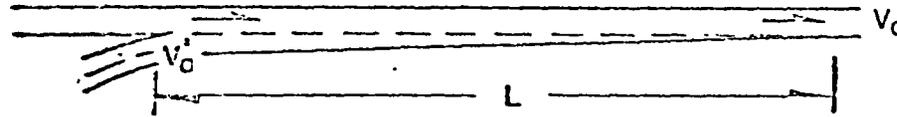
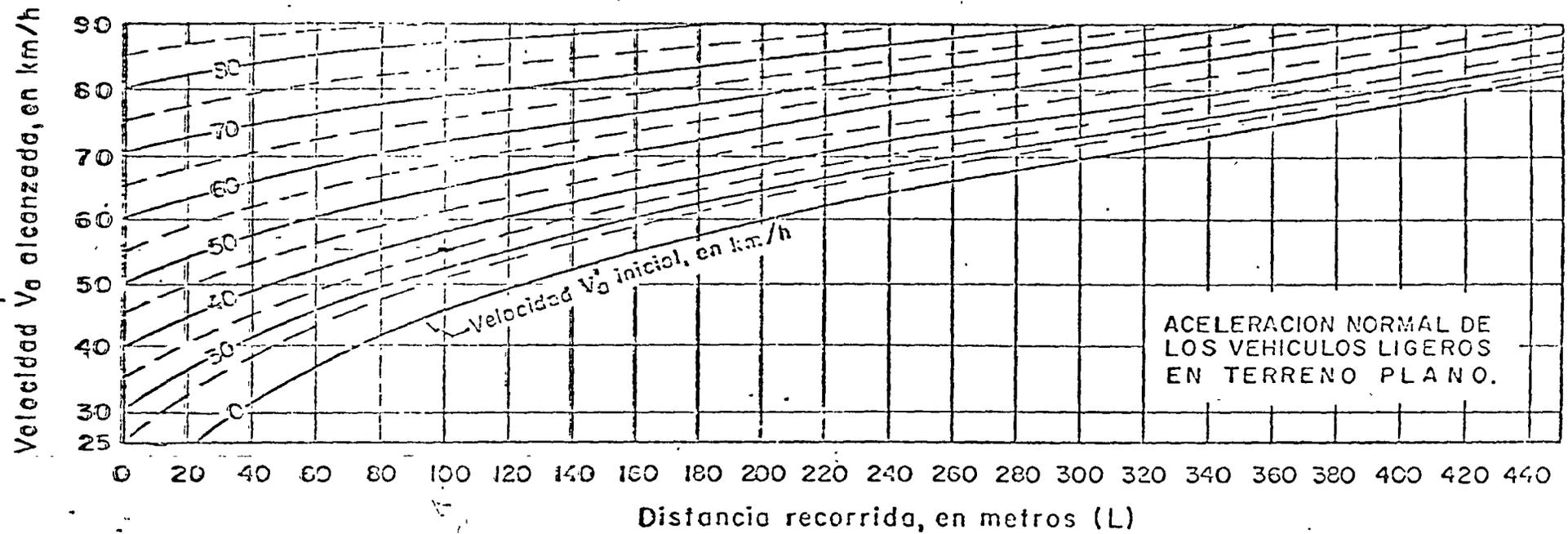
En la gráfica de la Fig. 12.50 están representadas las conclusiones del trabajo realizado para estudiar la aceleración normal, en el que se supuso que la velocidad con que se incorporan los vehículos es aproximadamente 8 km/h menor que la velocidad de marcha del camino principal. Para ilustrar la manera de utilizar la gráfica, supóngase que un vehículo lleva una velocidad de marcha al empezar el carril de aceleración (V_a) de 35 km/h y que desea alcanzar una velocidad (V_v), de 55 km/h que es inferior en 8 km/h a la velocidad de marcha del camino. El punto donde se cruzan las líneas correspondientes a estos valores define una longitud de 100 m. para el carril de aceleración. En la tabla 12-J están los valores que se deben utilizar para el proyecto.

Las longitudes de los carriles de aceleración se basan en la operación de los vehículos ligeros, los pesados que generalmente requieren distancias mayores para acelerar, al incorporarse a la corriente principal del tránsito causan problemas aceptados en general por el público. Cuando se tiene un número considerable de vehículos pesados haciendo uso de la entrada a un camino de alta velocidad, debe incrementarse la longitud del carril de aceleración.

Las longitudes de los carriles de aceleración se miden de una manera similar a los de deceleración tomando en cuenta que en este caso únicamente existen dos tipos; el direccional y el paralelo al eje del camino con la transición al final del carril.

D.- Factores que afectan la longitud de los carriles de cambio de velocidad.

La longitud de los carriles para cambio de velocidad se ha basado en las siguientes condiciones:



CARRETERA			L- LONGITUD DEL CARRIL DE ACELERACION, EN METROS							
VELOCIDAD DE PROYECTO, EN km/h	VELOCIDAD DE MARCHA, EN km/h	VELOCIDAD ALCANZADA, EN km/h	VELOCIDAD DE PROYECTO DEL RAMAL, EN km/h							
			CONDICION DE ALTO	25	30	40	50	60	70	80
			Y VELOCIDAD INICIAL (V_0), EN km/h							
			0	23	27	35	44	51	63	71
50	46	39	64	44	34	10	—	—	—	—
60	55	47	108	85	74	52	12	—	—	—
70	63	55	153	136	123	100	58	—	—	—
80	71	63	230	204	182	168	124	78	—	—
90	79	71	314	300	284	254	204	158	74	—
100	86	78	404	394	382	350	293	240	162	82
110	92	84	470	464	455	426	375	326	253	178

Fig.12.50- Longitudes para carriles de aceleración

Velocidad de proyecto en el enlace, km/h	Condición de parada	25	30	40	50	60	70	80
Radio mínimo de curva, metros.		15	24	45	75	113	154	209

Velocidad de proyecto de la carretera, km/h	Longitud de la transición, en metros.	Longitud total del carril de DESCELERACION, incluyendo la transición, en metros.							
50	45	64	45	—	—	—	—	—	—
60	54	100	85	80	70	—	—	—	—
70	61	110	105	100	90	75	—	—	—
80	69	130	125	120	110	95	85	—	—
90	77	150	145	140	130	115	105	80	—
100	84	170	160	160	145	135	125	100	—
110	90	185	175	175	160	150	140	120	100

Velocidad de proyecto de la carretera, km/h	Longitud de la transición, en metros.	Longitud total del carril de ACELERACION, incluyendo la transición, en metros.							
50	45	170	45	—	—	—	—	—	—
60	54	110	85	75	—	—	—	—	—
70	61	160	135	125	100	—	—	—	—
80	69	230	125	190	170	125	—	—	—
90	77	315	300	285	255	205	160	—	—
100	84	405	395	330	350	295	240	160	—
110	90	470	465	455	425	375	325	260	180

Tabla 12.J-Longitud de los carriles de cambio de velocidad

Están aproximadamente al nivel, con pendientes de 2% ó menos.

La sobreelevación del enlace puede desarrollarse apropiadamente.

Los volúmenes de tránsito no son lo suficientemente grandes para causar una interferencia con el tránsito principal.

Cuando no existan estas condiciones, es necesario hacer ajustes en las longitudes de los carriles para cambio de velocidad.

1).- Pendiente.- Las distancias de descelaración son mayores en pendientes descendentes y más cortas en pendientes ascendentes, mientras que las distancias de aceleración son mayores en pendientes ascendentes y más cortas en pendientes descendentes, a la fecha no se cuentan con datos sobre el comportamiento de los conductores cuando desceleran y aceleran en pendientes, pero pueden ser estimados aplicando los principios de mecánica, reconociendo que los conductores cuando aceleran en pendientes ascendentes aplican el pedal del acelerador con mayor intensidad que a nivel. Las longitudes de los carriles de aceleración y descelaración en pendientes, comparadas con las correspondientes a nivel, se muestran en forma de resumen en la tabla 12-K. Los valores obtenidos de esta tabla multiplicados por la longitud dada en la tabla 12-J, proporcionan la longitud total del carril en pendiente.

Como ejemplo si se desea saber la longitud de los carriles de cambio de velocidad en un camino con altos volúmenes de tránsito y una velocidad de proyecto de 110 km/h.; en que el enlace tiene una pendiente descendente de 5% y va en una curva cuya velocidad de proyecto es de 50 km/h., se procederá de acuerdo con lo siguiente:

CARRILES DE DESELERACION

VELOCIDAD DE PROYECTO DE LA CARRETERA, EN km/h	RELACION DE LA LONGITUD EN PENDIENTE A LA LONGITUD A NIVEL PARA:	
TODAS	EN PENDIENTE ASCENDENTE DEL 3 AL 4 % 0.9	EN PENDIENTE DESCENDENTE DEL 3 AL 4 % 1.2
TODAS	EN PENDIENTE ASCENDENTE DEL 5 AL 6 % 0.8	EN PENDIENTE DESCENDENTE DEL 5 AL 6 % 1.35

CARRILES DE ACELERACION

VELOCIDAD DE PROYECTO DE LA CARRETERA, EN km/h	RELACION DE LA LONGITUD EN PENDIENTE A LA LONGITUD A NIVEL PARA VELOCIDAD DE PROYECTO EN EL ENLACE, EN km/h							
	25	30	40	50	60	70	80	PARA TODAS LAS VELOCIDADES
	EN PENDIENTE ASCENDENTE DEL 3 AL 4 %							EN PENDIENTE DESCENDENTE DEL 3 AL 4 %
50	1.20	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	0.70
60	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.40	0.70
70	1.20	1.30	1.30	1.30	1.30	1.40	1.40	0.70
80	1.30	1.30	1.30	1.40	1.40	1.40	1.50	0.70
90	1.30	1.30	1.40	1.40	1.50	1.50	1.60	0.60
100	1.40	1.40	1.50	1.50	1.50	1.60	1.60	0.60
110	1.40	1.50	1.50	1.60	1.60	1.70	1.80	0.60
	EN PENDIENTE ASCENDENTE DEL 5 AL 6 %							EN PENDIENTE DESCENDENTE DEL 5 AL 6 %
50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.60	0.60
60	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.60	1.70	0.60
70	1.50	1.50	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	0.60
80	1.50	1.50	1.60	1.70	1.90	2.00	2.10	0.60
90	1.50	1.60	1.70	1.90	2.00	2.20	2.40	0.50
100	1.70	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	0.50
110	1.50	1.50	2.00	2.20	2.40	2.60	2.90	0.50

NOTA: Los valores de esta tabla multiplicados por la longitud obtenida de la tabla 12.J da la longitud del carril de cambio de velocidad en pendiente.

Tabla 12.K-Relación de la longitud en pendiente a la longitud a nivel para carriles

La longitud del carril de desceleración será $150 \times 1.35 = 202.50$ m y la longitud del carril de aceleración sería $375 \times 0.5 = 187.50$ m.

Considerando ahora una pendiente/ascendente de 5% y las demás condiciones iguales al caso anterior, la longitud del carril de desceleración sería $150 \times 0.8 = 120$ m., mientras que la longitud del carril de aceleración sería de $375 \times 2.2 = 825$ m. Esta longitud permitirá a los vehículos entrar aproximadamente a 84 km/h ó sea 8 km/h por debajo de la velocidad de marcha en el camino.

2).- Sobreelevación.- La longitud y forma de los carriles para cambios de velocidad puede asimismo ser afectada por el desarrollo de la sobreelevación como se discutirá posteriormente.

3).- Volumen.- Las longitudes dadas en la tabla 12-J para los carriles de aceleración, son generalmente adecuadas para condiciones de alto volumen, en donde puede ser difícil para un conductor durante las horas de máxima demanda, encontrar un espaciamento entre vehículos en la corriente de tránsito. Una situación peligrosa se puede presentar cuando el conductor que va a incorporarse alcanza el extremo del carril de aceleración y es forzado a moverse hacia adentro del tránsito principal independientemente de la densidad de éste. Este peligro puede reducirse evitando el uso de una guarnición en el extremo del carril de aceleración, dándole un tratamiento superficial al acostamiento después del extremo del carril, de tal manera que pueda ser usado por los conductores que se vean obligados a continuar.

Para facilitar el flujo del tránsito en las intersecciones es de considerable ayuda un señalamiento adecuado. Las señales anticipadas a una salida que indiquen al tránsito que va a dar vuelta, mantener su derecha y al tránsito directo que mantenga su izquierda a través de la intersección, disminuye los conflictos y permiten al tránsito una mayor velocidad de operación. Las señales colocadas antes de una entrada indicando una próxima convergencia encauzan al tránsito directo alejado del carril adyacente al adicional, haciendo posible que se incorpore sin dificultad al camino un mayor volumen de tránsito.

12.4.8 Sobreelevación para las curvas en entronques.

La mayoría de los movimientos de vuelta en los entronques se realiza en presencia de otros vehículos, pues el tránsito en los enlaces se separa de o se une a un flujo directo, esto implica, que los conductores viajan más despacio en un entronque que en una curva de camino abierto del mismo radio; sin embargo, al proyectar, se deberá considerar la velocidad que tendrán los vehículos en los períodos de bajo volumen de tránsito para lograr una operación segura, lo que hace indispensable proporcionar la sobreelevación necesaria para esta velocidad en las curvas de los enlaces, particularmente cuando son pronunciadas y en pendiente.

A.- Sobreelevaciones.- En las curvas de los entronques las sobreelevaciones máximas se determinan haciendo uso de los mismos factores generales que se aplican al camino abierto. Para enlaces con circulación en un solo sentido, el rango de la sobreelevación máxima es del 6% al 10%, este valor se puede incrementar hasta 12% cuando las condiciones del clima son favorables y tendrá que disminuir a un 8% como máximo cuando prevalezcan situaciones de nevadas o heladas.

En la tabla 12-E donde se relaciona la velocidad de proyecto con el radio mínimo de curvatura, se muestran también las sobreelvaciones correspondientes, se nota que éstas son más bajas que las máximas debido a la dificultad práctica de obtener la sobreelevación máxima sin la longitud de transición deseable, ya que generalmente los enlaces tienen radios pequeños y longitudes reducidas.

Para una velocidad de proyecto dada, cuando se utilice un radio de curvatura mayor que el mínimo, la sobreelevación deberá ser menor a la máxima para obtener un proyecto equilibrado.

La tabla 12-L muestra las sobreelvaciones en enlaces para las diferentes velocidades de proyecto, valores que fueron obtenidos de una manera muy similar a los del camino abierto, se indica un rango de sobreelevación para cada combinación de velocidad de proyecto y radio de curvatura, debido a la extensa variación de velocidades probables sobre el enlace que dependen del volumen de tránsito. En la tabla se consideró una sobreelevación máxima del 12% y deberán preferirse los valores, situados en la mitad superior o tercio superior del rango indicado. Una sobreelevación del 2% se considera mínima para efectos de drenaje.

B.- Desarrollo de la Sobreelevación.- La forma de efectuar el cambio de la pendiente transversal se basa principalmente en la comodidad y el aspecto. La diferencia entre el perfil longitudinal del hombro de un camino abierto y el de su eje central no debe ser mayor de 0.5% para velocidad de proyecto de 80 km/h, y de 0.67% para 50 km/h; esto corresponde a un cambio en la sobreelevación del 2.7% y del 3.9% respectivamente por cada 20 m. de - - -

RADIO (m)	GRADO DE CURVATURA	RANGO DE LA SOBREELEVACION PARA CURVAS EN ENLACES CON VELOCIDAD DE PROYECTO DE:					
		25	30	40	50	60	70
15	76.4	0.02-0.12	—	—	—	—	—
25	45.8	0.02-0.07	0.02-0.12	—	—	—	—
45	25.5	0.02-0.05	0.02-0.08	0.04-0.12	—	—	—
70	16.4	0.02-0.04	0.02-0.06	0.03-0.08	0.06-0.12	—	—
95	12.1	0.02-0.03	0.02-0.04	0.03-0.06	0.05-0.09	0.08-0.12	—
130	8.8	0.02-0.03	0.02-0.03	0.03-0.05	0.04-0.07	0.06-0.09	0.09-0.10
180	6.4	0.02	0.02-0.03	0.02-0.04	0.03-0.05	0.05-0.07	0.07-0.09
300	3.8	0.02	0.02-0.03	0.02-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.05-0.06
450	2.5	0.02	0.02	0.02	0.02-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05
600	1.9	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02-0.03	0.03-0.04
900	1.3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02-0.03

NOTA: Deberán preferirse los valores situados en la mitad superior o el tercio superior del rango indicado.

Tabla 12-L Sobreelevaciones para curvas en enlaces

longitud, para enlaces puede emplearse hasta un 5.3% por cada estación de 20 m para una velocidad de proyecto de 25 km/h o 30 km/h.

En la tabla 12-M se muestran estos valores y los equivalentes a una longitud de cinco metros para diferentes velocidades el cambio en la sobreelevación puede aumentar o disminuir hasta en un 25% de los valores tabulados, siendo aplicables los valores más bajos para las coronas anchas y los más altos para las angostas.

Tabla 12-M

Cambio de la sobreelevación en enlaces

Velocidad de Proyecto km/h	25	30	40	50	60 o más
Variación de la Sobreelevación Por estación de 20.00 M.	0.053	0.053	0.046	0.039	0.032
Por 5.00 m de longitud	0.013	0.013	0.011	0.010	0.008

C.- Desarrollo de la sobreelevación en los extremos de los enlaces.- En los enlaces debe fijarse un límite práctico para la diferencia entre la sobreelevación del camino directo y la del enlace para evitar que se formen lomos que puedan hacer perder el control de los vehículos.

1).- Procedimiento general.- Para el proyecto de una salida, los carriles para el tránsito directo pueden considerarse fijos en perfil y sobreelevación y a medida que el enlace se separa, la sobreelevación en la parte que se amplía del camino directo puede variar en forma gradual. Al punto donde se separan las coronas del enlace y del camino directo se le llama nariz.

El método para desarrollar la sobreelevación en los extremos de los enlaces se muestra en la Fig. 12.51. En el caso A se ilustra la variación de la sobreelevación cuando el enlace sale de un camino en tangente. Del punto a que es donde se inicia el enlace al punto b en que la anchura de la ampliación está comprendida entre 0.50 y 1.00 m., la sobreelevación normal del camino directo se extiende hasta el lado exterior de la calzada ampliada por facilidad de construcción. Entre los puntos b y c la anchura es insuficiente para hacer que la sobreelevación de la ampliación sea mayor que la de la corona del camino directo. En el punto d donde ya se tiene el ancho total del enlace puede tenerse una sobreelevación mayor que la del camino directo, la cual se incrementa más aún en el punto e adyacente a la nariz, operación que se facilita al inclinar la cuña del pavimento formada por la orilla derecha del camino directo y la orilla izquierda del enlace. Después de la nariz, como en el punto f la superficie puede inclinarse tan rápidamente como lo permitan las condiciones existentes hasta alcanzar la sobreelevación total deseada.

En el caso B de la figura se muestra una condición similar para cuando el camino directo y el enlace están en una curva en la misma dirección. la sobreelevación deseada para el enlace de salida la cual generalmente es mayor que la del camino directo, puede alcanzarse en una distancia relativamente corta, en ----

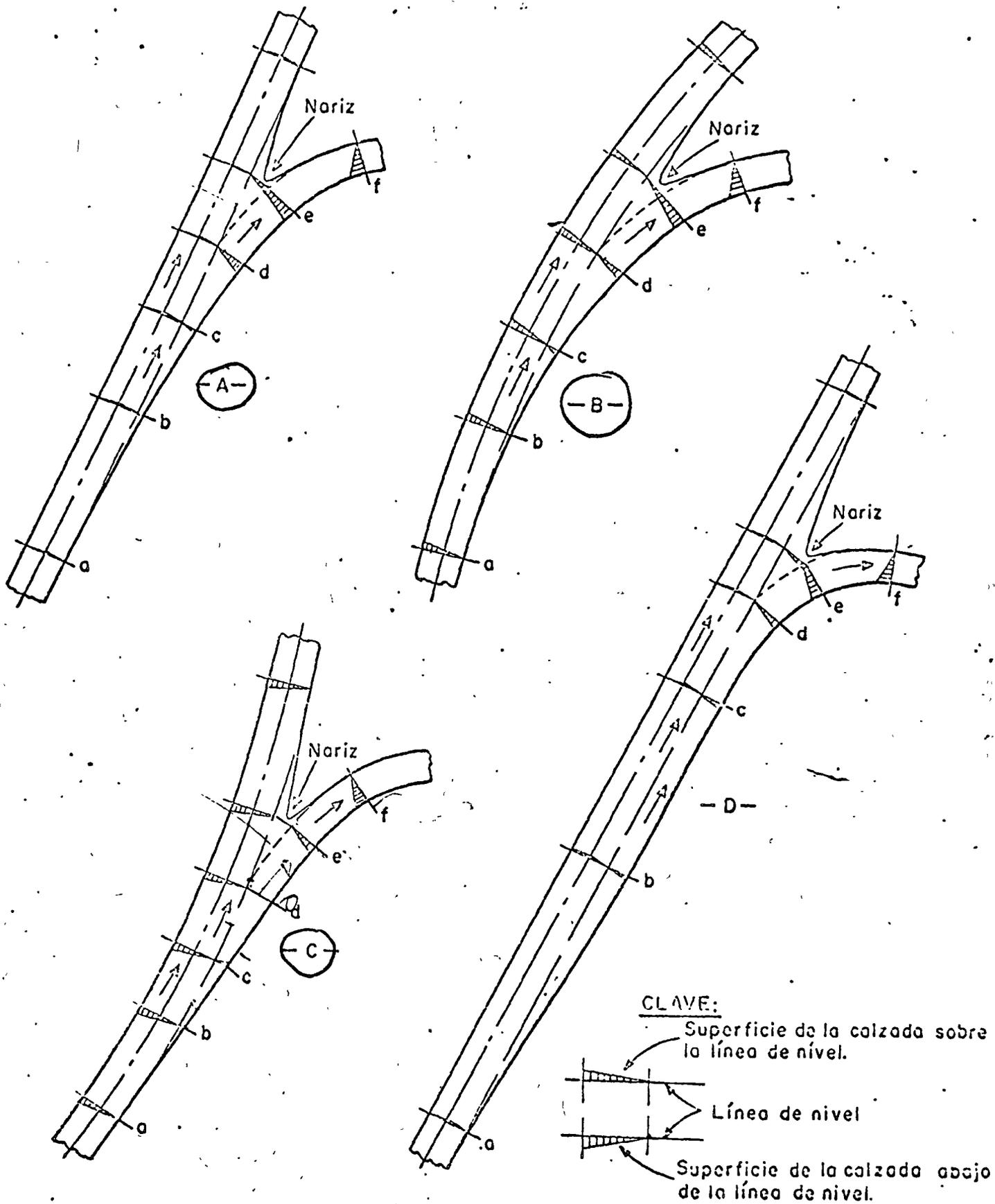


FIG.12.51 - Desarrollo de la sobreelevación en los extremos de los enlaces

el punto b la sobreelevación del camino directo se extiende - sobre la ampliación de la calzada, en los puntos c y d se pro porcionan sobreelevaciones mayores que la del camino directo, alcanzándose la sobreelevación total en los puntos e ó f.

Una situación menos favorable ocurre cuando la separación se hace en curvas de dirección opuesta, como se ilustra en el caso C de la figura. La sobreelevación del camino directo se extiende a la ampliación de la calzada a la altura del punto b, en el punto c la sobreelevación disminuye sin llegar a la horizontal y en el d se efectúa el quiebre entre las sobreelevaciones estando la superficie de la ampliación aproximadamente a nivel. En el punto e se incrementa la sobreelevación para el glaze, produciendo un doble rompimiento en la cuña frente a la nariz, a partir de ese punto debe desarrollarse la sobreelevación hasta llegar a la máxima en el punto f.

En los proyectos donde se disponga de un carril paralelo para cambio de velocidad, como el caso D, parte del cambio de sobreelevación puede efectuarse sobre este carril, generalmente más de la mitad del valor de la sobreelevación total puede obtenerse en la cercanía del punto d y la inclinación total se alcanza no muy lejos de la nariz.

Los criterios señalados e ilustrados en la Fig. 12.51 para los extremos de salida de los enlaces pueden aplicarse también para los extremos de entrada haciendo notar que los detalles de la nariz son diferentes ya que en la convergencia el extremo final se localiza en el punto d.

2).- Control de paso sobre el lomo de la corona.- Se llama -

lomo de la corona a la línea formada por los cambios de sobreelevación en la calzada. Para controlar el paso por este lomo se obtiene la diferencia algebraica de los valores de la sobreelevación en ambos lados de él. Cuando las dos pendientes tienen el mismo signo la diferencia algebraica es la resta de los dos valores y cuando tienen signo contrario es la suma de los valores de las sobreelevaciones. El valor deseable de esta diferencia algebraica oscila entre el 4% y el 5%, pero para velocidades bajas puede usarse un valor hasta del 8%. En la tabla 12-N se indican las diferencias algebraicas máximas entre las pendientes de la sobreelevación para diferentes velocidades de proyecto en los extremos de los enlaces.

TABLA 12-N

Diferencia algebraica máxima entre las pendientes de la sobreelevación

Velocidad de Proyecto en los extremos del enlace	Diferencia Algebraica Máxima
km/h.	m. por m.
25 y 30	0.05 - 0.08
40 y 50	0.05 - 0.06
60 ó más	0.04 - 0.05

3).- Control de la transición de la sobreelevación.- Al efectuar el desarrollo de la sobreelevación para los extremos de los enlaces se deberá tener en consideración las tablas 12-L, 12-M y 12-N. Como un ejemplo considérese un extremo de salida como el mostrado en la Fig. 12.51-A.

Teniendo como dato un radio de 75 m. para la curva divergente en la que la velocidad de proyecto será de 50 km/h., de la tabla 12-L se obtiene el rango de la sobreelevación máxima, del cual preferiblemente se usará un 9% ó un 11% como máximo. El cambio de la sobreelevación a lo largo del enlace, según la tabla 12-M no deberá ser mayor del 1% para cada 5 m. de longitud. Si el bombeo del camino directo es del 2% y los puntos b, c, y d se encuentran a intervalos de 15 m. la sobreelevación en el punto b será de 2%, en el c de 5% y en el d de 8%, al consultar la tabla 12-N se nota que para la velocidad de 50 km/h, el valor máximo de la diferencia de sobreelevación es de 6%, que corresponde a la diferencia obtenida en el punto d ($8\% - 2\% = 6\%$). Si la separación entre los puntos d, e y f es de 7.50 m. se tendrá una sobreelevación en el punto e de 9.5% y de 11% en el punto f. La sobreelevación en la cuña frente a la nariz podrá tener un valor intermedio que satisfaga las normas de la tabla 12-N por ejemplo 4.5%. Para una segunda estimación, un mejor juicio de la sobreelevación podría resultar usando una sobreelevación máxima de 10%.

Este procedimiento de establecer las sobreelevaciones en ciertos puntos es un paso preliminar en el proyecto, ya que estos sirven como puntos de control para dibujar los perfiles de los hombros del enlace, ajustándolos hasta obtener un alineamiento continuo, cómodo, seguro y de buena apariencia, el perfil final puede no producir precisamente las sobreelevaciones seleccionadas en todos los puntos de control, pero esto no es

significativo, siempre y cuando el cambio de la sobreelevación sea progresivo y dentro de los límites establecidos.

12.4.9 Distancia de Visibilidad. ✓

A.- Distancia de visibilidad en los enlaces.- La distancia de visibilidad de parada es el factor que debe usarse para controlar la visibilidad en los enlaces. En los enlaces de doble sentido de circulación no debe usarse la distancia de visibilidad de rebaje, pues esta maniobra no debe permitirse debido a la poca longitud de que generalmente constan.

Es indispensable que en cualquier intersección de caminos se proporcione la visibilidad necesaria para que los vehículos puedan hacer alto total antes de alcanzar un obstáculo que aparezca inesperadamente en su trayectoria.

1).- Distancia mínima de visibilidad de parada.- En la tabla 12-0, se muestran las longitudes mínimas de visibilidad de parada en los enlaces para diversas velocidades de proyecto, estos valores se obtuvieron por el mismo método empleado para camino abierto, usando un tiempo de reacción de 2.5 seg. y coeficientes de fricción que varían de 0.420 a 0.325 para velocidades de 25 Km/h a 70 Km/h.

TABLA 12.0

Distancia mínima de visibilidad de parada en los enlaces.

VELOCIDAD DE PROYECTO (KM/H).	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110
DISTANCIA MÍNIMA DE VISIBILIDAD DE PARADA (M)	25	35	50	65	80	95	110	140	165	200

2).- Longitud mínima de las curvas verticales.- La longitud mínima de las curvas verticales se basa, como en el caso de camino abierto, en la distancia necesaria para que el conductor, desde una altura del ojo de 1.14 m. vea un objeto de 0.15 m. de altura. En la Fig. 12.52 se relacionan la velocidad de proyecto, la diferencia algebraica de pendientes y la longitud mínima de la curva vertical en cresta para proporcionar una distancia segura de visibilidad de parada. En la parte inferior izquierda de las líneas continuas de la figura, la longitud mínima en metros se estableció igual que en las condiciones para camino abierto, o sea 60% de la velocidad de proyecto en Km/h. El factor K es constante para cada velocidad y la longitud mínima de la curva se encuentra multiplicando la diferencia de pendientes, en por ciento, por el valor de K. Para velocidades de proyecto menores de 60 Km/h. las curvas verticales en columpio, cuya longitud está regida por el criterio de los faros de los vehículos, teóricamente deberían ser de un 25% a un 60% más largas que las curvas en cresta. Debido a que la velocidad de proyecto en la mayoría de los enlaces está gobernada por la curvatura horizontal, generalmente de radio reducido, los rayos de luz paralelos al eje longitudinal del vehículo dejan de servir como control vertical y la longitud práctica de las curvas en columpio es la correspondiente a las curvas en cresta. Siempre que sea posible es conveniente usar longitudes mayores a las mínimas.

3).- Distancia mínima lateral de visibilidad para curvas horizontales.- El control de la distancia de visibilidad para las curvas horizontales es de igual o mayor importancia en

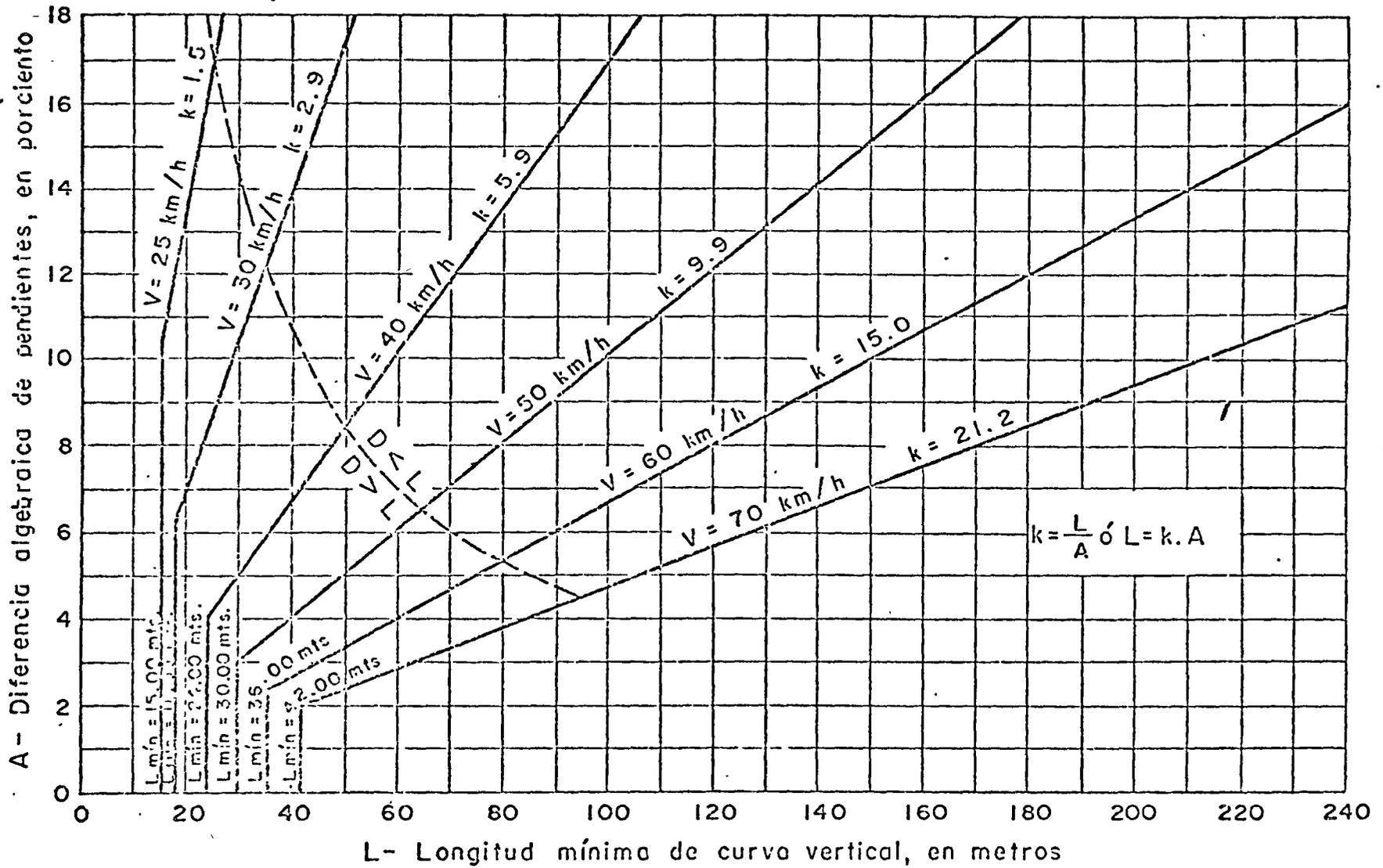


Fig. 12.52 - Longitud mínima de curvas verticales en los enlaces de acuerdo con la distancia de visibilidad de parada

los enlaces que el control vertical ya que la línea visual a través de la parte interior de la curva, libre de obstrucciones, deberá ser tal que la distancia de visibilidad medida en la curva a lo largo de la trayectoria del vehículo iguale o exceda la distancia mínima de velocidad de parada dada en la tabla 12-0. La obstrucción probable puede ser el remate de una estructura, una pared, la orilla de un corte, o la esquina de un edificio.

En la Fig. 12.53 se muestra, gráficamente, para varios radios de la orilla de la calzada, la distancia mínima lateral entre la orilla interior de la calzada y la obstrucción, se supone que el ojo del conductor y el objeto visto se encuentran a 1.80 m. de la orilla interior de la calzada y que la distancia mínima de visibilidad de parada se cumpla a lo largo de la curva.

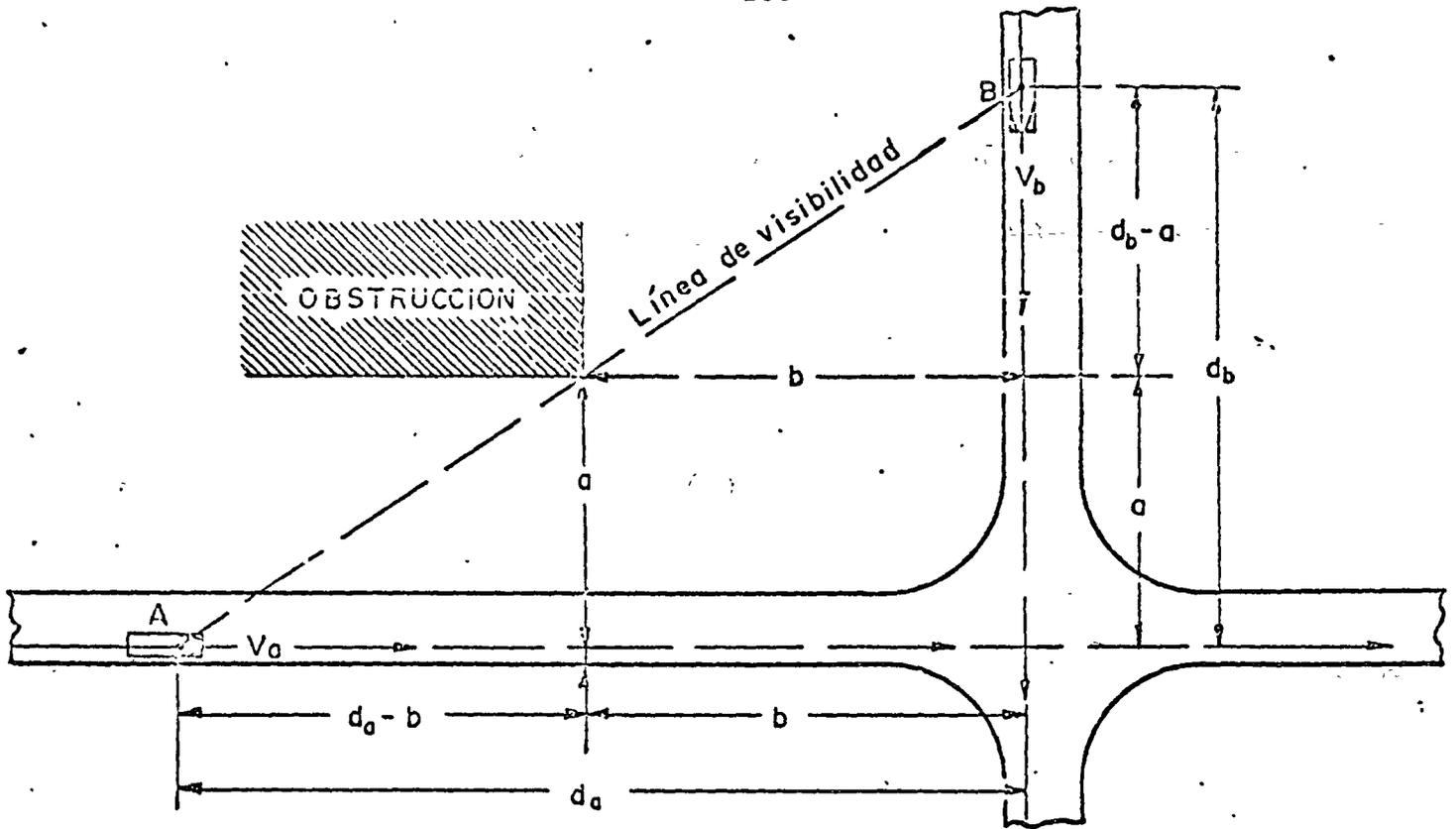
B.- Distancia de visibilidad en las intersecciones.- El conductor de un vehículo que se acerca a una intersección a nivel deberá tener una visual, -- libre de obstrucciones, de toda la intersección y de un tramo del camino transversal de longitud suficiente que le permita reaccionar y efectuar las maniobras necesarias para evitar colisiones. La distancia mínima de visibilidad, indispensable para la seguridad bajo ciertas condiciones físicas y determinado comportamiento del conductor se haya relacionada directamente con la velocidad de los vehículos y con las distancias recorridas durante el tiempo de reacción del conductor y el correspondiente de frenado. Cuando el tránsito en la intersección está controlado por algún dispositivo se puede restringir la visibilidad de la zona del cruce.

1).- Triángulo mínimo de visibilidad.- En las intersecciones debe existir una visibilidad continua a lo largo de los caminos que se cruzan, para permitir a los conductores que se aproximan simultáneamente, verse entre sí con la anticipación necesaria. En la Fig. 12.54, se consideran tres casos generales en los cuales, se suponen las maniobras de los conductores sobre las ramas.

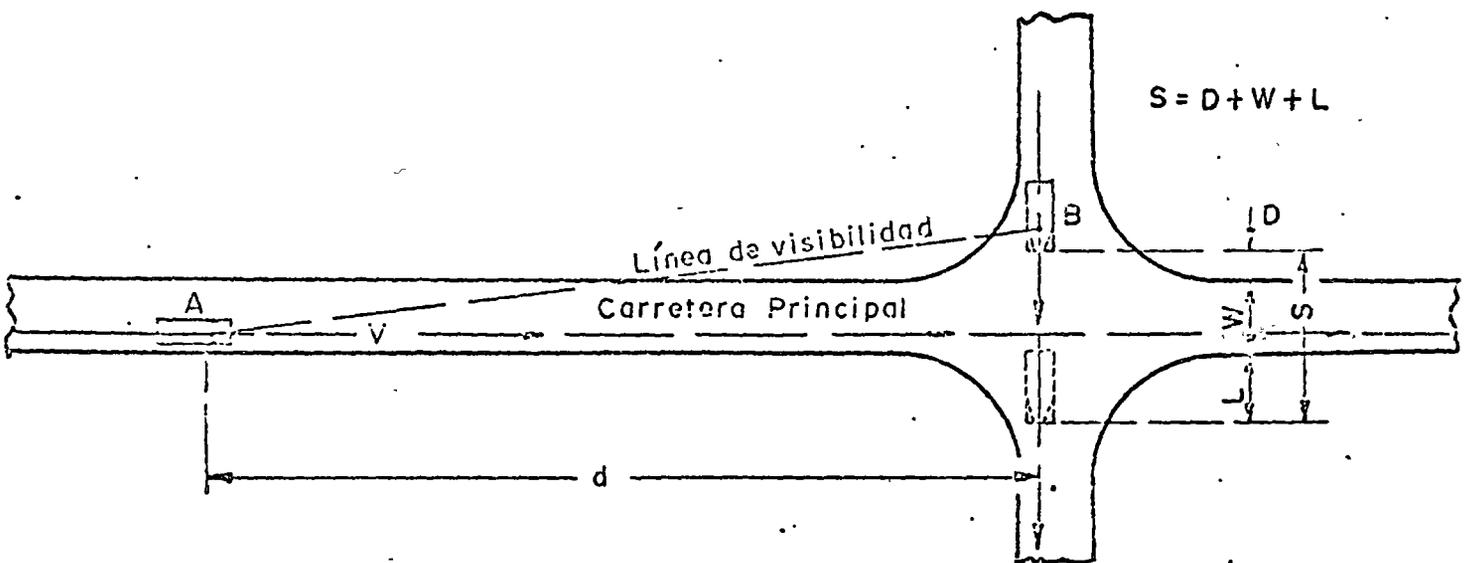
a).- Intersecciones sin dispositivos de control.- Caso I.- Cuando se permite a los vehículos ajustar su velocidad.- En un cruce sin señales de "Ceda el Paso" o de "Alto" o bien sin semáforo, el conductor de un vehículo que se aproxime debe hallarse en aptitud de percibir cualquier peligro con el tiempo suficiente para modificar su velocidad, en la medida necesaria, antes de llegar al camino transversal. Se ha fijado una distancia mínima - entre la intersección y el punto desde el cual un conductor puede descubrir la presencia de otro vehículo que se aproxima al cruce por el camino transversal, que equivale a la distancia recorrida en tres segundos, correspondiendo dos al tiempo de reacción del conductor, y un segundo adicional -- para proceder a frenar o acelerar, según se requiera. Las distancias recorridas en estos tres segundos para diferentes velocidades son:

Velocidad (km/h)	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Distancia (m)	21	25	33	42	50	58	67	75	83	92

Refiriéndose a la parte superior de la Fig. 12.54 y considerando para el camino A una velocidad de 80 km/h y para el B de 50 km/h. se requerirá un triángulo de visibilidad cuyos catetos sobre los caminos sean



SIN DISPOSITIVOS DE CONTROL EN LA INTERSECCION
CASOS I y II



CON SEÑAL DE ALTO EN EL CAMINO SECUNDARIO
CASO III

Fig.12.54 - Distancia de visibilidad en las intersecciones
Triángulo mínimo de visibilidad

En una intersección donde el tránsito del camino secundario se controla con señales de "Alto", es necesario, por razones de seguridad, que el conductor del vehículo parado disponga de visibilidad suficiente sobre la carretera principal para poder cruzarla antes de que lleguen a la intersección los vehículos que por ella circulan, aún cuando alcance a percibirlos en el preciso momento en que inicia su cruce. El tramo visible de la carretera principal para dicho conductor debe ser mayor que el producto de su velocidad de proyecto por el tiempo necesario para acelerar y cruzar la carretera. La distancia de visibilidad necesaria a lo largo de la carretera principal se puede expresar así:

$$d = 0.278 V (J + t_a)$$

donde:

d = distancia mínima de visibilidad a lo largo de la carretera principal, desde la intersección, en metros.

V = velocidad de proyecto de la carretera principal, en km/h.

J = suma del tiempo de reacción y del tiempo requerido para aplicar la primera velocidad o para engranar una transmisión automática, en segundos.

t_a = tiempo requerido para acelerar y recorrer la distancia S , cruzando la carretera principal, en segundos.

El término J representa el tiempo necesario para que el conductor de un vehículo vea en ambas direcciones de la carretera y deduzca si dispone

t_a = Tiempo de aceleración, en segundos

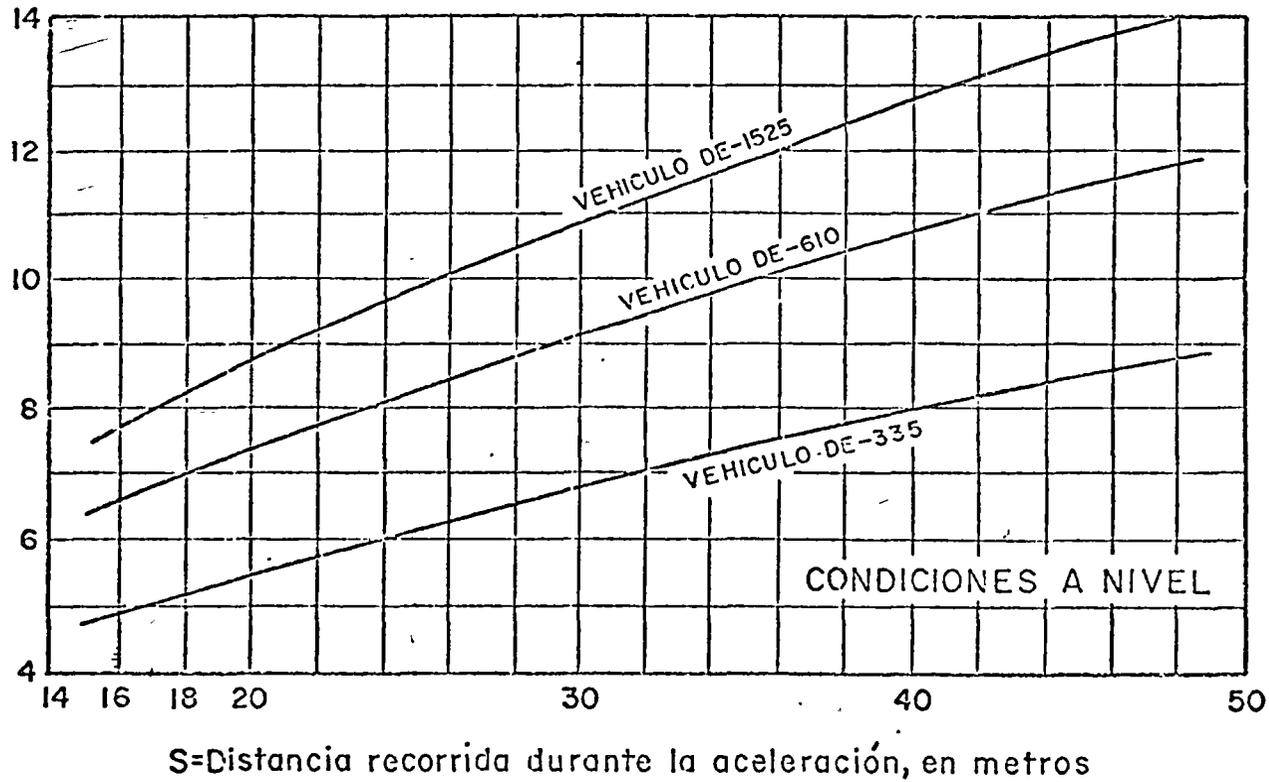


Fig.12.55- Distancia de visibilidad en intersecciones - Caso III
Datos de la aceleración a partir de un alfo total

S, en metros. Esta distancia según la parte inferior de la Fig. 12.54, es la suma de:

$$S = D + W + L$$

donde:

D = distancia entre el frente del vehículo parado y la orilla de la calzada de la carretera principal.

W = ancho de la calzada de la carretera principal.

L = longitud total del vehículo.

Se ha convenido que el valor de D sea igual a 3.00 m. debido a que algunos conductores no paran su vehículo lo más cerca posible de la orilla de la carretera por cruzar.

El valor W depende del número de carriles de la carretera principal.

Se ha considerado para cada uno de ellos un ancho de 3.65 m.

El valor de L depende del tipo de vehículo. Para fines de proyecto se ha determinado para el DE-335 una longitud de 5.80 m,; para el DE-610, 9.15 m,; para el DE-1220, 15.25 m, y para el DE-1525 de 16.78 m.

La Fig. 12.56 muestra la distancia mínima de visibilidad d necesaria para cruzar con seguridad la intersección en ángulo recto de un camino con carriles de 3.65 m, partiendo el vehículo de la posición de reposo, para los diferentes tipos de vehículos y para caminos de 2, 4 6 6 - - -