



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PROPUESTA DE UN REDISEÑO GEOMÉTRICO  
VIAL DEL RETORNO UBICADO EN LA  
AUTOPISTA BÁRBULA - GUACARA A LA  
ALTURA DEL KM 13+500**

**Autor(es):** Barragán Camilo  
C.I.: 21.021.606  
Santiago Leonardo  
C.I.: 21.214.803

Urb. Yuma II, Calle N° 3, Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 871239



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROPUESTA DE UN REDISEÑO GEOMÉTRICO VIAL DEL  
RETORNO UBICADO EN LA AUTOPISTA BÁRBULA - GUACARA  
A LA ALTURA DEL KM 13+500**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO CIVIL**

**Autor(es):** Barragán Camilo  
C.I.: 21.021.606  
Santiago Leonardo  
C.I.: 21.214.803  
**Tutor:** Ing. León Eycer

San Diego, Junio 2015



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, Ingeniero León Eycer portador de la cédula de identidad N° 6.862.516, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el(los) ciudadano(s) Barragán Camilo y Santiago Leonardo, portador(es) de la cédula de identidad N° 21.021.606 y 21.214.803, (respectivamente), titulado **PROPUESTA DE UN REDISEÑO GEOMÉTRICO VIAL DEL RETORNO UBICADO EN LA AUTOPISTA BÁRBULA – GUACARA A LA ALTURA DEL KM 13+500**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 8 días del mes de Junio del año dos mil quince.

---

Ing. León Eycer.  
C.I.: 6.862.516



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

San Diego, DÍA 08 MES 06 AÑO 2015

**ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **PROPUESTA DE UN REDISEÑO GEOMÉTRICO VIAL DEL RETORNO UBICADO EN LA AUTOPISTA BÁRBULA – GUACARA A LA ALTURA DEL KM 13+500**, ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. León Eycer  
Tutor Académico

\_\_\_\_\_

Firma

\_\_\_\_\_

Fecha

Ing. Alicia de Pizzella  
Tutor Metodológico

\_\_\_\_\_

Firma

\_\_\_\_\_

Fecha

## **DEDICATORIA**

Camilo Barragán

Principalmente le dedico este trabajo de grado a DIOS, por darme salud y vida a lo largo de este camino y porque en quien dios confía todo le sale bien.

A mis padres por ser mi gran ejemplo, por darme fuerzas para seguir adelante y por ser mi gran inspiración para culminar con mis estudios.

A mi hermano quien siempre estuvo allí cuando más lo necesitaba.

A mi familia en general, que a pesar de la distancia contaba con todo su apoyo.

A mis amigos quienes me dieron todo su apoyo y motivación.

A mis compañeros de clase que se convirtieron en amigos, hermanos y futuros colegas.

A mi novia por estar todos esos días de trabajo dándome ánimo para poder culminar con este trabajo.

A todas esas personas que de una u otra forma hicieron parte de este trabajo de grado.

Leonardo Santiago

Quisiera dedicar este Trabajo de Grado a mi madre Ana Silva que ha sido mi fuerza para seguir adelante en todo momento, a mi hermano por su apoyo incondicional que siempre me ha dado. A mi familia que siempre ha estado a mi lado apoyándome. Así como también a todos mis compañeros de clase que de alguna u otra forma han sido parte de este logro, en especial a los que son ahora amigos cercanos.

## ÍNDICE

CONTENIDO	Pp.
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>RESUMEN</b> .....	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	6
1.3 Objetivos de la Investigación.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación.....	6
1.5 Alcance.....	7
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases Teóricas.....	10
2.2.1 Alineamiento horizontal.....	10
2.2.1.2 Factores a considerar en el diseño geométrico Horizontal.....	12
2.2.2 Curvas circulares simples.....	12
2.2.2.1 Elementos de las curvas circulares simples.....	13
2.2.3 Curvas Circulares compuestas.....	14
2.2.3.1 Curvas circulares compuestas de dos radios.....	14
2.2.4 Velocidad de proyecto.....	15
2.2.5 Vehículos.....	16
2.2.5.1 Aceleración y desaceleración de los vehículos....	17
2.2.6 Radios mínimos.....	18
2.2.7 Peralte.....	19
2.2.7.1 Cálculo del peralte.....	20
2.2.7.2 Transición de peralte.....	20
2.2.8 Canales auxiliares.....	22
2.2.9 Sobreechancho en las curvas.....	22
2.2.9.1 Transición del sobreechancho.....	24
2.2.10 Disposición de las salidas en la vía principal.....	25
2.2.11 Disposición de las entradas en la vía principal.....	28
2.2.12 Retornos en U.....	30
2.2.13 Alineamiento Vertical.....	31
2.2.14 Pendientes máximas y mínimas.....	31

2.2.15 Curvas verticales.....	32
2.2.15.1 Tipos de curvas verticales.....	32
2.2.16 Definición de términos básico.....	35
<b>III MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>38</b>
3.1 Tipo de Investigación.....	38
3.2 Nivel de la Investigación.....	38
3.3 Diseño de la Investigación.....	39
3.4 Población y Muestra.....	40
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	40
3.5 Fases Metodológicas.....	41
<b>IV ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	
4.1 Desarrollo.....	42
4.2 Conclusión.....	83
4.3 Recomendaciones.....	86
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>90</b>

## LISTADO DE TABLAS

### CONTENIDO

<b>TABLA</b>		<b>Pp.</b>
1	Velocidades de diseño.....	16
2	Clasificación de vehículos.....	17
3	Rango de aceleración y desaceleración.....	18
4	Radios mínimos en función del tipo de vehículo.....	18
5	Radios mínimos.....	19
6	Pendiente relativa de los bordes de las calzadas con respecto al eje.....	21
7	Longitudes de desaceleración.....	26
8	Longitudes de aceleración.....	28
9	Ancho de isla.....	30
10	Pendientes máximas.....	31

## LISTADO DE FIGURAS

### CONTENIDO

FIGURA		Pp.
1	Planta de Vía.....	11
2	Alineamiento Horizontal.....	11
3	Curvas Circulares.....	12
4	Curva circular simple.....	13
5	Curvas circulares compuestas de dos radios.....	14
6	Transición de peralte sobre la tangente de la curva simple.....	20
7	Sobreancho en curvas.....	24
8	Transición del sobreancho en curva circular simple.....	24
9	Características para el cálculo de transición del sobreancho.....	25
10	Canal de desaceleración con ángulo de divergencia.....	27
11	Canal de desaceleración paralelo a la vía.....	27
12	Disposiciones de salida.....	29
13	Representación de un retorno para vías rápidas.....	30
14	Elementos curva verticales.....	32
15	Curva vertical convexa.....	33
16	Curva vertical cóncava.....	33
17	Curva vertical convexa con visibilidad de frenado.....	34
18	Curva vertical cóncava con visibilidad de frenado.....	35
19	Características Geométricas del Canal de desaceleración – Estación Bosqueserirno.....	42
20	Características Geométricas del Canal de aceleración – Estación Bosqueserirno.....	43
21	Características Geométricas del Canal de aceleración y desaceleración del retorno sentido Guacara – Bárbula.....	43
22	Características Geométricas del Canal de aceleración y desaceleración del retorno sentido Bárbula – Guacara.....	44
23	Plano general del trazado del área en estudio.....	4

24	Vista de corte de la Autopista Bárbula – Guacara.....	45
25	Curva simple 1 del retorno Guacara – Bárbula.....	52
26	Curva simple 2 del retorno Guacara – Bárbula.....	52
27	Curva simple 1 del retorno Bárbula – Guacara.....	53
28	Curva simple 2 del retorno Bárbula – Guacara.....	54
29	Características geométricas del Canal de Incorporación de la Estación Bosqueserino.....	55
30	Características geométricas del Canal de Desincorporación de la Estación Bosqueserino.....	55
31	Características geométricas del canal de incorporación y desincorporación de la Concretera Frame.....	56
32	Características geométricas de los Retornos.....	57
33	Sobreebanco retorno Guacara – Bárbula.....	58
34	Sobreebanco retorno Bárbula – Guacara.....	58
35	Características geométricas del dispositivo a desnivel con tramo recto sentido Guacara – Bárbula.....	62
36	Perfil longitudinal Elevado 1 Guacara – Bárbula.....	63
37	Curva Vertical V1 Elevado 1 Guacara – Bárbula.....	63
38	Curva Vertical V2 Elevado 1 Guacara – Bárbula.....	64
39	Curva Vertical V3 Elevado 1 Guacara – Bárbula.....	64
40	Curva Vertical V3 Elevado 1 Guacara – Bárbula.....	64
41	Características geométricas del dispositivo a desnivel con tramo recto sentido Bárbula – Guacara.....	66
42	Perfil longitudinal Elevado 1 Bárbula – Guacara.....	67
43	Curva Vertical V1 Elevado 1 Bárbula – Guacara.....	67
44	Curva Vertical V2 Elevado 1 Bárbula – Guacara.....	68
45	Curva Vertical V3 Elevado 1 Bárbula – Guacara.....	68
46	Curva Vertical V4 Elevado 1 Bárbula – Guacara.....	68
47	Características geométricas del dispositivo a desnivel con curva circular constante sentido Guacara – Bárbula.....	72

48	Perfil longitudinal Elevado 2 Guacara – Bárbula.....	73
49	Curva vertical V1 Elevado 2 Guacara – Bárbula.....	74
50	Curva vertical V2 Elevado 2 Guacara – Bárbula.....	74
51	Curva vertical V3 Elevado 2 Guacara – Bárbula.....	74
52	Curva vertical V4 Elevado 2 Guacara – Bárbula.....	75
53	Transición de peralte Elevado 2 sentido Guacara – Bárbula.....	76
54	Características geométricas del dispositivo a desnivel con curva circular constante sentido Bárbula – Guacara.....	79
55	Perfil longitudinal Elevado 2 Bárbula – Guacara.....	79
56	Curva vertical V1 Elevado 2 Bárbula – Guacara.....	80
57	Curva vertical V2 Elevado 2 Bárbula – Guacara.....	80
58	Curva vertical V3 Elevado 2 Bárbula – Guacara.....	80
59	Curva vertical V4 Elevado 2 Bárbula – Guacara.....	81
60	Transición de peralte Elevado 2 sentido Bárbula – Guacara.....	82



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROPUESTA DE UN REDISEÑO GEOMÉTRICO VIAL DEL RETORNO  
UBICADO EN LA AUTOPISTA BÁRBULA - GUACARA A LA ALTURA  
DEL KM 13+500**

**Autor(es):** Barragán Camilo y Santiago Leonardo.

**Tutor(a):** León Eycer.

**Fecha:** Junio 2015.

**RESUMEN**

El problema base de la investigación se refiere principalmente al riesgo de colisión de vehículos que existe en la vía expresa Bárbula – Guacara, debido al mal diseño geométrico que presenta actualmente el retorno y los canales de incorporación y desincorporación en ambos sentidos, ubicados a la altura del km 13+500. Es por esto que la presente investigación tiene como objetivo principal la propuesta de un rediseño geométrico, el cual cumpla con las normativas estipuladas en la normativa AASHTO 2004 y la Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras. En busca de la solución se estudiarán las características de diseño que poseen actualmente los dispositivos viales en estudio, y así determinar las principales causas que originan el problema. En base a esto se planteará una propuesta que permita a los usuarios el uso de los dispositivos viales de forma segura y controlada. La metodología a utilizar es de campo bajo la modalidad de proyecto factible, para lograr cumplir con los objetivos planteados, ya que la misma representa una solución viable a la problemática observada en el área de estudio.

**Descriptor(es):** rediseño geométrico, retorno, incorporación y desincorporación

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en el país muchas de las obras de vialidad muestran deficiencias, en cuanto al criterio de diseño, proyección a futuro, seguridad, acabado, entre muchas otras, haciendo que el tránsito por dichas obras no sea del todo confortable. La buena planificación y ejecución de una obra de vialidad permitiría a los usuarios la movilidad entre regiones y/o zonas, de una manera segura, sin poner en riesgo sus vidas, que a la larga contribuya a disminuir la accidentabilidad y siniestralidad de la zona, y a su vez se traduzca en el aumento de su calidad de vida.

Una estrategia para la solución del caos vehicular es apuntar al diseño o rediseño del espacio que se denomina como vialidad, mejorando la vialidad, siendo necesaria una dotación de elementos que satisfagan las exigencias del usuario, prestándole diferentes usos y funciones. Se debe relacionar de manera armónica con el entorno inmediato, como elemento conformador del paisaje urbano, en el que cada uno tiene una importancia orgánica en el conjunto, junto a sus atributos particulares, ya que la visión como paisaje no es fraccionada. De la misma manera debe ser la relación con el usuario, ya que debe responder a las necesidades específicas de los habitantes de la zona y de las actividades que estos desarrollen en el sitio.

En este orden de ideas, la presente investigación plantea como objetivo principal el rediseño geométrico del retorno ubicado en la autopista Bárbula – Guacara, a la altura del km 13+500, como una solución a la baja condición de seguridad que presenta actualmente.

El rediseño presentado, no es aislado ni tiene carácter provisional, el mismo en su concepción pretende integrarse, lo que lo convierte en un proyecto posible, real y factible.

Para la presentación del estudio y el planteamiento del rediseño, el presente trabajo se dividió en cuatro capítulos distribuidos de la siguiente manera:

-En el primer capítulo, se plantea el problema, los objetivos que persigue el trabajo, su alcance y posibles limitaciones.

.-En el segundo capítulo, se plantea el marco teórico que sirve de base para el desarrollo del trabajo.

.- En el tercer capítulo, se describe el marco metodológico que guía a la investigación y a su posterior propuesta.

.- En el cuarto capítulo, se describe los recursos humanos, institucionales, materiales y el tiempo que fueron necesario para la redacción de la presente investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

A lo largo de los años las vías de comunicación han sido una parte indispensable en el desarrollo de los países, el rol de las vías de comunicación es permitir los desplazamientos de las personas para intercomunicar poblaciones, es por esto que las vías de comunicación deben garantizar la seguridad, fluidez, confiabilidad, comodidad y eficiencia. Un tipo de las vías de comunicación, conocida como las vías de comunicación terrestres, tienen una gran importancia en el desarrollo urbano debido a los beneficios socioeconómicos que aportan, como lo son el acceso a centros de empleos, fortalecimiento de economías locales y servicios. Según Aguilera (2009) “las carreteras surgieron a partir de la necesidad del hombre de transitar, de viajar, de intercambiar productos y sobretodo esa inquietud humana por movilizarse y conocer nuevos lugares” (Pag. 20).

Dentro de este marco es importante tener en cuenta las consideraciones bajo las cuales se encuentra el diseño geométrico de las carreteras, de acuerdo con Cardenas (2002) “en el proyecto de una carretera, el diseño geométrico es la parte más importante, ya que a través de él se establece la configuración geométrica tridimensional, con el propósito de que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente” (Pag. 4).

El diseño geométrico de una carretera es una de las condiciones bajo las cuales pueden ocurrir accidentes viales; es importante señalar que ningún diseño vial puede garantizar la eliminación de accidentes, por consiguiente las vías deben ser diseñadas para que se permita una tolerancia con respecto a errores que se cometan al conducir o accidentes mecánicos fortuitos, es por ello que existen normas que establecen parámetros para el diseño de carreteras, a fin de brindar un índice de seguridad vial que permita disminuir la cantidad y gravedad de los

accidentes. Según la Norma Venezolana para el Proyecto de Carreteras (1997) se entiende como seguridad vial todas aquellas condiciones implantadas en ella que favorezcan las probabilidades de un conductor para terminar su viaje sin accidentes, o en caso de sufrirlo, pueda salir de él con menos daños, de acuerdo a las circunstancias (Pag. 61).

En Venezuela la situación de las vías de comunicación terrestres está siendo cuestionada notablemente en los últimos años, lo que se hace evidente al consultar información sobre las vías de comunicación terrestre; como los aspectos de mantenimientos, alternativas viales, seguridad vial y calidad, que cada vez están más a la palestra pública, he ahí la necesidad de ofertar diseños que respondan a las necesidades sentidas de las comunidades y usuarios. De acuerdo a registros elaborados a través de anuarios el Instituto Nacional del Transporte Terrestre, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, y el Ministerio Popular para la Salud, han estimado que en el periodo 2000 – 2012 hubo una cantidad de 80.399 víctimas por accidentes de tránsito, además estimaron que el 98% de los accidentes se encuentra atribuido al exceso de velocidad.

Dentro de este orden de ideas, en el país, específicamente en la autopista Bárbula – Guacara ubicada en el Estado Carabobo, autopista que circunvala a la Autopista Regional de Centro, en los últimos años ha presentado un alto índice de usuarios debido al desarrollo y crecimiento constante de las zonas adyacentes a San Diego y Naguanagua; producto de este desarrollo y crecimiento en la progresiva 13+500 se ha generado una zona con muy bajo índice de seguridad vial, producto del mal diseño geométrico de los dispositivos viales que intervienen en la zona. En este punto se encuentra un retorno con canales de incorporación y desincorporación que no satisfacen con la longitud normativa de entrada y salida, esto sumado a que la salida del retorno es hacia un canal rápido y viceversa para la entrada, ocasionan que exista una latente probabilidad de ocurrir accidentes.

Debe señalarse también que en esta autopista sentido norte - sur existe un tramo donde la topografía favorece al aumento de velocidad de los vehículos que circulan por ella, dicho aumento ocasiona que haya aún más una alta probabilidad de ocurrir accidentes vehiculares en la zona ubicada frente a la Estación de

Servicio Bosqueserino. Características topográficas como éstas junto con un mal diseño vial generan en los vehículos condiciones inseguras para su circulación, debido a que se ven expuestos a constantes cambios de velocidad, a la utilización permanente de los frenos y a la acción retardante de sus motores, medidas que no son siempre suficientes para mantener a los vehículos bajo control, traduciéndose a menudo en accidentes por fallas mecánicas en el sistema de frenos. La combinación de vehículos de grandes dimensiones, como camiones y autobuses, con pendientes fuertes, representa un elevado riesgo para los usuarios de las vías.

Por otra parte el mal diseño del canal de aceleración de la Estación de Servicio Bosqueserino donde la cuña de salida se encuentra ubicada en paralelo al canal de desaceleración del retorno sentido sur – norte permite que usuarios inconscientes puedan atravesar la autopista para ingresar al retorno directamente, esta maniobra prohibida genera un punto crítico de accidentabilidad, haciendo que los que circulen por la autopista en sentido Bárbula - Guacara tengan que realizar maniobras de esquite que pueden comprometer sus vidas. Además de estas situaciones de baja seguridad vial producto del mal diseño geométrico existe otro punto crítico, el cual es producido por la ubicación de la Concretera Frame, debido a que el canal de desaceleración del retorno sentido Bárbula - Guacara de la autopista se encuentra frente a la entrada de la concretera, los camiones que se dirigen hacia la concretera realizan la maniobra del ingreso directo atravesando el ancho de la autopista. Esta problemática, que atenta con la vida, bienestar, salud, tranquilidad, seguridad y por ende con la perspectiva de calidad de vida de los usuarios, debe ser atendida y expeditamente solucionada, para disminuir considerablemente la alta probabilidad que existe de accidentes viales en la zona, salvaguardando así la integridad de las personas, y por otra parte dar respuesta a una necesidad real y sentida que afecta de manera importante el desarrollo socioeconómico de la población.

En perspectiva de lo anteriormente expuesto, surge la necesidad de rediseñar bajo parámetros normativos las características geométricas existentes actualmente de los dispositivos viales, que basados en las necesidades de los usuarios, permita

las incorporaciones y desincorporaciones a la autopista de forma fluida y más segura.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo se puede reducir el riesgo de colisión de vehículos en la autopista Bárbula – Guacara, específicamente en el retorno ubicado frente a la Estación de Servicio Bosqueserino?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo General**

Proponer un Rediseño Geométrico Vial del retorno ubicado en la Autopista Bárbula – Guacara a la altura del km 13+500.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un levantamiento topográfico a fin de tener la información completa de la geometría vial en la autopista Bárbula - Guacara a la altura del km 13+500.
- Diagnosticar las condiciones de seguridad que presenta actualmente el retorno ubicado en la Autopista Bárbula – Guacara a la altura del km 13+500.
- Rediseñar las características geométricas viales del retorno y los canales de incorporación y desincorporación de la Estación de Servicio Bosqueserino y la Concretera Frame.
- Proponer una solución que permita a los conductores el uso del retorno ubicado en la autopista Bárbula – Guacara en el km 13+500 de forma segura y controlada.

### **1.3. Justificación de la investigación**

Cuando una vialidad de importancia no cumple con los parámetros de diseño geométricos que brindan seguridad y eficiencia, es necesario proponer opciones de la manera más óptima para brindar a los usuarios una mejor confiabilidad. La autopista Bárbula - Guacara también conocida como La Variante representa una de las principales vías del estado Carabobo, ya que circunvala a la autopista regional del centro en su tramo de Guacara permitiendo disminuir el congestionamiento de la Regional del Centro en su paso por la Zona Industrial, al

mismo tiempo permite a los usuarios transitando en la Regional del Centro una opción de llegar al norte de Valencia o ir a Puerto Cabello sin pasar por las congestionadas vías de Valencia.

Es por esto que el diseño geométrico es una parte muy importante dentro de un proyecto de construcción o mejoramiento de una vía, pues allí se determina su configuración tridimensional, es decir, la ubicación y la forma geométrica definida para los elementos de la carretera, de manera que esta sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente, es decir, que los beneficios esperados sean mucho mayores que los costos.

Con base de esto, la importancia del presente trabajo se fundamenta en el aporte de una alternativa para la problemática de seguridad vial que existe en la autopista Bárbula - Guacara, específicamente en el retorno ubicado frente a la estación de servicio Bosqueserino, este retorno no cuenta con las características geométricas necesarias para que exista una incorporación nuevamente por uso de forma segura y controlada.

#### **1.4. Alcance y limitaciones**

Este tipo de proyecto necesita para su desarrollo y puesta en práctica una serie de consideraciones, que van más allá del punto de vista técnico e incluye aspectos relativos a recursos humanos, recursos económicos y la elaboración de una serie de proyectos previos, como lo son: selección de la zona, diseño geométrico, señalización e iluminación.

El alcance del presente proyecto, en su elaboración, tiene previsto, enfocar la propuesta en dos aspectos básicos de su desarrollo como lo son: selección de la ubicación y el rediseño geométrico de los dispositivos viales en estudio incluyendo los canales de incorporación y desincorporación de la Estación de Servicio Bosqueserino y la Concretera Frame.

Las limitaciones del rediseño geométrico están representadas por el espacio que ocupa la infraestructura de puente inconclusa, por el ancho de la isla de la doble calzada y la longitud que existe entre retornos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Teniendo en cuenta trabajos anteriores y referencias bibliográficas vinculadas con el proyecto, se ha logrado obtener información de gran utilidad para el desarrollo del mismo, permitiendo ampliar los conocimientos y así afianzar el desarrollo de la investigación.

Arrayago, N. (2013) realizó una tesis de grado en la Universidad José Antonio Páez, titulada "**Propuesta Para Diseñar La Distribución Vial De Puente De Bárbula En Naguanagua - Estado Carabobo**". En dicho trabajo se diagnosticó la situación presentada en Puente de Bárbula, identificando las causas del retraso vehicular en las vías adyacentes. Esta investigación se desarrolló bajo los lineamientos de proyecto factible, para lograr cumplir los objetivos planteados, ya que la misma representa una solución viable a la problemática observada en el municipio, apoyada con un diseño de campo con nivel descriptivo.

En referencia a esto, la investigación aporta herramientas útiles para el desarrollo de un rediseño vial, con el fin de aportar un mejor funcionamiento del servicio. Dichas herramientas pueden ser de gran importancia para la investigación ya que la aplicación de estas permite mejorar las condiciones de seguridad de una vialidad.

Por su parte, Avila Alicia y Villegas Diana (2007), en un trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil "**Diseño Geométrico De Un Dispositivo Vial En La Troncal 11, Progresiva 83+000 Bejuma – Edo. Carabobo**", el cual trata de plantear una solución factible, viable y duradera, tomando en cuenta la situación y diseño geométrico actual de la vía, en el que se estudia el tránsito en el sector y se plantean diferentes alternativas de ubicación de la solución,

seleccionando la más favorable siendo ésta la que posteriormente se diseña. Visto de esta forma, el conocimiento y los aportes que genera este proyecto son de suma importancia para el desarrollo de nuevos dispositivos viales.

Por otro lado, Bellera José y Sanda Miguel (2005), **“Diseño geométrico del distribuidor la Cumaca ubicado en la progresiva 9+200 de la vía expresa Variante Bárbula - San Diego”** en el estado Carabobo, este Proyecto nace, como producto de la necesidad de un Diseño que cumpliera con las condiciones necesarias, de conexión, tráfico y confort para los conductores.

Para llevar a cabo dicho Proyecto, se consideraron las recomendaciones establecidas en: AASHTO (2004) para el Diseño de Distribuidores, su selección como propuesta se basó en proyecciones de tránsito realizadas a partir de volúmenes de tráfico actuales y el crecimiento registrado en los últimos diez (10) años, a raíz de los desarrollos habitacionales planteados (entre otros) en la zona.

En este orden de ideas, Escobar Guillermo (2014), **“Proceso constructivo del retorno vehicular elevado Vado II, en el km 12+839.823 de la autopista Guadalajara – Zapotlanejo”** Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil. En el cual especifica que debido a los problemas de tránsito se ha construido el retorno vehicular elevado Vado II localizado en el km 12+839.823 de la autopista Guadalajara - Zapotlanejo. De igual forma, se muestra el proceso constructivo del retorno que da solución a los problemas que se presentan en ese lugar. Así mismo, el objetivo de esta investigación es documentar el proceso de construcción del retorno. Además, esta investigación aporta una gran cantidad de conocimientos con respecto al diseño de los retornos, la construcción y los procedimientos empleados para la realización de los mismos.

Dentro de estas propuestas, los ingenieros civiles Arcos Edna y Rojas Guillermo (2014), en un trabajo de grado **“Geometría para los retornos viales con doble calzada en Colombia”**, para optar por el título de Especialista en ingeniería de pavimentos, describen cómo se puede desarrollar una adecuada geometría de los retornos con doble calzada con base en las especificaciones AASHTO y con los últimos avances tecnológicos como un software especializado. De este modo, expresan que Colombia no cuenta con una

geometría y especificaciones que cumplan con todas las etapas de diseño y trazado de los retornos que ayuden a mejorar el nivel de servicio y permita adecuarla a las condiciones requeridas por el tránsito actual y futuro. Además, este trabajo de grado deja como aprendizaje que siguiendo las normativas correspondientes se pueden elaborar proyectos que brinden un mejor servicio a la sociedad.

Por último, la firma DIVAS INGENIEROS (2011) encargados de la parte del diseño geométrico y estudio de alternativas en el proyecto **“Estudios y Diseños definitivos para la construcción del intercambio vial de La Salle Etapa 1”** ubicado en el Municipio de Envigado Colombia. Proyecto que se generó debido a la urgente necesidad de mejorar la movilidad en el cruce de la avenida el poblado con la paralela a la Ayura, ya que es un cruce neurálgico y presenta un flujo lento. En igual forma, se generó para solucionar y prevenir los problemas en materia de tránsito y espacio público, hacia el futuro desarrollo de la ciudad. Dentro de este marco, este proyecto deja en evidencia que no siempre el primer planteamiento es el que se va a ejecutar, ya que, siempre van a haber factores que impidan la realización de este.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Alineamiento horizontal**

El diseño geométrico en planta de una carretera, o alineamiento horizontal, es la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por curvas.

Para Andueza Pedro (1989) el alineamiento horizontal de una vía está definido como “La planta de la carretera es la proyección de esta sobre un plano horizontal. Está compuesta por rectas y curvas horizontales” (P. 302). (Ver figura 1)

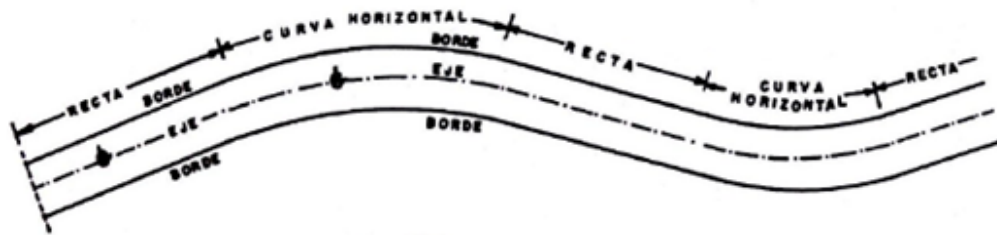


Figura 1 Planta de Vía

Fuente: Andueza P. (1989)

Las rectas se caracterizan por su longitud y su dirección (rumbo o azimut).

Las prolongaciones de dos rectas consecutivas se cortan en el vértice “V”.

El cambio de dirección se mide por el ángulo de deflexión “ $\Delta$ ”, el cual se define como el formado por la prolongación de la recta de entrada con la recta de salida.

Recorriendo la carretera desde el origen, el ángulo  $\Delta$  es positivo cuando se mide en sentido de las agujas del reloj, y negativo en sentido contrario.

Los cambios de dirección de las rectas se suavizan con las curvas horizontales, las cuales se caracterizan por su curvatura y su longitud.

Recorriendo la vía desde el origen, las curvas se llaman a la derecha cuando  $\Delta$  es positivo y a la izquierda cuando  $\Delta$  es negativo. (Ver figura 2)

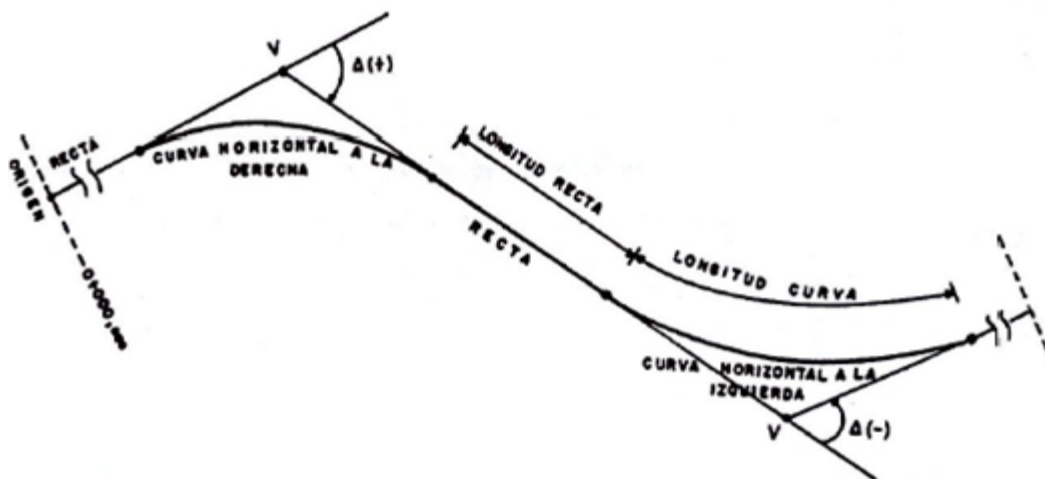


Figura 2 Alineamiento Horizontal

Fuente: Andueza P. (1989)

En el diseño del alineamiento horizontal se utilizan curvas circulares (radio de curvatura constante) y a las curvas de transición (radios de curvatura variables). (Ver figura 3)

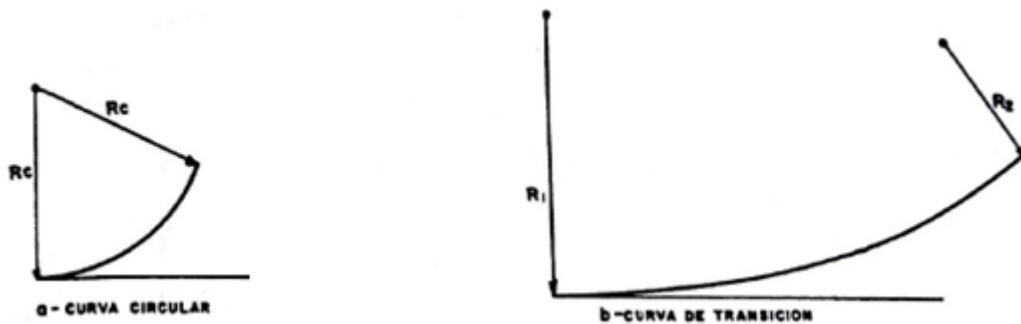


Figura 3 Curvas Circulares

Fuente: Andueza P. (1989)

#### 2.2.1.2. Factores a considerar en el diseño alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal es una de las partes más importante en el diseño de una vía ya que es donde se trazan las dimensiones de la sección transversal. Bajo estas consideraciones Andueza Pedro (1989) establece ciertas consideraciones en el diseño del alineamiento horizontal de una vía (P. 305), las cuales son:

- El alineamiento horizontal debe garantizar un manejo seguro, cómodo y con buena apariencia para los usuarios de la vía.
- El diseño de las rectas debe considerar la visibilidad, el encandilamiento y la somnolencia.
- En las curvas debe tenerse en cuenta la visibilidad, la cual es menor que en las rectas. La aparición de la fuerza centrípeta conlleva al uso del peralte en las curvas de transición.

#### 2.2.2. Curvas circulares simples

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales.

Para Andueza Pedro (1989) las curvas circulares simples “Son arcos de círculos de un solo radio. Enlazan entre si dos rectas o tangentes del alineamiento horizontal” (P. 306).

### 2.2.2.1. Elementos de las curvas circulares simples

En la siguiente figura (Ver figura 4) se indican los elementos más importantes, así como la nomenclatura correspondiente a las curvas circulares simples. (Ver figura 4)

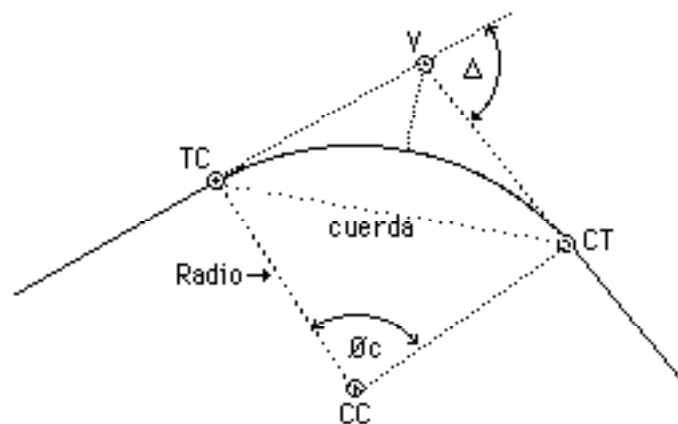


Figura 4 Curva circular simple

Fuente: Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras (1997)

V: Vértice de la curva.

$\Delta$ : Ángulo de deflexión de las rectas o tangentes

$\varnothing_c$ :  $\Delta$  (En el diseño de curvas circulares simples por geométrica ambos términos son de igual valor).

CC: Centro de la curva.

R: Radio de la curva.

TC: Tangente de entrada de la curva

CT: Tangente de salida de la curva.

Cuerda: distancia en línea recta desde el punto donde termina TC hasta el punto donde termina CT.

PC. Punto de inicio de la curva.

PT. Punto donde termina la curva.

L: Longitud del arco de circunferencia.

E: Distancia desde el PI hasta el centro de la curva

De acuerdo con la Norma para el Proyecto de Carretera del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (1997) establece que para el cálculo de los elementos de las curvas circulares simples es la siguiente:

$$\text{Tangente (TC y CT)} = R \cdot \text{tg} \frac{\Delta}{2}$$

$$\text{Longitud de arco (L)} = \frac{\pi \cdot R \cdot \Delta}{180}$$

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

$$\text{Cuerda (C)} = 2 \cdot R \cdot \text{sen} \frac{\Delta}{2}$$

### 2.2.3. Curvas circulares compuestas

Las curvas circulares compuestas son aquellas que están formadas por dos o más curvas circulares simples. Este tipo de curvas a pesar de que no son muy comunes, son utilizadas en terrenos montañosos, o cuando se quiere que la carretera quede lo más ajustada a la posible forma del terreno. También se puede utilizar cuando existen limitaciones de libertad en el diseño.

#### 2.2.3.1. Curvas circulares compuestas de dos radios

En la siguiente figura (Ver figura 5) se definen los diferentes elementos geométricos de una curva circular simple compuesta por dos radios.

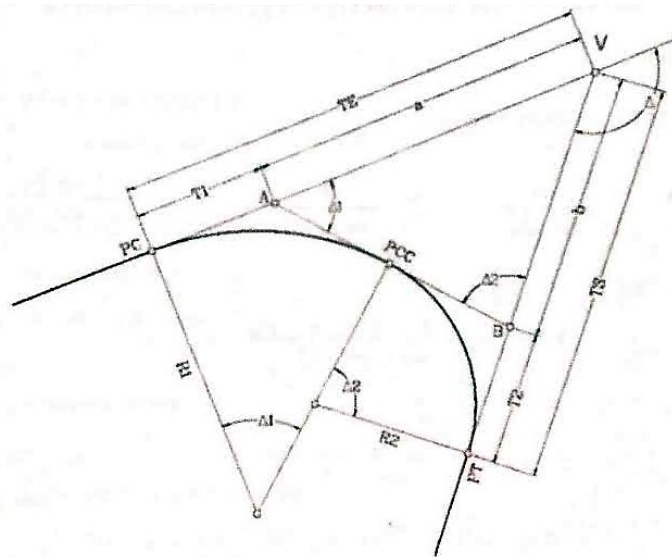


Figura 5 Curva circular simple compuesta por dos radios

Fuente: León E. (2013)

$\Delta$ : Angulo de deflexión entre tangentes.

TE: Tangente de entrada.

TS: Tangente de salida.

T1: Tangente – Curva 1.

T2: Tangente – Curva 2.

PC: Punto de curva.

PCC: Punto común de curva.

$\Delta 1$ : Angulo de deflexión – Curva 1.

$\Delta 2$ : Angulo de deflexión – Curva 2.

A: Punto vértice de Curva 1.

B: Punto vértice de Curva 2.

Formulas adicionales para el diseño de curvas circulares compuestas de dos radios:

$$\Delta C3 = \Delta C1 + \Delta C2$$
$$\frac{a}{\text{sen } \Delta C2} = \frac{b}{\text{sen } \Delta C1} = \frac{T1 + T2}{\text{sen } (180^\circ - \Delta t)}$$
$$TE = T1 + a$$
$$TS = T2 + b$$

#### 2.2.4. Velocidad de proyecto

La velocidad proyecto es la velocidad escogida para proyectar y relacionar los elementos geométricos de una vía. Este valor represente la máxima velocidad que se puede mantener un conductor promedio en condiciones normales de circulación, es decir, cuando las condiciones son tan favorables que la velocidad está gobernada principalmente por las características geométricas de la vía. La velocidad es uno de los más importantes factores que los viajeros consideran al seleccionar entre medios de transporte o entre alternativas de rutas, la calidad de un medio de transporte a movilizar personas o mercancías se juzga por su eficiencia y economía, las cuales están directamente relacionadas con la velocidad. Según Jairo Agudelo (2002) define la velocidad de proyecto como “la máxima velocidad a la cual se puede transitar de una manera cómoda y segura, bajo condiciones favorables, durante un tramo determinado de vía (Pag. 64)”.

La velocidad de proyecto corresponde a una velocidad de referencia que sirve de guía para definir las especificaciones mínimas para el diseño geométrico. La velocidad de proyecto en la investigación ya está definida bajo los lineamientos del diseño de la vía expresa Bárbula – Guacara, es importante

conocer este dato ya que permitirá el posterior rediseño geométrico del área en estudio bajo las características reales por la cual se encuentra diseñado actualmente.

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Venezuela (1997) en la Norma para el Diseño de proyectos de Carreteras, establece las velocidades de diseño recomendadas de acuerdo a las características topográficas donde se hará el diseño se especifican en la siguiente tabla. (Ver tabla 1)

Tabla 1 Velocidades de diseño

Terreno	AUTOPISTAS	CARRETERAS
Llano	100 - 130	90 - 120
Ondulado	80 - 120	60 - 100
Montañoso	70 - 100	30 - 80

Velocidades en Km/hora

Fuente: Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras (1997)

### 2.2.5. Vehículos

El vehículo es el nexo entre el conductor que lo maneja y la vía que lo contiene, por lo que un estudio de sus características y comportamiento es fundamental. En el diseño de una carretera es necesario tener en cuenta las características físicas de los vehículos que han de utilizarla durante su vida útil, se requiere de estudios previos que permitan determinar qué tipos de vehículos, y en qué proporción, circularan por esta. De este modo la gran variedad de vehículos que existen pueden ser reducidos a unas cuantas clases, cada una de estas clases conforman lo que se llama Vehículo de Diseño. Los vehículos de diseño son vehículos seleccionados por el peso, las dimensiones y las características de operación para establecer parámetros del diseño de la vía. La Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras y en la AASHTO 20004 se clasifica a los vehículos de acuerdo a la siguiente tabla. (Ver tabla 2)

Tabla 2 Clasificación de Vehículos

Tipo	Símbolo	Usos
Liviano	P	Pasajeros, carga liviana.
Camiones	SU	Carga mediana o pesada, colectivos pequeños.
Semi-remolques	WB-12	Carga pesada, extrapesada.
	WB-15	Igual al WB-12, pero más largo.
	WB-18	No aparece en el Manual Interamericano
	BUS	Similar al SU pero muchas largo.

Fuente: Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras (1997)

### 2.2.5.1. Aceleración y Desaceleración de los Vehículos.

Las aceleraciones y desaceleraciones de los vehículos dependen de muchos factores, cada tipo de vehículo tiene un rango de aceleraciones y desaceleraciones diferentes. Es importante destacar que con los rangos de aceleración y desaceleración es posible calcular las longitudes de los carriles de aceleración y desaceleración que facilitan la entrada y salida de vías de altas velocidades. Esas longitudes se calculan con la siguiente expresión:

$$S = \frac{V^2 - V_o^2}{2 * a}$$

S: Longitud de aceleración o desaceleración.

V: Velocidad final.

Vo: Velocidad inicial.

a: aceleración o desaceleración.

Los valores de la aceleración o desaceleración están tabulados y varían en función del vehículo. (Ver tabla 3)

Tabla 3 Rangos de aceleración y desaceleración

<b>ACELERACIÓN</b>	
Vehículos deportivos	3.5 a 4.5 m/s <sup>2</sup>
Turismos	0.9 a 2.2 m/s <sup>2</sup>
Pesados	0.3 a 0.7 m/s <sup>2</sup>
<b>DECELERACIÓN</b>	
Inicio del frenado	1.0 a 3.0 m/s <sup>2</sup>
Final del frenado	hasta 3.5 m/s <sup>2</sup>
Umbral de comodidad	4.5 m/s <sup>2</sup>
Frenado de emergencia	6.0 m/s <sup>2</sup>

Fuente: Bañón L. y Beviá J. (2005)

### 2.2.6. Radios Mínimos

El radio de giro es una de las condiciones más importantes a la hora de diseñar las curvas. Los radios de giro mínimo de las curvas están definidos por los tipos de vehículos que harán uso de dicha curva. Es importante conocer con exactitud que radios serán los apropiados para el diseño de las curvas de los retornos, ya que conociendo el dato se lograra la proyección de la curva de la forma más apropiada.

La Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras presenta una tabla (Ver tabla 3) en la que se recomiendan longitudes de radios de acuerdo al tipo de vehículo.

Tabla 4 Radios Mínimos en función del tipo de vehículo

<u>Tabla 6.2</u>	<u>RADIOS DE GIRO MINIMOS</u>					
Símbolo	P	SU	WB-12	WB-15	WB-18	BUS
Radio mínimo	7,3	12,8	12,2	13,7	13,7	12,8
Radio mínimo interno	4,2	8,5	5,7	5,8	6,8	7,4

Nota : Los radios anotados corresponden a velocidades mínimas no mayores a 15 kph

Fuente: Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras (1997)

Estudios realizados por distintos autores han logrado tabular distintos valores de radios mínimos en función de la velocidad de diseño de la vía, estos valores de radios mínimos serán de utilidad en el desarrollo de la propuesta para el diseño de las curvas de que se presenten en los dispositivos. (Ver tabla 4)

Tabla 5 Radios mínimos

VELOCIDAD DE PROYECTO Km/H	RADIO MINIMO DE CURVATURA
50	70
60	100
70	150
80	200
90	300
100	400
110	600
120	900

Fuente: León E. (2015)

### 2.2.7. Peralte

Se denomina peralte a la inclinación transversal que se le da a la calzada en las curvas para reducir el efecto de la fuerza centrífuga, dicha fuerza se debe contrarrestar, parte con el peralte y parte con la fricción entre los cauchos del vehículos y el pavimento. En la Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras se adoptan valores máximos de peralte, escogidos según la experiencia, se toma en cuenta el tipo de vía, la composición general del tránsito y la presencia de vehículos más lentos que la velocidad de operación, también se ha adoptado una relación lineal decreciente entre la fricción lateral y la velocidad. Las velocidades consideradas están en el rango entre 30 y 120 kph.

De acuerdo a lo expuesto, se ha adoptado el siguiente rango de valores para los peraltes:

1. Hasta 4% en vías urbanas y sub-urbanas sin control de acceso.
2. Hasta 8% en carreteras, vías expresas y autopistas.
3. Excepcionalmente puede usarse hasta un 10% de peralte, siempre y cuando esté debidamente justificado.

### 2.2.7.1. Cálculo del Peralte

Cuando se presenta en el alineamiento horizontal una curva es necesario modificar la inclinación transversal desde el bombeo hasta el peralte requerido para la curva y luego después de la curva desde el peralte hasta el bombeo nuevamente. Esta modificación en la inclinación transversal, que se debe realizar a lo largo de una longitud apropiada, se denomina transición del peralte.

Para el cálculo del peralte se utiliza la siguiente expresión:

$$P = \left( 0,007865 * \left( \frac{Vp^2}{R} \right) \right) - F$$

Dónde:

Vp: Velocidad de proyecto.

R: Radio de curva.

F: Fuerza de fricción =  $0,26 - 0,01333 * Vp$ .

B: Bombeo por norma = 2% mínimo.

### 2.2.7.2. Transición de Peralte

La transición de elementos sobre la curva circular simple se puede observar en la figura 6 (Ver figura 6), y también se puede apreciar las distancias en las cuales se empezará aplicar el peralte desde el bombeo (2%) hasta el peralte máximo en la transición de la curvatura.

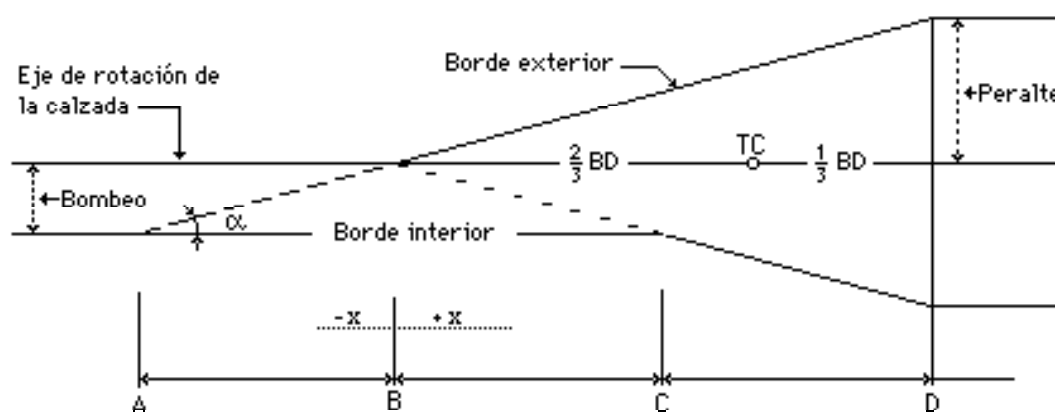


Figura 6 Transición de peralte sobre la tangente de la Curva Simple

Fuente: Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras (1997)

Para llevar a cabo el cambio de la sección transversal de una vía tangente, cuya inclinación se denomina bombeo, a la sección transversal con el peralte

requerido en una curva, se necesita establecer o diseñar una transición entre estos. Se llama longitud de transición a la distancia en que se efectúa el cambio de la sección normal en tangente a la sección con el peralte pleno en la curva. La longitud de transición de peralte se calcula con la siguiente expresión:

$$LT = \frac{\text{Ancho de carril} * P_{\max}}{m(\%)}$$

Dónde:

$P_{\max}$ : Peralte máximo.

m: Máximo valor la pendiente relativa de los bordes de la calzada respecto al eje.

(Ver tabla 6)

Tabla 6 Pendiente relativa de los bordes de la calzada con respecto al eje

VELOCIDAD ESPECIFICA	PENDIENTE RELATIVA DE LOS BORDES CON RESPECTO AL EJE DE LA VIA	
V(Km/h)	MAXIMO (%)	MINIMA (%)
30	1,28	0,1 (CARRIL)
40	0,96	
50	0,77	
60	0,64	
70	0,55	
80	0,50	
90	0,48	
100	0,45	
110	0,42	
120	0,40	

Fuente: Manual de Diseño Geométrico para Carreteras (1998)

Además de la longitud de transición se tiene una longitud N, también conocida como de aplanamiento, esta longitud es la distancia requerida para eliminar el peralte adversario, correspondiente al bombeo de sentido contrario al del peralte de la curva. A lo largo de esta transición la pendiente del carril y la de la berma de la parte exterior de la curva pasa de la pendiente de bombeo usualmente 2,0% a una pendiente de 0,0%.

La ecuación correspondiente al cálculo de N es:

$$N = \frac{\text{Ancho de carril} * P_{\text{bombeo}}}{m(\%)}$$

Dónde:

P<sub>bombeo</sub>: pendiente de bombeo.

m: Máximo valor la pendiente relativa de los bordes de la calzada respecto al eje. (Ver tabla 5)

#### **2.2.8. Canales auxiliares**

Son canales continuos a la calzada, estos están destinados a estacionamiento de vehículos, a operaciones de cambio de velocidad o para otros usos complementarios del tránsito. Entre estos se distinguen:

- Canales de estacionamiento.
- Canales de aceleración.
- Canales de desaceleración.
- Canales de giro.

En base a esto, en la investigación será necesario el rediseño de los canales de incorporación y desincorporación de los dispositivos viales en estudio para que garanticen las condiciones de seguridad de acuerdo a la Norma AASHTO 2004.

#### **2.2.9. Sobreancho en las curvas**

Cuando un vehículo circula por una curva horizontal, ocupa un ancho de la calzada que es mayor a como si transitara en una recta. Esto es debido a la rigidez y dimensiones del vehículo, sus ruedas traseras siguen una trayectoria distinta a la de las ruedas delanteras, ocasionando la dificultad a los conductores para mantener su vehículo en el eje del carril de circulación correspondiente.

En estas circunstancias y con el propósito de que las condiciones de operación de los vehículos en las curvas sean muy similares a las de en rectas, la calzada en las curvas debe ensancharse. Este aumento del ancho se denomina Sobreancho (S) en la curva.

En Colombia el Instituto Nacional de Vías ha optado una expresión para el cálculo de los sobreanchos la cual es:

$$S = n \frac{L^2}{2R}$$

Dónde:

- n: número de carriles de la calzada.
- R: radio de la curva horizontal (m).
- L: longitud más grande del vehículo que transitará por la curva (m).

El I.N.V. tiene las siguientes consideraciones para el cálculo del sobreancho:

- Los valores obtenidos serán redondeados a múltiplos de 0,1 m.
- Para anchos de calzada en rectas mayores a 7 m, no requieren sobreancho a menos que el ángulo de deflexión sea mayor a 120°.
- Curvas con radios mayores a 160 m no requieren sobreanchos.
- El sobreancho mínimo que se puede colocar es 0,4 m.
- El sobreancho se debe colocar solamente en el borde interno de la calzada.

Es por esto que se adoptan los sobreanchos, con el objeto de ayudar al conductor a mantener su vehículo en el centro del canal, especialmente en trazados con curvas de radios pequeños. De aquí la importancia del sobreancho en los retornos a rediseñar. A continuación se presenta una figura donde se visualiza el comportamiento de un sobreancho. (Ver figura 7)

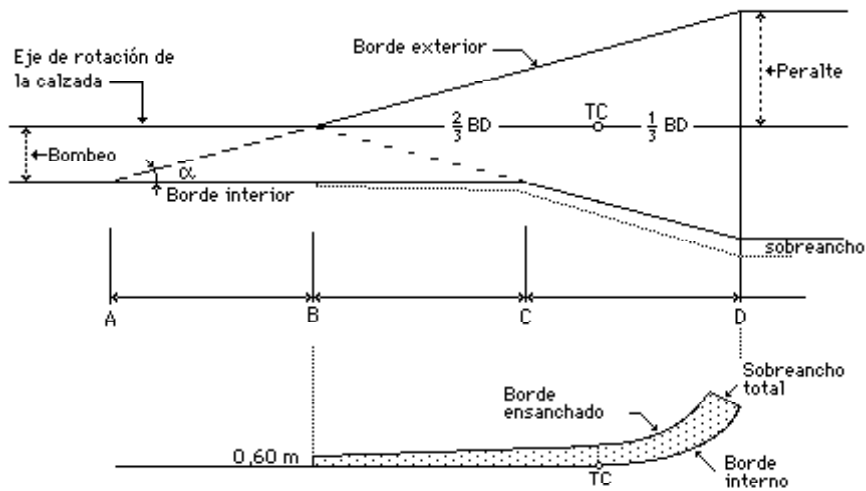


Figura 7 Sobreebanco en curvas

Fuente: Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras (1997)

### 2.2.9.1. Transición del sobreebanco

Con el fin de disponer de un alineamiento continuo en los bordes de la calzada, el sobreebanco debe desarrollarse gradualmente a la entrada y salida de las curvas, de modo que no se observen cambios bruscos en el ancho de la calzada que puedan confundir al conductor, además de generar un aspecto poco estético. En el caso de curvas circulares simple, por razones de apariencia, el sobreebanco debe desarrollarse linealmente a lo largo del lado interno de la calzada en la misma longitud utilizada para la transición de peralte. (Ver figura 8)

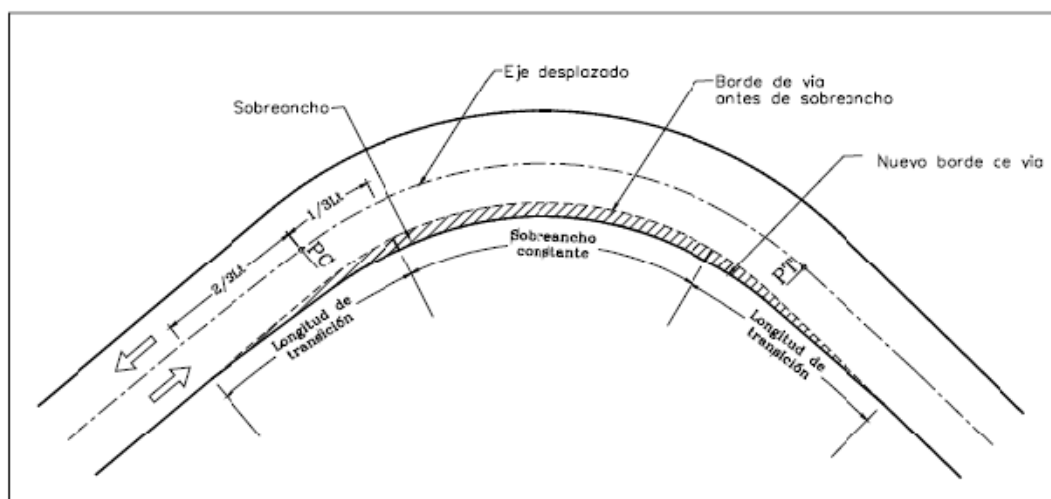


Figura 8 Transición del sobreebanco en Curva Circular Simple

Fuente: Agudelo J. (2002)

Normalmente la transición del sobreebanco de una curva se calcula de forma lineal. Para determinar el valor del sobreebanco en una abscisa cualquiera (x), ubicada sobre la transición del sobreebanco, apoyándose en la figura 9 donde se tiene lo siguiente. (Ver figura 9)

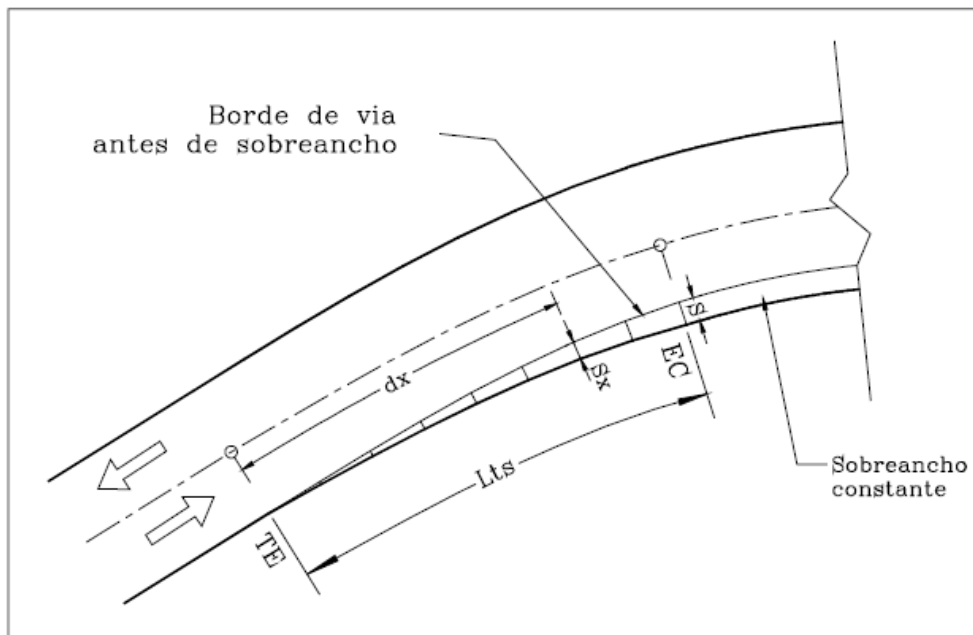


Figura 9 Características para el cálculo de la transición del sobreebanco

Fuente: Agudelo J. (2002)

S: Sobreebanco requerido para la curva.

Lts: Longitud de transición del sobreebanco.

Sx: Sobreebanco en una abscisa x.

dx: Distancia desde inicio de transición del sobreebanco a la abscisa x.

Se plantea entonces la siguiente relación:

$$\frac{S}{Lts} = \frac{Sx}{dx}$$

Luego:

$$Sx = \frac{dx * S}{Lts}$$

Con esta expresión se calcula el valor del sobreebanco en cualquier abscisa ubicada sobre la transición del sobreebanco.

### 2.2.10. Disposición de las salidas en la vía principal

Las salidas deben diseñarse de manera que los vehículos puedan abandonar la vía principal a la velocidad con la cual circulan por ella. Como las velocidades de operación son muy variables, se toma como base la velocidad de diseño de las vías, desde la cual el usuario sale de la vía principal.

Para adoptar una longitud razonable, se presume que el conductor, en un primer tiempo, suelta el acelerador con lo cual el vehículo pierde velocidad por la capacidad de enfrenamiento del motor. En un segundo tiempo, el conductor aplica los frenos de manera suave y gradual. Para facilitar este proceso, es necesario que la velocidad de diseño de la rampa esté claramente señalizada al comienzo de la misma. La distancia entre el inicio de la faja de desaceleración y el comienzo de la curva en la rampa, debe ser la que permita a los vehículos que desaceleran alcanzar la velocidad de diseño de dicha curva.

De acuerdo con la normativa de AASHTO 2004 se establece una longitud de desaceleración ( $L$ ) necesaria para efectuar la maniobra de desaceleración desde el punto en el que la sección de la vía alcanza los 3,6 m hasta el punto de control de velocidad  $A$ . De igual forma dicha longitud de diseño depende de una velocidad inicial  $V_a$  y una velocidad final  $V'_a$ . Las longitudes de desaceleración ( $L$ ) estipuladas por AASTHO 2004 en función de la velocidad de diseño principal, la velocidad inicial  $V_a$  y la velocidad final  $V'_a$ . (Ver tabla 5)

Tabla 6 Longitudes de desaceleración

Metric									
Deceleration length, $L$ (m) for design speed of exit curve $V'_N$ (km/h)									
Highway design speed, $V$ (km/h)	Speed reached, $V_a$ (km/h)	Stop condition	20	30	40	50	60	70	80
		For average running speed on exit curve $V'_a$ (km/h)							
		0	20	28	35	42	51	63	70
50	47	75	70	60	45	—	—	—	—
60	55	95	90	80	65	55	—	—	—
70	63	110	105	95	85	70	55	—	—
80	70	130	125	115	100	90	80	55	—
90	77	145	140	135	120	110	100	75	60
100	85	170	165	155	145	135	120	100	85
110	91	180	180	170	160	150	140	120	105
120	98	200	195	185	175	170	155	140	120

$V$  = design speed of highway (km/h)  
 $V_a$  = average running speed on highway (km/h)  
 $V'_N$  = design speed of exit curve (km/h)  
 $V'_a$  = average running speed on exit curve (km/h)

Fuente: Normativa AASHTO (2004)

Bajo los lineamientos de la normativa propuesta por la AASTHO 2004 hay dos formas de disponer los canales de desaceleración:

1.- Continuando la dirección indicada por el ángulo de divergencia de la cuña, como se indica en el esquema siguiente: (Ver figura 10)

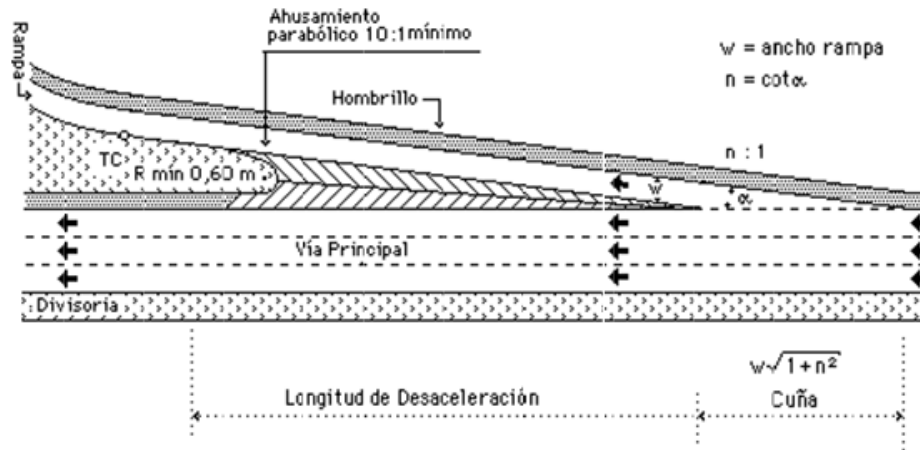


Figura 10 Canal de desaceleración con ángulo de divergencia

Fuente: Normativa AASHTO (2004)

En este caso, la longitud de la cuña resulta de multiplicar el ancho del canal de la rampa por  $\sqrt{1+n^2}$ .

2.- El canal de desaceleración se dispone paralelo a la vía, a partir de la cuña (Ver figura 11):

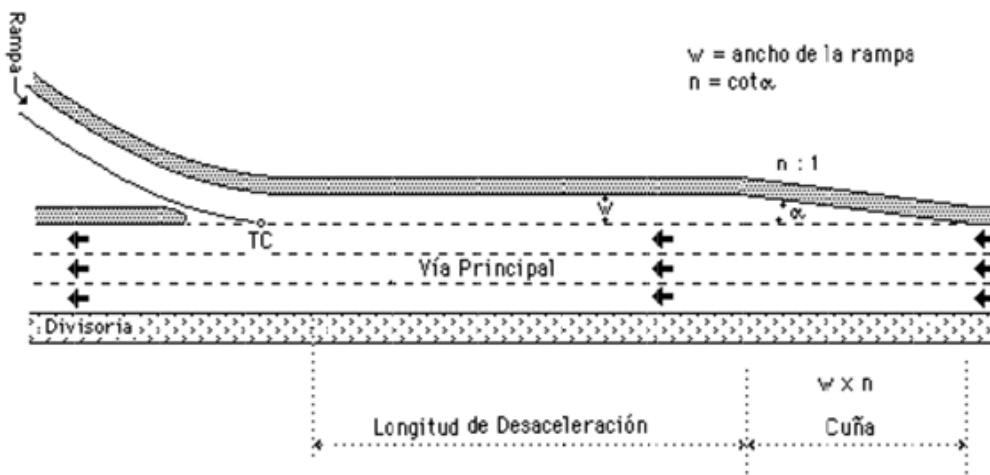


Figura 11 Canal de desaceleración paralelo a la vía

Fuente: Normativa AASHTO (2004)

En este caso, la longitud de la cuña resulta de multiplicar el ancho del canal de la rampa por la tasa de transición de la cuña. Para la elección del tipo de salida, AASTHO (2004) plantea que se debe seleccionar aquella que menos afecte la velocidad de diseño de la vía principal.

Los valores reflejados en las tablas fueron calculados mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$S = \frac{V^2 - V_o^2}{2 * a}$$

### 2.2.11. Disposición de las entradas a la vía principal

Las entradas a la vía principal deben estar provistas de canales de aceleración, de manera que los vehículos puedan incorporarse al tránsito a la velocidad de operación de ella y al mismo tiempo, disponer de oportunidad para encontrar la brecha necesaria para su incorporación.

Las distancias de diseño son análogas a las de salida en donde la distancia L se refiere a la distancia necesaria para efectuar la maniobra de aceleración. Estas longitudes al igual que para las salidas van a depender de tres velocidades, la velocidad de diseño de la vía principal, la velocidad de inicio de la rampa de aceleración y la velocidad final con la que el usuario entrará a la vía principal. Estas distancias de acuerdo con la normativa de AASTHO 2004 es la siguiente: (Ver tabla 7)

Tabla 7 Longitudes de aceleración

Metric									
Acceleration length, L (m) for entrance curve design speed (km/h)									
Highway Design speed, V (km/h)	Stop condition Speed reached, V <sub>a</sub> (km/h)	and initial speed, V' <sub>a</sub> (km/h)							
		20	30	40	50	60	70	80	
50	37	60	50	30	—	—	—	—	—
60	45	95	80	65	45	—	—	—	—
70	53	150	130	110	90	65	—	—	—
80	60	200	180	165	145	115	65	—	—
90	67	260	245	225	205	175	125	35	—
100	74	345	325	305	285	255	205	110	40
110	81	430	410	390	370	340	290	200	125
120	88	545	530	515	490	460	410	325	245

Note: Uniform 50:1 to 70:1 tapers are recommended where lengths of acceleration lanes exceed 400 m.

Fuente: Normativa AASTHO (2004)

Al igual que en la disposición de entrada, para la disposición de salida existen dos formas de diseñar las rampas de aceleración (Ver figura 12) de acuerdo a la normativa AASHTO 2004, de transición cónica y paralela a la vía principal.

Para la primera forma de disposición de la rampa de aceleración, la variación del ancho con respecto a la longitud debe estar comprendida 50:1 y 70:1 (longitudinal vs lateral). En el caso de la forma con entrada adicional, el ensanchamiento de la vía al final de canal auxiliar no debe ser menor de 90 m. La distancia  $L_g$  del refugio debe estar comprendida entre 90 m y 150 m, dependiendo del ancho de la “nariz” de la entrada.

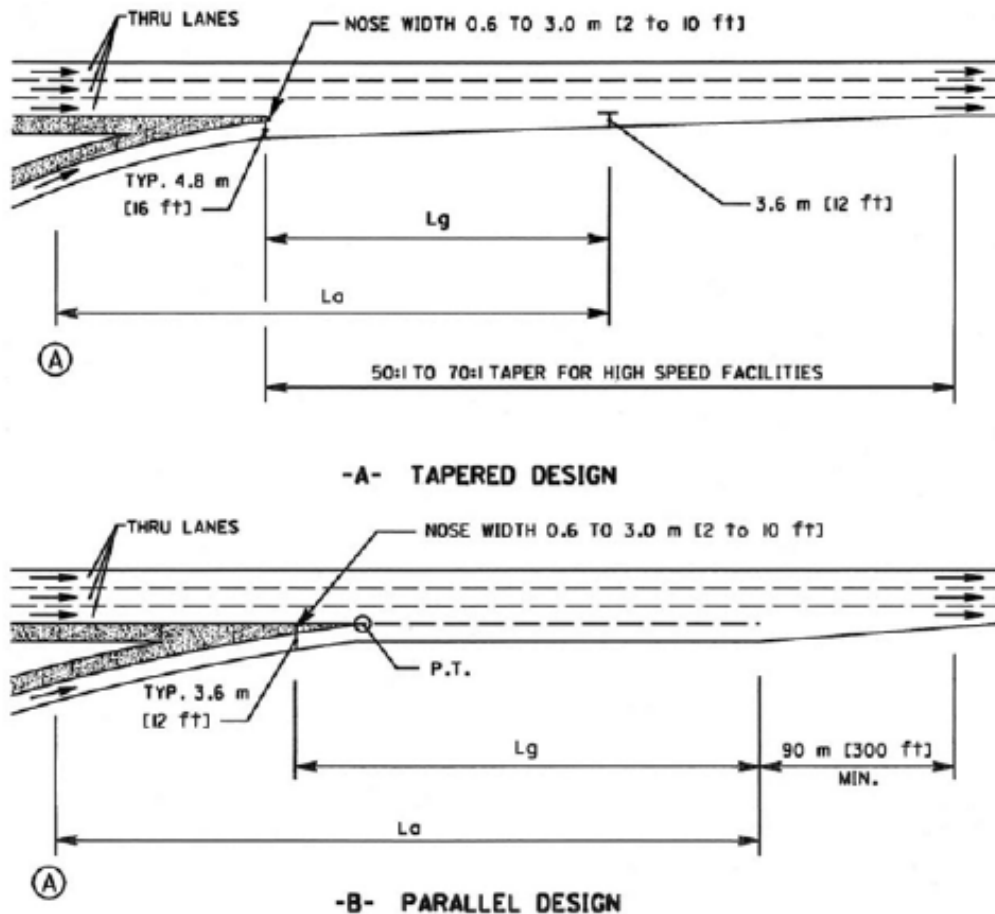


Figura 12 Disposición de salida

Fuente: Normativa AASHTO (2004)

Dónde:

- $L_o$ : Distancia requerida de aceleración.

- Lg: Distancia requerida de refugio.
- A: Punto de control de velocidad en la rampa.

### 2.2.12. Retornos en U

Los retornos son dispositivos viales diseñados para permitir a los usuarios el acceso a otro lado de una vía. En vías expresas o con divisoria ancha, y con velocidades de diseño altas no son aconsejables los retornos en U.

De ser necesarios, deben diseñados de tal manera que interfieran lo menos posible con las corrientes de tránsito (Ver figura 13). A tal efecto, deben estar provisto de asilos y de canales de aceleración y desincorporación de tal manera que el vehículo que gira no invada los canales de circulación adyacentes. El radio de giro debe escogerse de acuerdo al vehículo de diseño predominante que se estima que utilizara el retorno, pero en ningún caso será menor al radio de giro mínimo para vehículos tipo SU.

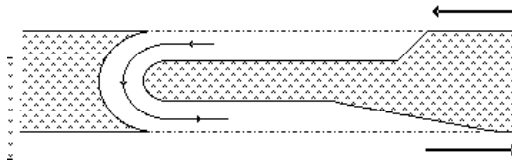


Figura 13 Representación de un retorno para vías rápidas|

Fuente: Normativa AASHTO (2004)

Para el diseño de retorno en U es importante que el ancho de la isla tenga la longitud necesaria para que la realización de la maniobra sea posible, en la norma AASHTO 2004 se establece longitudes recomendables de acuerdo con el tipo de vehículo. (Ver tabla 8)

Tabla 8 Ancho de isla

Type of Maneuver	M—Minimum Width of Median (m) for Design Vehicle						
	P	WB-12	SU-9	BUS	SU-12	WB-19	WB-20
	Length of Design Vehicle (m)						
Inner Lane to Inner Lane	5.7	15.0	9.0	12.0	12.0	21.0	22.4
Inner Lane to Outer Lane	5	15	15	16	19	17	17
Inner Lane to Shoulder	2	12	12	12	16	14	14

Fuente: Normativa AASHTO (2004)

### 2.2.13. Alineamiento vertical

El alineamiento vertical de una vía es la proyección del eje de esta sobre una superficie vertical paralela al mismo. El eje en este alineamiento se llama Rasante o Sub-rasante dependiendo del nivel que se tenga en cuenta en el diseño. El alineamiento vertical de una vía está compuesto por dos elementos principales: rasante y perfil. La rasante a su vez está compuesta por una serie de tramos rectos, llamados tangentes, enlazados entre sí por curvas.

### 2.2.14. Pendientes máximas y mínimas

Las pendientes máximas admisibles en una carretera dependen de la velocidad de diseño, de la composición del tránsito y del tipo de terreno atravesado. De acuerdo al tipo de terreno, las pendientes máximas recomendadas son las siguientes:

Tabla 9 Pendientes máximas

Terreno llano	De 2% a 3%
Terreno ondulado	De 3% a 7%
Terreno montañoso	De 5% a 12%

Fuente: Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras (1997)

La importancia de conocer los rangos de las pendientes permisibles será de gran utilidad en el desarrollo de las propuestas a desnivel.

### 2.2.15. Curvas verticales

Las curvas verticales son utilizadas para enlazar pendientes de un perfil longitudinal, estas curvas son arcos de parábola de la forma general.

$$y = ax^2 + b$$

Las curvas verticales ofrecen ventajas tales como:

- 1.- Permite un cambio gradual de pendiente desde la tangente de entrada hasta la tangente de salida.
- 2.- Facilita la operación vehicular de una manera cómoda y segura.
- 3.- Brinda apariencia agradable.
- 4.- Permite un adecuado drenaje.

Los elementos que conforman a una curva vertical son los siguientes: (Ver figura 14)

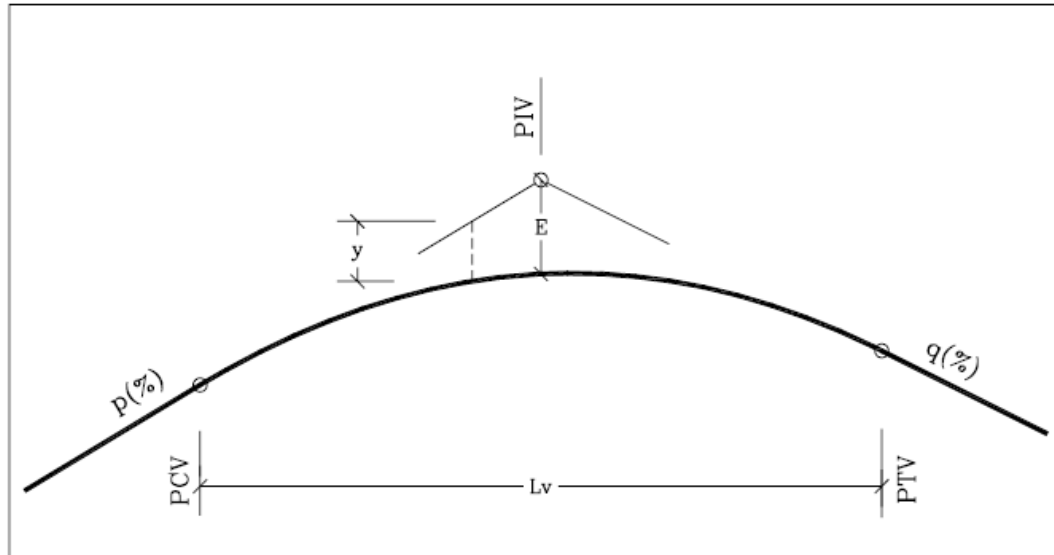


Figura 14 Elementos Curva Vertical

Fuente: Agudelo J. (2002)

Dónde:

PCV: Principio de curva vertical.

PIV: Punto de intersección vertical.

PTV: Final de curva vertical.

E: Distancia vertical entre PIV y la curva.

Lv: Longitud de curva vertical.

p(%): Pendiente inicial.

q(%): Pendiente final

y: Corrección vertical.

A: Diferencia algebraica de pendiente:  $q - p$

### 2.2.15.1. Tipos de curvas verticales

Las curvas verticales se dividen en simétricas y asimétricas, también teniendo en cuenta las longitudes, se clasifican de acuerdo a las pendientes en cóncavas y convexas.

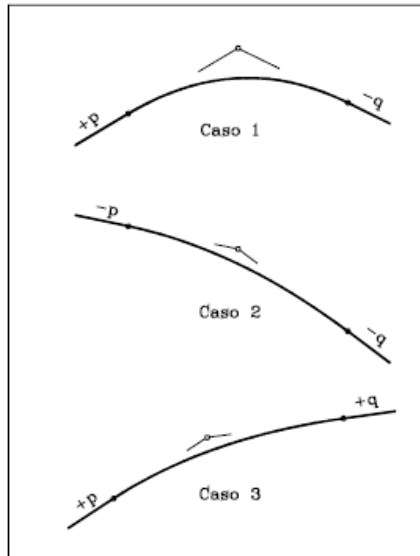


Figura 15 Curva vertical convexa

Fuente: Agudelo J. (2002)

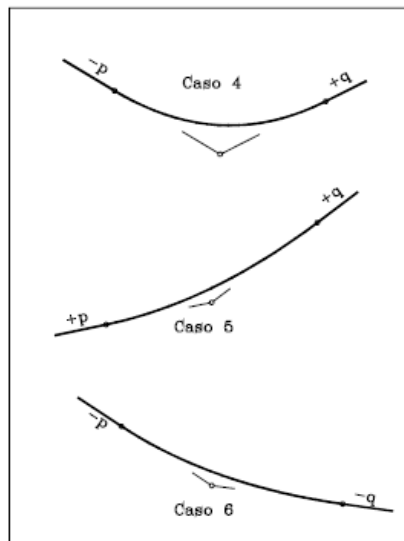


Figura 16 Curva vertical cóncava

Fuente: Agudelo J. (2002)

Las longitudes de estas curvas van a variar según su condición predominante, la cual es, según la visibilidad de frenado y la visibilidad de paso, en la propuesta de diseño se van a considerar únicamente las curvas cóncavas y convexas según su visibilidad de frenado, ya que los dispositivos a diseñar serán de un solo canal.

Para el cálculo de las longitudes de la curva vertical se chequean tres condiciones:

$$L_{cv} \geq 30 \text{ m}$$

$$L_{cv} = K * A$$

$$L_{cv} = 0,60 * V_p$$

Dónde:

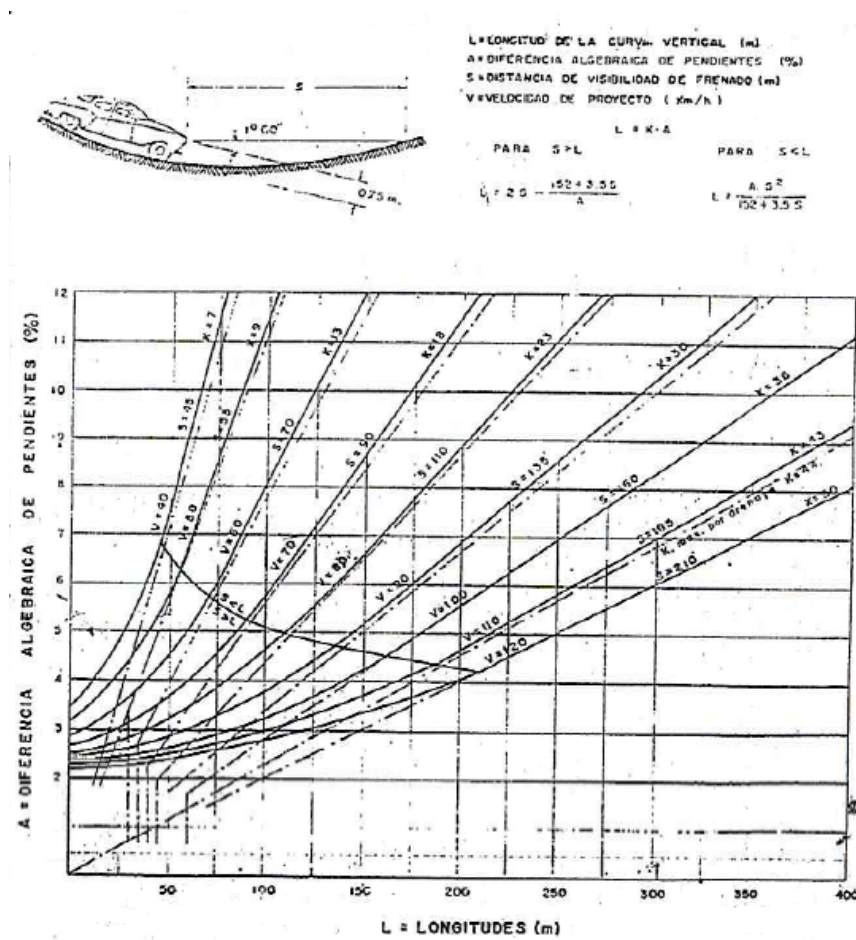
$L_{cv}$ : Longitud de curva vertical.

K.: Rata de variación de pendiente.

$V_p$ : Velocidad de proyecto.

El valor de K, cuyas unidades son m/%, indica la longitud de curva vertical necesaria de curva por cada 1.0 % de cambio de pendiente entre alineamientos, de modo que se cumplan condiciones de visibilidad de parada .Los valores de K son tomados según la velocidad de proyecto de la vía, y varían según el tipo de curva y su visibilidad. (Ver figura 17 y 18)

El valor mayor entre estas tres condiciones será el valor de la longitud de la curva vertical.



L = LONGITUD DE LA CURVA VERTICAL (m)  
 S = DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE FRENADO (m)  
 V = VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/h)  
 A = DIFERENCIA ALGEBRAICA DE PENDIENTES (%)

$$L = K \cdot A$$

PARA  $S > L$

PARA  $S < L$

$$L = 2.25 \frac{V^4}{A}$$

$$L = \frac{A S^2}{4.4}$$

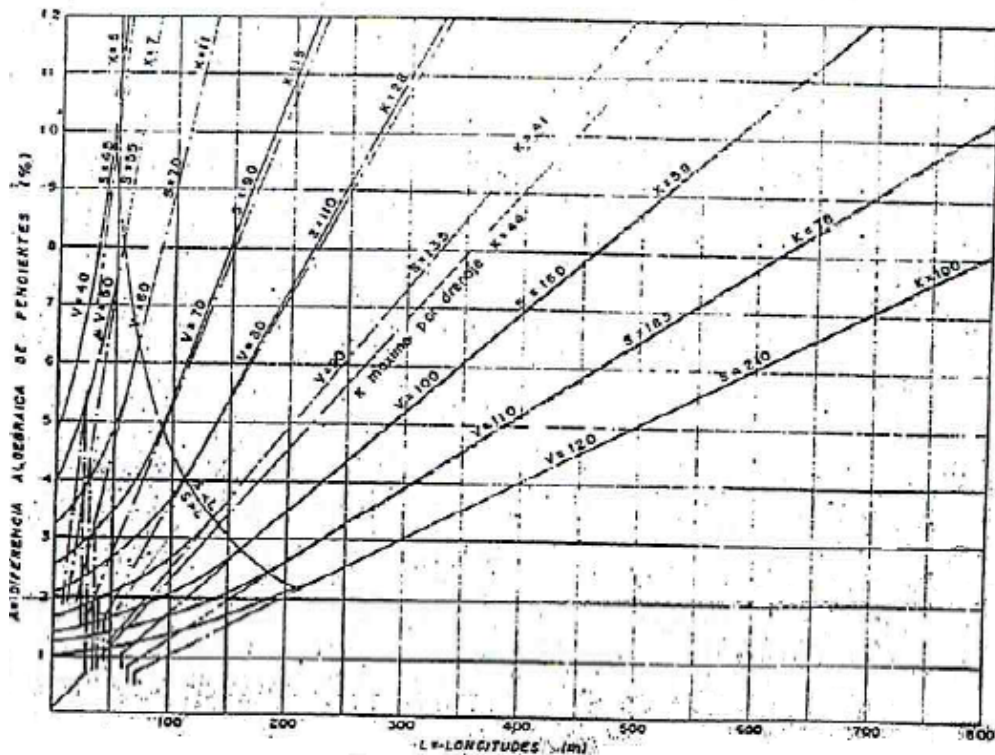


Figura 18 Curva vertical cóncava con visibilidad de frenado

Fuente: Agudelo J. (2002)

### 2.2.16. Definición de términos básicos

**Bombeo:** En tramos rectos, la sección de la calzada normalmente tiene pendientes transversales que le sirven para facilitar el drenaje de las aguas lluvias hacia las cunetas a esta pendiente se le denomina bombeo normal y varía entre 2% y 4%.

**Calzada:** Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos. Generalmente pavimentada o acondicionada con algún tipo de material de afirmado.

**Carril:** Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.

**Cota:** altura medida respecto al nivel de mar.

**Diseño:** es la parte más importante dentro de un proyecto de construcción o mejoramiento de una vía, pues allí se determina su configuración tridimensional, es decir, la ubicación y la forma geométrica definida para los elementos de la carretera; 55 de manera que ésta sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

**Derecho de Vía:** Faja de terreno destinada a la construcción de la vía y sus futuras ampliaciones.

**Longitud de Aplanamiento:** Longitud necesaria para que el carril exterior pierda su bombeo o se aplane con respecto al eje de rotación.

**Nivel de Servicio:** Refleja las condiciones operativas del tránsito vehicular en relación con variables tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad, los deseos del usuario y la seguridad vial.

**Pendiente relativa de la rampa de peraltes:** Máxima diferencia algebraica entre las pendientes longitudinales de los bordes de la calzada y el eje de la misma.

**Pendiente transversal del terreno:** Corresponde a las inclinaciones naturales del terreno, medidas en el sentido transversal del eje de la vía.

**Progresiva:** distancia medida en el plano horizontal respecto a un punto de referencia.

**Rediseño:** se refiere a realizar un diseño dentro de un proyecto u obra ya existente.

**Subrasante:** Superficie especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento.

**Talud:** Paramento o superficie inclinada que limita lateralmente un corte o un terraplén.

**Tangente Vertical:** Tramos rectos del eje del alineamiento vertical, los cuales están enlazados entre sí por curvas verticales.

**Tramo Homogéneo:** Longitud del trazado de la carretera al que por las características topográficas se le asigna una determinada Velocidad de Diseño.

**Transición del Peralte:** Tramo de la vía en la que es necesario realizar un cambio de inclinación de la calzada, para pasar de una sección transversal con bombeo normal a otra con peralte.

**Vehículo:** Todo aparato montado sobre ruedas que permite el transporte de personas o mercancías de un punto a otro.

**Visibilidad:** Condición que debe ofrecer el proyecto de una carretera al conductor de un vehículo de poder ver hacia delante la distancia suficiente para realizar una circulación segura y eficiente.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

De acuerdo a los objetivos a cumplir en la presente investigación esta estará planteada como un proyecto factible, en conjunto con un trabajo de campo para lograr la obtención de la información necesaria para su documentación y proyección.

Según el manual de la UPEL (1998) se define el proyecto factible “como un estudio que consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales”, (p.35). En base a esto, la investigación pretende dar solución a una necesidad detectada, evaluando los diversos aspectos del fenómeno a investigar.

#### **3.2. Nivel de Investigación**

El nivel de investigación es de carácter descriptivo debido a que se explican cada uno de los procesos que se realizarán para dar a conocer la eficiencia de la propuesta del mejoramiento del retorno en estudio. Según Tamayo y Tamayo (1991) “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos”, (p.35). Esto con el fin de estudiar todas las características que ocasionan la deficiencia del diseño geométrico vial de retorno ubicado en la variante a la altura del km 13+500, para posteriormente realizar un rediseño que cumpla con las normativas de seguridad, siguiendo la normativa de la AASTHO 2004.

#### **3.3. Diseño de la Investigación**

En base a esto, se considera el proyecto de tipo factible apoyado con datos que deberán ser recolectados mediante un trabajo de campo, debido a que el problema en estudio se encuentra sujeto a fenómenos producidos en un entorno real, donde las condiciones de seguridad brindada por el retorno ubicado en la

variante Bárbula – Guacara a la altura del km 13+500 no se encuentra diseñado de la forma más confiable.

### **3.2. Población y Muestra**

#### **Población**

En la investigación presente, la población estará delimitada a los usuarios de la vía expresa Bárbula – Guacara, específicamente en la progresiva del km 13+500 donde se encuentra el retorno vial y los canales de incorporación y desincorporación en estudio. Según Tamayo y Tamayo, (1997), “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población posee una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación” (p.114), es decir, son todos los elementos que conforman el universo de estudio. La población de la investigación estará integrada por los usuarios que transitan por la vía expresa Bárbula – Guacara a la altura del km 13+500.

#### **Muestra**

Sabino (1992), la define como la “parte del todo que llamamos universo y que sirve para representarlo”. Tiene diferentes definiciones según el tipo de estudio que se esté realizando. Para los estudios cuantitativos, no es más que un “subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y debe ser representativo de dicha población”. Para las investigaciones cualitativas, son la “unidad de análisis o conjunto de personas, contextos, eventos o sucesos sobre el (la) cual se recolectan los datos sin que necesariamente sean representativo (a) del universo” (p.302).

Se define como una parte representativa de la población; el objetivo de dicha muestra es que al realizar el estudio en ella se obtengan resultados semejantes a los que se obtendrían al estudiar a la población total, esto se realiza con el fin de aminorar las posibles variables de estudio del problema. La muestra en estudio se encuentra integrada por vehículos que hacen uso del retorno y los canales de incorporación y desincorporación ubicados en la vía expresa Bárbula – Guacara a la altura del km 13+500.

### 3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

El éxito de un trabajo de investigación va de la mano con la exactitud de la recolección de datos y su manejo a la hora de desarrollarlos e interpretarlos, así como también los instrumentos que se utilizan para la recolección de información. Arias (1999), menciona que “las técnicas de recolección de datos son las distintas formas de obtener información”, (p.53).

La recolección de datos para la realización del este proyecto de investigación serán: Observación directa, registro y formalización de la observación. Según Arias (2006) define la Observación como “una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivo preestablecidos” (p. 69). Esta técnica deberá ser aplicada para conocer de forma visual el desempeño y eficiencia que ofrece en el área de estudio, respecto a la condición de seguridad brindada por el diseño actual del retorno vial, canales de aceleración y desaceleración de la Estación de Servicio Bosqueserino y Concretera Frame.

### 3.4. Fases Metodológicas

Para lograr el desarrollo de la investigación se plantea dividir la misma en tres fases metodológicas de acuerdo a los objetivos establecidos:

**Fase I: Realizar un levantamiento topográfico.** Esta fase se realizará con el fin de obtener información de detallada de la topografía del área de estudio, a fin de determinar con exactitud las características geométricas del diseño vial que existe actualmente en el área de estudio.

**Fase II: Diagnosticar las condiciones de seguridad que presenta actualmente el retorno ubicado en la Autopista Bárbula – Guacara a la altura del km 13+500, incluyendo los canales de incorporación y desincorporación de la estación de servicio Bosqueserino y la Concretera Frame.** Para la ejecución de esta fase se requerirá del empleo de la observación directa en el área de estudio, con el fin de determinar las zonas críticas en cuanto a seguridad vial que presenta el diseño geométrico actual.

**Fase III: Rediseñar las características geométricas viales del retorno y los canales de incorporación y desincorporación de la Estación de Servicio Bosqueserino y la Concretera Frame.**

Una vez conocida con exactitud la topografía del área en estudio y las características geométricas por las cuales están diseñados actualmente los dispositivos viales, se procederá a la realización del rediseño geométrico vial bajo las normativas de la AASHTO 2004.

**Fase IV: Proponer una solución.** Luego de haber realizado el rediseño geométrico vial, bajo los criterios estipulados por norma se hará una propuesta que permita a los conductores un uso más controlado y seguro del retorno ubicado en la autopista Bárbula – Guacara a la altura del km 13+500, así como también los canales de incorporación y desincorporación de la Estación de Servicio Bosqueserino y la Concretera Frame.

## CAPITULO IV

### ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para lograr el cumplimiento del objetivo general de la investigación, fue necesario seguir cada una de las fases metodológicas descritas en el Capítulo III, las cuales siguen un lineamiento en base a los objetivos específicos planteados.

El desarrollo de la Fase I descrito en el Capítulo III como “**Realizar un levantamiento topográfico**” se hizo mediante el uso del Software de Google Earth el cual facilitó la imagen satelital del área en estudio (Ver anexo 16), que en conjunto con el programa AutoCad 2015 se levantó un plano vial con las dimensiones actuales de los dispositivos viales, este levantamiento es la base para el desarrollo de la propuesta, ya que con estos datos se confirmarán los lineamientos bajo los cuales están diseñados cada uno de los dispositivos viales. Por otra parte en colaboración con la Secretaría de Ordenación del Territorio Ambiente y Recursos Naturales se obtuvo el plano de las curvas de nivel (Ver anexo 2) para verificar la altura sobre el nivel del mar del área de estudio. En resumidas cuentas, esta información representa la base topográfica para la ejecución de la propuesta de la investigación. Las características geométricas que poseen actualmente los dispositivos viales fueron las siguientes:

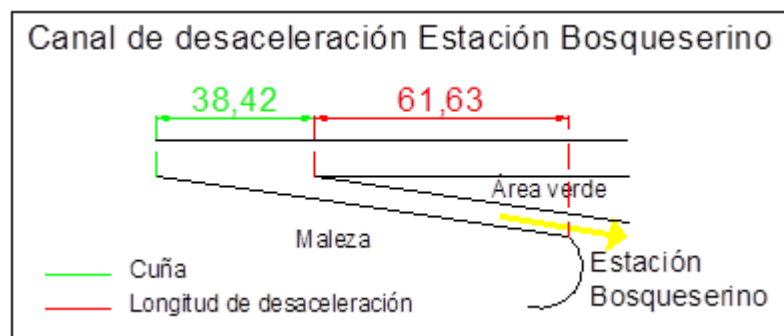


Figura 19 Características Geométricas del Canal de desaceleración – Estación Bosqueserino

Como se puede observar este canal de desaceleración corresponde a los de tipo con ángulo de divergencia, posee aproximadamente 39 metros de cuña y 62 metros de longitud de desaceleración, posee un ancho de canal de 5,4 metros distribuidos en 3,6 metros de canal de circulación y 1,8 metros de hombrillo.

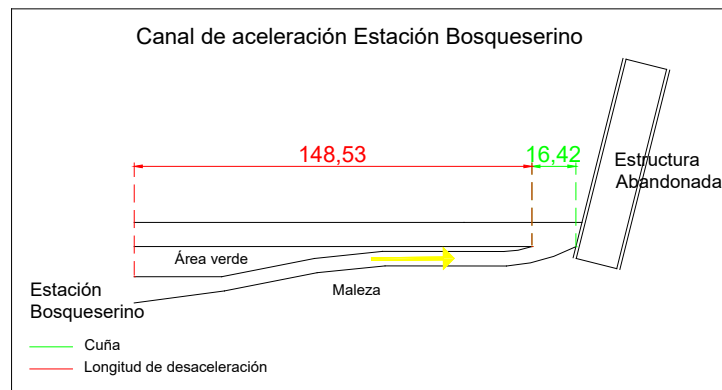


Figura 20 Características Geométricas del Canal de aceleración – Estación Bosqueserino

El diseño de este canal no tiene una geometría definida de acuerdo a los tipos normativos en la AASHTO 2014 y la Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras, posee aproximadamente 149 metros de longitud de aceleración y 17 metros de cuña, posee un ancho de canal de 5,4 metros distribuidos en 3,6 metros de canal de circulación y 1,8 metros para hombrillo.

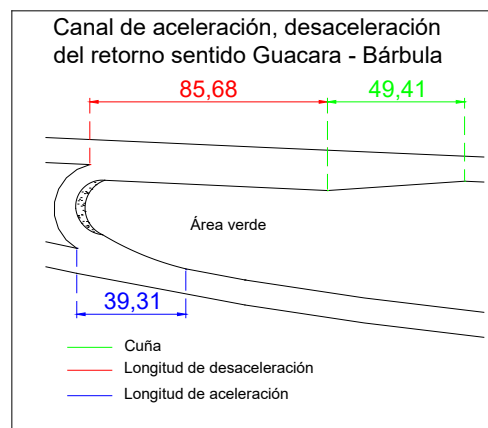


Figura 21 Características Geométricas del Canal de aceleración y desaceleración del retorno sentido Guacara - Bárbula

El retorno sentido Guacara – Bárbula tiene deficiencias en cuanto al diseño de su canal de aceleración, este canal solo cuenta con 40 metros aproximadamente por otro lado su canal de desaceleración cuenta con 50 metros de cuña y 86 metros de longitud de desaceleración. El ancho del canal de desaceleración es de 5,4 metros distribuidos en 3,6 metros para circulación y 1,8 metros de hombrillo, el tramo que corresponde al retorno tiene 5,4 metros de ancho de canal y 3,6 metros de sobrecancho.

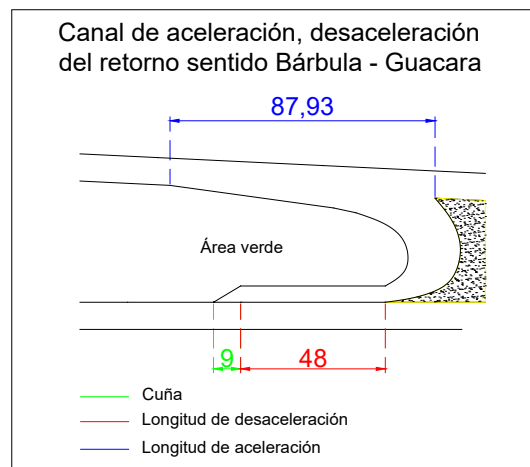


Figura 22 Características Geométricas del Canal de aceleración y desaceleración del retorno sentido Bárbula - Guacara

De acuerdo a figura anterior el retorno en sentido Bárbula – Guacara tiene deficiencias en su diseño geométrico en cuanto a su longitud de aceleración, este posee aproximadamente 88 metros de longitud pero no posee un canal de aceleración definido por las normativas, lo cual dificulta la incorporación de los vehículos a la autopista, en cuanto a canal de desaceleración, este posee una cuña de 9 metros y 48 metros de longitud de desaceleración. Por otro lado el canal del retorno no se encuentra definido adecuadamente debido al mal acabado de su capa de rodamiento, este presenta una combinación de terraplén con asfalto.

Con este levantamiento se realizó el trazado de forma representativa de cada uno de los dispositivos a ser estudiados, con este trazado se puede visualizar de forma esquemática el recorrido de los vehículos en cada dispositivo.

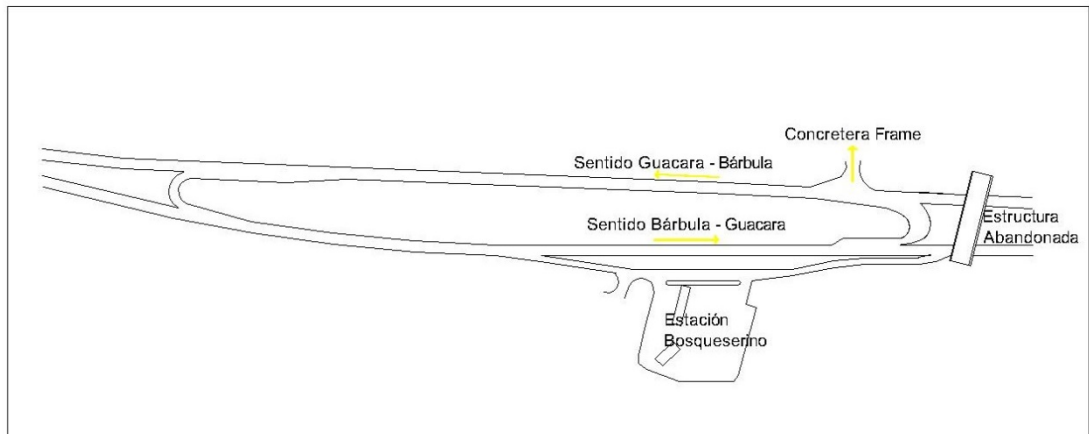


Figura 23 Plano general del trazado del área en estudio

Adicionalmente con este levantamiento realizado se midió la dimensión del ancho de los canales de la autopista Bárbula – Guacara, la cual está distribuida en 2 canales de 3,6 metros y un hombrillo de 1,8 metros.

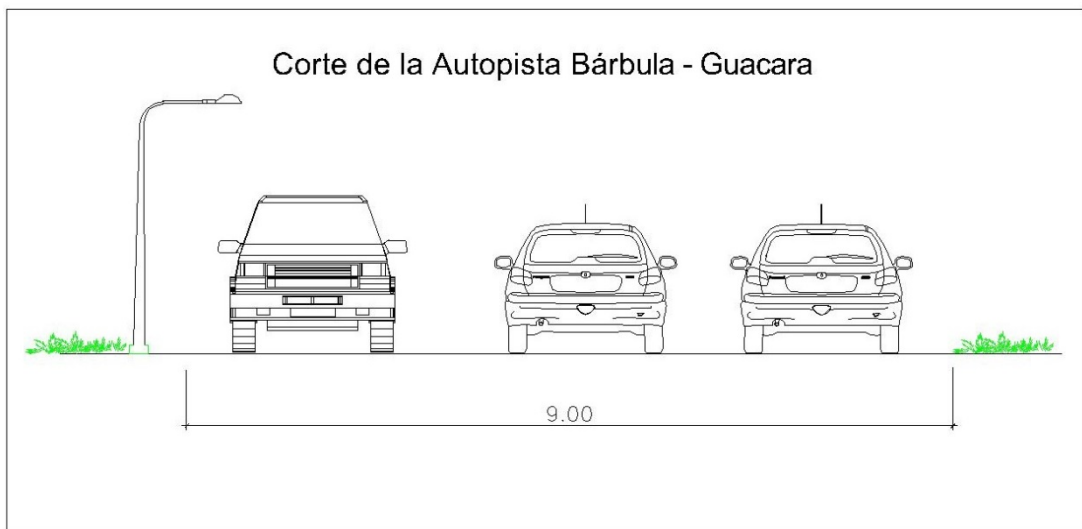


Figura 24 Vista de corte de la Autopista Bárbula - Guacara

Para el desarrollo de la Fase II, la cual se describió como “**Diagnosticar las condiciones de seguridad que presenta actualmente el retorno ubicado en la Autopista Bárbula – Guacara a la altura del km 13+500, incluyendo los canales de aceleración y desaceleración de la estación de servicio Bosqueserino y la Concretera Frame**” se recorrió el área de estudio para visualizar mediante la observación directa las condiciones en la que se encuentra actualmente.

Se pudo observar que el canal de desaceleración de la Estación de Servicio Bosqueserino se encuentra en un estado aceptable, la capa de rodamiento no presenta condiciones que desfavorezcan la circulación de los vehículos, pero se pudo apreciar la presencia de un reductor de velocidad (Ver anexo 13) que perjudica notablemente el ingreso de los vehículos a este canal, produciendo un accionar en el sistema de frenado por parte de los usuarios. La presencia de este reductor de velocidad es prueba de que la longitud que posee actualmente no es la necesaria para permitir que los usuarios reduzcan su velocidad a lo largo de su recorrido. Por otro lado, se revisaron los valores de su configuración geométrica actual, la cual presenta una cuña con 39 m y una longitud de desaceleración de 62 m, con estos datos se hizo una comparación con las dimensiones recomendadas por la AASHTO 2004; considerando una velocidad de proyecto de 60 km/h en la autopista para ingresar a el canal de desaceleración con ángulo de divergencia a una velocidad de 30 km/h, la AASHTO estipula una longitud de desaceleración de 60 metros (Ver tabla 7) y una cuña de 35 metros.

Comparando se puede apreciar que el diseño geométrico actual del canal de desaceleración está dentro de los parámetros normativos, pero que debido a factores externos su función no es la adecuada.

En el canal de aceleración de la Estación Bosqueserino se visualizó la presencia de daños considerables en la capa de rodamiento, además posee una rejilla a desnivel en la superficie vial (Ver anexo 14), estas condiciones físicas no permiten que los usuarios puedan adquirir la velocidad necesaria para una incorporación segura y controlada. Además se pudo observar que este canal no posee características de diseño que permitan a los usuarios tener visión de la autopista a lo largo del canal de aceleración en sentido Bárbula – Guacara (Ver anexo 15). Por efecto de estas condiciones mencionadas, actualmente los usuarios se ven obligados a ejecutar la maniobra de incorporación justo al final del canal, lo cual representa un riesgo, ya que al ingresar con una velocidad muy por debajo de la velocidad de diseño de la Autopista Bárbula – Guacara genera un retraso vehicular, además esta incorporación se encuentra en paralelo al retorno en sentido Bárbula –Guacara, el cual genera que los usuarios quieran incorporarse al

retorno directamente. Es por esto que bajo los lineamientos en los cuales se encuentra el diseño de esta incorporación sea un punto crítico en materia de seguridad, y sea el causante de numerosos accidentes.

Por otro lado se observaron las condiciones actuales del ingreso y salida de la Concretera Frame (Ver anexo 3 y 4), condiciones que no son las apropiadas para el tránsito vehicular, en especial para vehículos pesados, que son los tipos de vehículos que más tienen destino a dicha Empresa. El problema que presenta dicha entrada y salida es que no cuenta con el estudio de un diseño geométrico para su canal de aceleración y desaceleración, lo que presenta actualmente es un terraplén con dimensiones desfavorables para el ingreso y salida de estos vehículos, en este sentido se genera un retraso vehicular en la zona y aumenta la probabilidad de accidentes. Además no existen señales de tránsito que indiquen exactamente la entrada y salida de vehiculas pesados, ni la existencia de la Concretera Frame.

En el retorno sentido Guacara – Bárbula se presentan fallas en el diseño geométrico de sus canales de aceleración y desaceleración, además de su diseño, las condiciones de la vialidad no son las apropiadas, estas se encuentran con una porción de asfalto y otra de tierra, lo cual interfieren con la movilidad de los vehículos (Ver anexo 7). En dicho retorno en el canal de incorporación se genera un punto crítico debido a que el ingreso de los vehículos es hacia un canal rápido (Ver anexo 6), en este sentido el canal de aceleración no cuenta con una longitud que permita a los usuarios alcanzar la velocidad que permita encontrar el punto de ingreso a la autopista más seguro. El retorno sentido Bárbula – Guacara presenta condiciones similares al retorno mencionado anteriormente, pero con una condición adicional de alto riesgo, la cual es que los vehículos en su gran mayoría, de tipo pesado, atraviesan la autopista para ingresar a la Concretera Frame, por esta maniobra que realizan los camiones con una velocidad considerablemente baja, obligan a que los usuarios de la autopista tengan que frenar bruscamente para evitar una colisión. Es por esto que este punto presenta altas probabilidades de accidentabilidad para los usuarios.

Una vez definidos los parámetros geométricos en las que se encuentra actualmente los dispositivos viales se procedió a realizar la Fase III la cual consistió en **Rediseñar las características geométricas viales del retorno y los canales de aceleración y desaceleración de la Estación de Servicio Bosqueserino y la Concretera Frame**. Para el diseño de los canales de aceleración y desaceleración se asumieron distintas velocidades de diseño, debido a que estos canales fueron diseñados tanto para la desaceleración y aceleración a canales lentos y rápidos respectivamente.

Para el diseño de los canales de desaceleración de los retornos en ambos sentidos, se utilizó para el canal rápido de la autopista una velocidad de diseño de 80 km/h el cual debe incorporarse al retorno con una velocidad de diseño de 15 km/h, con una desaceleración de  $2,5 \text{ m/s}^2$ , que entra en el rango de frenado inicial (Ver tabla 3). Aplicando la siguiente expresión matemática:

$$\text{Longitud de desaceleración} = S = \frac{V_f^2 - V_o^2}{2 * a}$$

$$V_f = 15 \text{ km/h}$$

$$V_o = 80 \text{ km/h}$$

$$a = -2,5 \text{ m/s}^2$$

$$S = 95,29 \text{ m} \approx 96 \text{ m}$$

Como el canal de desaceleración es paralelo a la vía, por norma debe ser diseñado de acuerdo a la Figura 8, la cual estipula una longitud de desaceleración más una cuña. La cual será calculada mediante la fórmula:

$$\text{Cuña} = w * n$$

w = ancho del canal

$$w = 5,6 \text{ m}$$

n = cotα

$$\alpha = \text{angulo entre la via principal y el canal} = 18^\circ 36' 23''$$

$$n = 2,97$$

$$\text{Cuña} = 16,63 \text{ m} \approx 20 \text{ m}$$

$$\text{Canal de desaceleración} = S + \text{Cuña} = 96 \text{ m} + 20 \text{ m} = 116 \text{ m}$$

Los canales de aceleración de estos retornos fueron calculados usando dos velocidades de diseño. Para el sentido Bárbula – Guacara se utilizó una velocidad de diseño de 15 Km/h para enlazarse al canal rápido de la autopista con una velocidad de 90 km/h, ya que debido a las condiciones topográficas existe un leve descenso y por consiguiente se ve incrementada la velocidad de los vehículos, por otra parte el retorno en sentido Guacara – Bárbula fue diseñado con una velocidad de 15 km/h para ingresar al canal rápido de la autopista con velocidad de 80 km/h con una aceleración de vehículos pesados de 0,7 m/s<sup>2</sup> (Ver tabla 3). Los canales de aceleración fueron calculadas con la siguiente expresión:

$$\text{Canal de aceleración} = \text{Longitud de aceleración} + \text{Cuña}$$

Como los canales de aceleración son paralelos a la vía, por norma deben ser diseñados de acuerdo a la Figura 9, la cual estipula una longitud de aceleración más una cuña. La cual por norma es 90 m mínimo.

Sentido Bárbula - Guacara

$$\text{Longitud de aceleración} = S = \frac{V_f^2 - V_o^2}{2 * a}$$

$$V_f = 90 \text{ km/h}$$

$$V_o = 15 \text{ km/h}$$

$$a = 0,7 \text{ m/s}^2$$

$$S = 434,07 \text{ m} \approx 435 \text{ m}$$

$$\text{Cuña} = 90 \text{ m}$$

$$\text{Canal de aceleración} = S + \text{Cuña} = 435 \text{ m} + 90 \text{ m} = 525 \text{ m}$$

Sentido Guacara - Bárbula

$$S = \frac{V_f^2 - V_o^2}{2 * a}$$

$$V_f = 80 \text{ km/h}$$

$$V_o = 15 \text{ km/h}$$

$$a = 0,7 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Longitud de aceleración} = S = 340,33 \text{ m} \approx 345 \text{ m}$$

$$Cuña = 90 \text{ m}$$

$$\text{Canal de aceleración} = S + Cuña = 345 \text{ m} + 90 \text{ m} = 435 \text{ m}$$

Para el diseño de los canales de desaceleración de la Estación de Servicio Bosqueserino y la Concretera Frame, se usaron en ambos casos velocidades de diseño para la autopista de 60 km/h y de 30 km/h para el canal de desaceleración. Con una desaceleración de  $-2.5 \text{ m/s}^2$ . Aplicando la siguiente expresión matemática:

$$S = \frac{V_f^2 - V_o^2}{2 * a}$$

$$V_f = 30 \text{ km/h}$$

$$V_o = 60 \text{ km/h}$$

$$a = -2,5 \text{ m/s}^2$$

$$S = 41,67 \text{ m} \approx 45 \text{ m}$$

El canal de desaceleración de la Concretera Frame y de la Estación de Servicio fue diseñado como un canal paralelo a la vía, por norma debe ser diseñado de acuerdo a la Figura 8, la cual estipula una longitud de aceleración más una cuña. La cual fue calculada mediante la fórmula:

$$Cuña = wxn$$

w = ancho del canal

$$w = 5,6 \text{ m}$$

$$n = \cot\alpha$$

$$\alpha = \text{angulo entre la via principal y el canal} = 11^\circ 5' 37,4''$$

$$Cuña = 28,56 \text{ m} \approx 30 \text{ m}$$

$$\text{Canal de desaceleración} = S + Cuña = 45 \text{ m} + 30 \text{ m} = 75 \text{ m}$$

Los canales de aceleración de la Estación de Servicio Bosqueserino y la Concretera Frame fueron calculadas usando una misma velocidad de diseño de 30 Km/h para enlazarse al canal lento de la autopista con una velocidad de 60 km/h con una aceleración de vehículos pesados de  $0,7 \text{ m/s}^2$ , (Ver tabla 3). Las longitudes de aceleración fueron calculadas con la siguiente expresión:

$$\text{Longitud de aceleración} = S = \frac{V_f^2 - V_o^2}{2 * a}$$

$$V_f = 60 \text{ km/h}$$

$$V_o = 30 \text{ km/h}$$

$$a = 0,7 \text{ m/s}^2$$

$$S = 148,81 \text{ m} \approx 150 \text{ m}$$

$$\text{Cuña} = 90 \text{ m}$$

$$\text{Canal de desaceleración} = S + \text{Cuña} = 150 \text{ m} + 90 \text{ m} = 240 \text{ m}$$

El diseño geométrico de los retornos fue diseñado como Curvón de dos Curvas Circulares Simples, el radio mínimo para cada curva fue seleccionado de acuerdo al vehículo más desfavorable que puede transitar por dichos retornos, en base a esto, la Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras y la AASHTO 2004 establecen un radio mínimo de 13,7 metros para vehículos tipo WB-18 (Ver tabla 3). Conocido el radio mínimo se aplicó la metodología para el diseño del retorno, dando como resultado los siguientes valores:

Retorno sentido Guacara – Bárbula:

Curva Simple 1

$$\Delta = 69^\circ 52' 29''$$

$$R = 14 \text{ m}$$

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 14 * 69^\circ 52' 29''}{180} = 17,07 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 14 * \text{tg} \frac{69^\circ 52' 29''}{2} = 9,78 \text{ m}$$

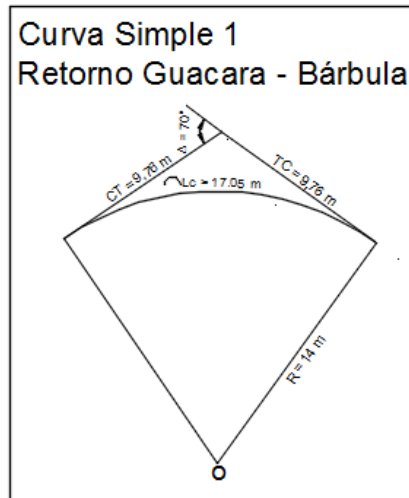


Figura 25 Curva simple 1 del retorno Guacara - Bárbula  
Curva Simple 2

$$\Delta = 103^{\circ}40'39''$$

$$R = 14,76 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 14,76 * 103^{\circ}40'39''}{180} = 26,76 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = 14,76 * \operatorname{tg} \frac{103^{\circ}40'39''}{2} = 18,78 \text{ m}$$

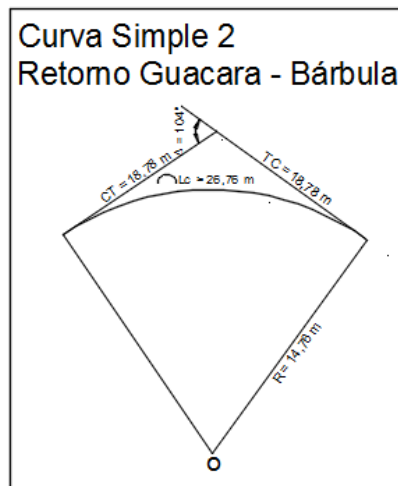


Figura 26 Curva simple 2 del retorno Guacara - Bárbula  
Retorno sentido Bárbula – Guacara:

Curva Simple 1

$$\Delta = 66^{\circ}52'17''$$

$$R = 14 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 14 * 66^{\circ}52'17''}{180} = 16,34 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 14 * \text{tg} \frac{66^{\circ}52'17''}{2} = 9,24 \text{ m}$$

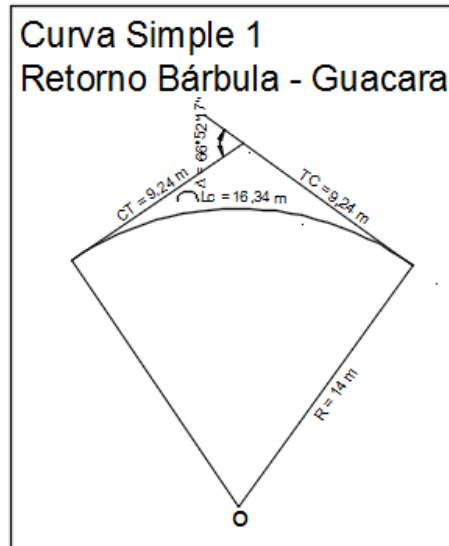


Figura 27 Curva simple 1 del retorno Bárbula - Guacara  
Curva Simple 2

$$\Delta = 110^{\circ}22'15''$$

$$R = 14 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 14 * 110^{\circ}22'15''}{180} = 26,97 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 14 * \text{tg} \frac{110^{\circ}22'15''}{2} = 20,13 \text{ m}$$

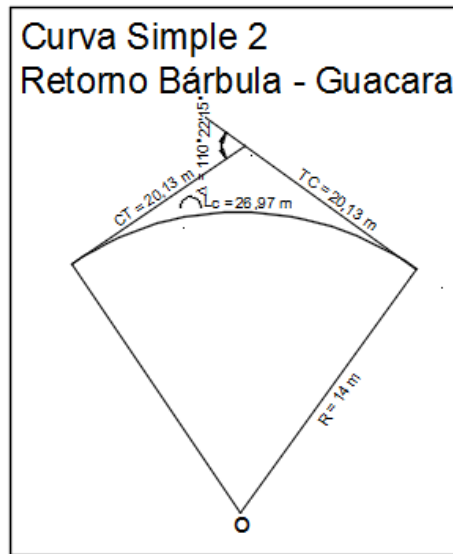


Figura 28 Curva simple 2 del retorno Bárbula – Guacara

Ya definidas las fases anteriores, con las cuales se obtuvieron todos los datos y cálculos necesarios para el desarrollo de la Fase IV la cual se describió como **“Proponer una solución”**. Debido a todos los factores estudiados y calculado, se sedecidió realizar dos propuestas, la primera de estas está basada en el rediseño geométrico de los dispositivos viales, la cual es una solución a corto plazo, sin embargo esta solución no es la recomendada por los parámetros normativos. Al mismo tiempo se realizó una segunda propuesta, la cual se divide en 2 alternativas, que de acuerdo a los parámetros normativos estipulados son la solución más apropiada para satisfacer la necesidad de los usuarios.

### **Solución 1**

De esta manera, algunos de los valores obtenidos mediante la norma AASHTO 2004 calculados en la Fase III de esta propuesta, fueron modificados; ya que; las condiciones geométricas que posee el sitio en estudio no permite en su totalidad cumplir con dichos valores calculados anteriormente, sin embargo, estos valores aportan un rango más favorable para el diseño de los dispositivos viales.

El diseño del canal de desaceleración de la Estación Bosqueserino según los cálculos realizados en la Fase III debe tener una longitud de 45 m, y una cuña de 30 m, sin embargo el canal de desaceleración actual está diseñado con un angulado de divergencia, por lo tanto, para aprovechar la dimensión que posee

actualmente, esta propuesta se basó en acoplar el nuevo dispositivo con el existente, dando así una mayor longitud de desaceleración, la cual tiene un valor de 142,88 m.

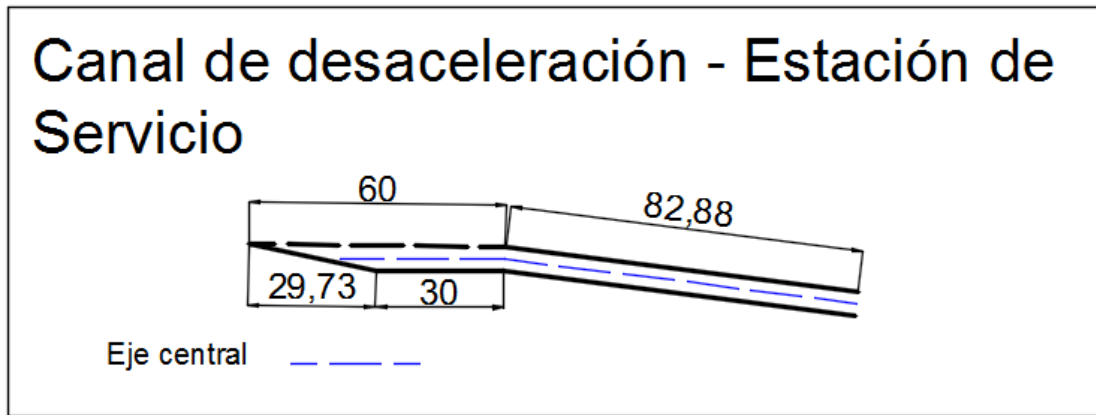


Figura 29 Características geométricas del Canal de Incorporación de la Estación Bosqueserino.

Por otra parte, el canal de aceleración de esta Estación, diseñado como un canal paralelo a la vía debe tener una longitud mínima de 150 m de largo y 90 m de cuña, estas características geométricas no pueden ubicarse inmediatamente en la salida actual de la Estación, debido a la existencia de las bases de la estructura en abandono, de este modo, para cumplir con estas longitudes mínimas ya mencionadas se realizó un tramo recto de 166,67 m con una separación de 9 m desde la autopista y que va en paralelo a la misma hasta evitar la base de la estructura en abandono, inmediatamente se diseñó el canal de aceleración propiamente mencionado..

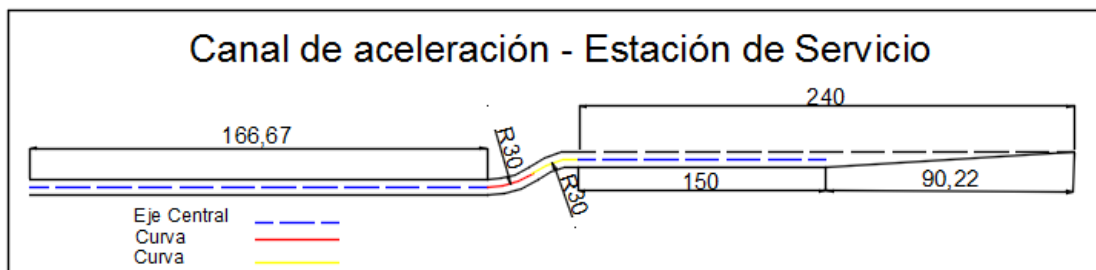


Figura 30 Características geométricas del Canal de Desincorporación de la Estación Bosqueserino.

Como se puede observar en la figura, fue necesario el cálculo una curva revertida para llevar el canal en paralelo a la autopista. Sus cálculos son los siguientes:

Curva 1 = Curva 2

$$\Delta = 33^{\circ}35'56''$$

$$R = 30 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 30 * 33^{\circ}35'56''}{180} = 17,59 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 30 * \text{tg} \frac{33^{\circ}35'56''}{2} = 9,0572$$

Ahora bien, el diseño del canal de desaceleración de la Concretera Frame fue modificado debido a que el lugar donde será ubicado permite que se pueda aprovechar una longitud adicional que favorece a los vehículos pesados, los cuales son los que tienen mayor destino a esta Concretera, y les permitirá un mayor rango de holgura para la desaceleración. El valor estipulado por la norma es de 45 m, pero aprovechando la longitud adicional la cual es de 7 m, se obtiene un canal de desaceleración de 52 m.

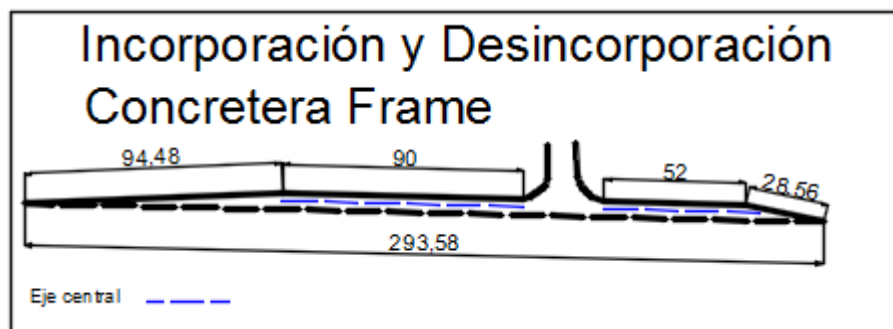


Figura 31 Características geométricas del canal de incorporación y desincorporación de la Concretera Frame.

Por último los canales de aceleración y desaceleración de los retornos en ambos sentidos fueron modificados debido a que la ubicación en las cuales se encontrarían no cumplirían con las distancia mínimas entre rampas estipula por la norma AASHTO 2004 la cual es de 150 m de separación. Es por esto, que se optó por diseñar un solo canal como canal de aceleración y desaceleración el cual tiene

una longitud de 493 m en sentido Bárbula - Guacara y una longitud de 490 m en sentido Guacara – Bárbula.

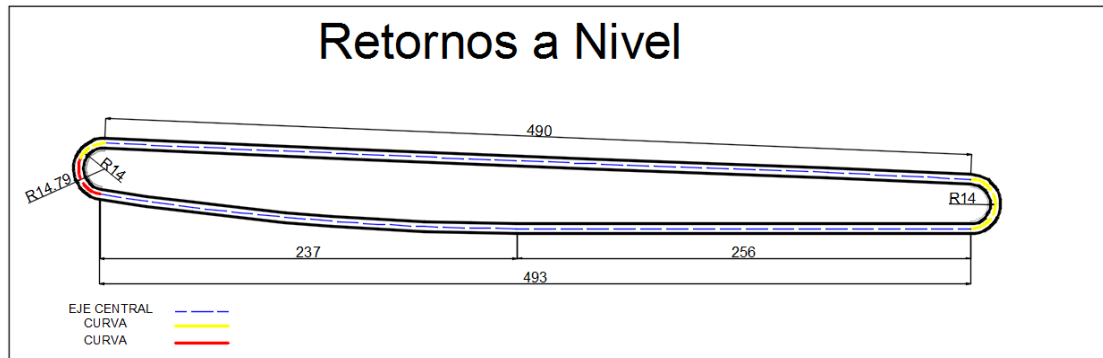


Figura 32 Características geométricas de los Retornos

Adicionalmente se realizó el cálculo del sobreechanco (S) que debe tener por recomendaciones de la Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras los retornos anteriormente diseñados. La memoria de cálculo fue el siguiente:

$$S = n * \frac{L^2}{2 * R} = 1 * \frac{13,7^2}{2 * 14} = 6,70 \approx 7,00 \text{ m}$$

Los valores planteados en la ecuación se asumieron de acuerdo a los siguientes criterios:

n = número de canales de la vía = 1 canal para el retorno.

L = longitud del vehículo más desfavorable según norma = 13,7 m.

R = radio mínimo del retorno = 14 m.

Por otro lado también se realizó el cálculo de la transición del sobreechanco para garantizar un desarrollo gradual a la entrada y salida de los retornos, y de esta manera que no se permita cambios bruscos en el ancho de la calzada. A continuación en las figura anexa se detalla la longitud de transición, junto con el sobreechanco calculado anteriormente.

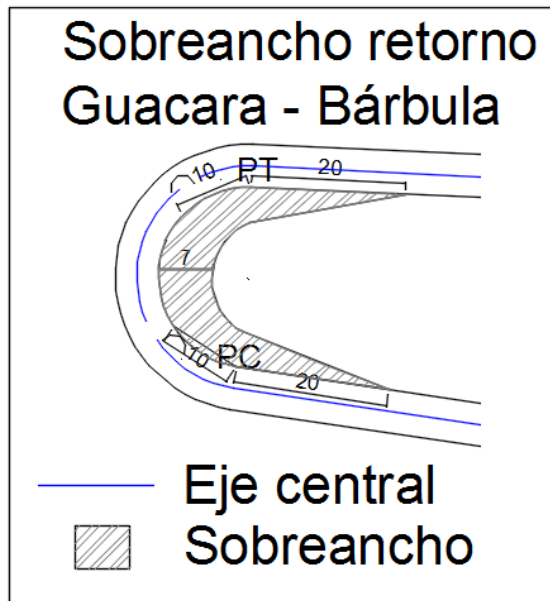


Figura 33 Sobreaancho retorno Guacara - Bárbula

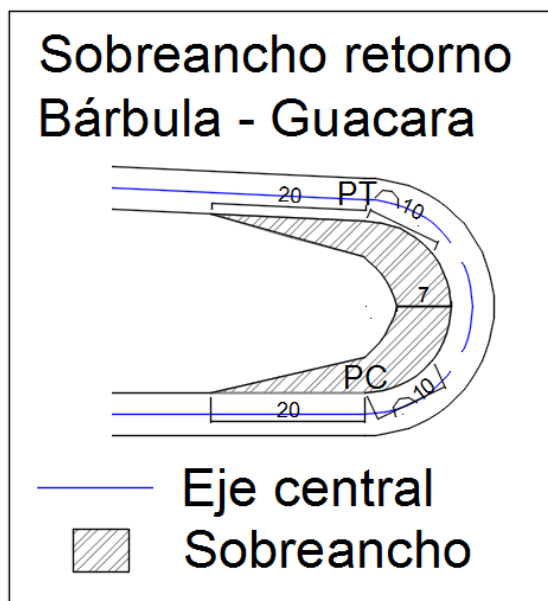


Figura 34 Sobreaancho retorno Bárbula - Guacara

Como el cálculo de la transición del sobreaancho fue hecho sin hacerse en conjunto con la transición de peralte, según parámetros normativos se puede asumir valores de longitud de transición entre 10 y 30 metros, por lo tanto se asumió un valor de 30 metros debido a las condiciones del retorno, ya que este fue diseñado con un radio mínimo de 14 metros y por lo tanto un sobreaancho mayor favorecerá a los vehículos que tengan dimensiones considerables.

## **Solución 2**

La existencia de los retornos actuales es producto de la demanda que ha originado la Estación de Servicio Bosqueserino, la cual con el pasar de los años ha aumentado considerablemente su uso, debido al mal diseño de los retornos y al uso inconsciente de los usuarios se ha generado un número considerable de accidentes, lo que refleja la necesidad de que en este punto se desarrollen dispositivos viales que presten un mejor servicio, los cuales ayuden a disminuir los índices de accidentabilidad, y por ende diseñar un sistema vial que garantice la seguridad de los usuarios.

Esta solución fue planteada bajo los parámetros normativos para el diseño de carreteras, los cuales indican que para vías expresas no es recomendable la existencia de retornos en U, condición por lo que el diseño existente de este retorno no fue considerado para esta solución. Por esto la solución presenta un diseño de dos dispositivos a desnivel, en conjunto con el diseño de los dispositivos viales que corresponden a los canales de aceleración y desaceleración de la Concretera Frame y la Estación de Servicio Bosqueserino mencionados en la solución 1, a fin de garantizar el mejor comportamiento del tráfico durante su recorrido por la Autopista Bárbula – Guacara.

El diseño de estos dos dispositivos a desnivel fueron planteados en puntos favorables, que permitan su uso de forma continua, además sin que ocasionen la ejecución de maniobras inseguras al usuario, estos puntos fueron el km 13+734.20 para el retorno sentido Guacara – Bárbula y el km 13+798.52 para el sentido Bárbula – Guacara, en base a esto se puede observar en el anexo 22 que estos puntos pertenecen a tramos rectos de la autopista Bárbula - Guacara.

### **Solución 2.1**

El primer dispositivo propuesto de esta solución fue planteado con un tramo recto; este tipo de dispositivo debido a su facilidad en el trazado geométrico tiene la ventaja de ser más económico, además su método constructivo es más simple, por lo tanto el desarrollo del mismo abarcaría un menor lapso de tiempo. Como punto negativo de este tipo se puede resaltar que por el diseño propuesto, en el

trazado geométrico fueron usados radios de curvaturas muy pequeños, lo que genera una disminución de la velocidad en el recorrido del dispositivo.

Dentro de este marco, el desarrollo del diseño geométrico de esta propuesta fue en base a una poligonal planteada a criterio para garantizar el cumplimiento de las características geométricas de los elementos que conforman el dispositivo a desnivel, esta poligonal va desde el inicio del canal de desaceleración hasta el último punto del canal de aceleración. La memoria del cálculo de cada uno de estos elementos es la siguiente:

**1. Dispositivo a desnivel sentido Guacara – Bárbula:**

**Canal de desaceleración:**

$$\text{Longitud de desaceleración} = S = \frac{V_f^2 - V_o^2}{2 * a}$$

$$V_f = 15 \text{ km/h}$$

$$V_o = 60 \text{ km/h}$$

$$a = -2,5 \text{ m/s}^2$$

$$S = 52,08 \text{ m} \approx 55 \text{ m}$$

$$\text{Cuña} = w * n$$

w = ancho del canal

$$w = 5,6 \text{ m}$$

$$n = \cot \alpha$$

$$\alpha = \text{ángulo entre la vía principal y el canal} = 21^\circ 43' 33''$$

$$\text{Cuña} = 14,03 \text{ m} \approx 15 \text{ m}$$

$$\text{Canal de desaceleración} = S + \text{Cuña} = 55 \text{ m} + 15 \text{ m} = 70 \text{ m}$$

**Canal de aceleración:**

$$\text{Longitud de aceleración} = S = \frac{V_f^2 - V_o^2}{2 * a}$$

$$V_f = 60 \text{ km/h}$$

$$V_o = 15 \text{ km/h}$$

$$a = 0,7 \text{ m/s}^2$$

$$S = 186,01 \text{ m} \approx 190 \text{ m}$$

Con una longitud de cuña de 90 m mínimo.

$$\text{Canal de aceleración} = S + \text{Cuña} = 190 \text{ m} + 90 \text{ m} = 280 \text{ m}$$

### Curvas circulares simples:

El dispositivo vial cuenta con el diseño de 4 curvas simples, las curvas del vértice 2 y 3 de la poligonal son las curvas representativas del elevado, estas son las que condicionan la velocidad del dispositivo, estas curvas fueron diseñadas con un radio de 20 m estimando así una velocidad de diseño de 17 km/h, las curvas que corresponden a los vértices 1 y 4 fueron diseñadas para suavizar el cambio de sentido según el trazado definido.

Curva circular simple correspondiente al vértice 1 de la poligonal:

$$\Delta = 13^{\circ}29'43''$$

$$R = 100 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 100 \text{ m} * 13^{\circ}29'43''}{180^{\circ}} = 23,55 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 100 \text{ m} * \text{tg} \frac{13^{\circ}29'43''}{2} = 11,83 \text{ m}$$

Curva circular simple correspondiente al vértice 2 de la poligonal:

$$\Delta = 100^{\circ}21'28''$$

$$R = 20 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 20 * 100^{\circ}21'28''}{180} = 35,03 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 20 * \text{tg} \frac{100^{\circ}21'28''}{2} = 23,99 \text{ m}$$

Curva circular simple correspondiente al vértice 3 de la poligonal:

$$\Delta = 107^{\circ}23'42''$$

$$R = 20 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 20 * 107^{\circ}23'42''}{180} = 37,49 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 20 * \text{tg} \frac{107^{\circ}23'42''}{2} = 27,22 \text{ m}$$

Curva circular simple correspondiente al vértice 4 de la poligonal:

$$\Delta = 14^{\circ}14'48''$$

$$R = 200 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 200 \text{ m} * 14^{\circ}14'48''}{180} = 49,73 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 200 \text{ m} * \text{tg} \frac{14^{\circ}14'48''}{2} = 25 \text{ m}$$

En la siguiente figura se puede observar las características geométricas que posee cada uno de los elementos del dispositivo a desnivel. (Ver figura 35)

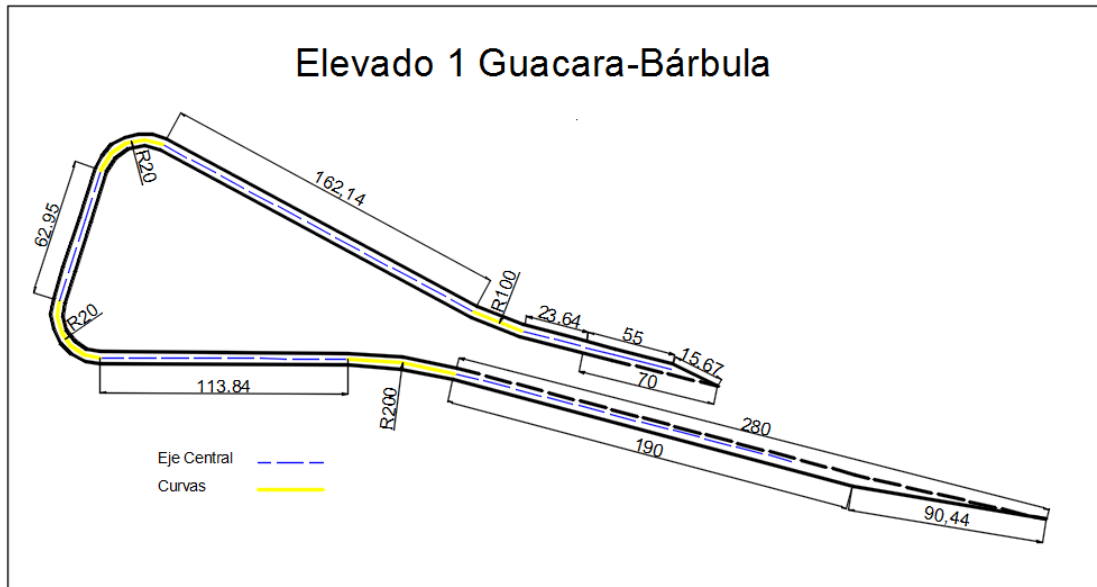


Figura 35 Características geométricas del dispositivo a desnivel con tramo recto sentido Guacara - Bárbula.

Ya definido cada una de los elementos que forman parte del dispositivo, se procedieron a hacer las progresivas que definen la longitud del recorrido (Ver anexo 17). Como se puede observar el dispositivo cuenta con cuatro tramos rectos, el primero corresponde al tramo desde la progresiva 0+70 hasta la progresiva 0+93.64, un segundo tramo recto ubicado desde la progresiva 0+117.09 hasta la progresiva 0+279.23 y un tramo recto entre las curvas del vértice 2 y 3, este tramo va desde la progresiva 0+314.26 hasta la progresiva 0+377.21, por ultimo un tramo recto inmediato a la curva del vértice 3 que va desde la progresiva 0+414,70 hasta la 0+528.54.

#### **Curvas verticales:**

Para definir el perfil longitudinal del elevado se tomaron puntos estratégicos que permitieran los cambios de pendientes sin que coincidieran con el diseño de

curvas horizontales. Estos puntos corresponden a las progresivas 0+80, 0+260, 0+440 y la 0+600 (Ver figura 36). Desde la progresiva 0 hasta la 0+80 se tiene una pendiente de 4,4%, desde la 0+80 hasta la 0+260 de 10,64%, desde la 0+260 hasta la 0+440 de 0%, desde la 0+440 hasta la 0+600 de -8.88% y por último desde la 0+600 hasta la 0+860 de -4,4%, por lo tanto el comportamiento del elevado es aceptable y entra entre los parámetros normativos en cuanto a la pendiente máxima. Es importante considerar que se diseñó el punto más alto del elevado a una altura no menor a 5 metros, la cual es la altura mínima que debe estar una vía sobre otra.

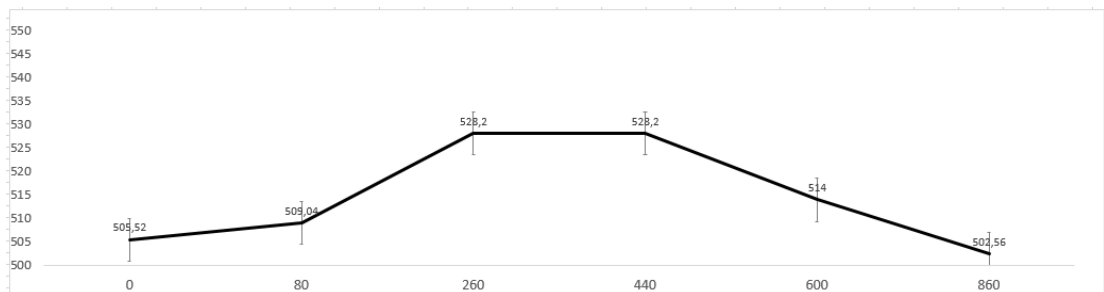


Figura 36 Perfil longitudinal Elevado 1 Guacara – Bárbula

Por consiguiente, las progresivas antes mencionadas corresponden a los puntos de cambios de pendientes, por lo tanto para el trazado de la vía estos puntos representan los PI de las curvas verticales del perfil longitudinal, estas curvas tienen la siguiente condición.

- Todas las curvas se diseñaron con una longitud de curva vertical de 30 metros, porque al ser un elevado con una velocidad de diseño muy baja, las curvas verticales tienen que ser diseñados con la mínima.
- Todas las curvas fueron diseñadas de tipo simétrica.

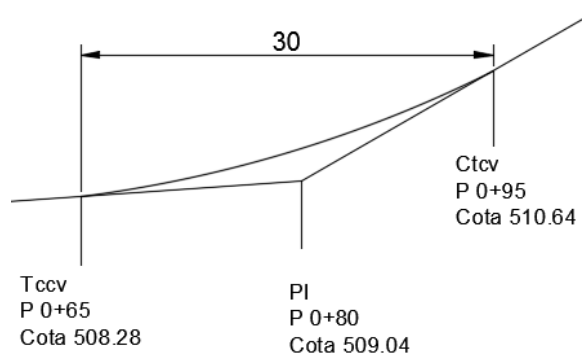


Figura 37 Curva Vertical V1 Elevado 1 Guacara – Bárbula

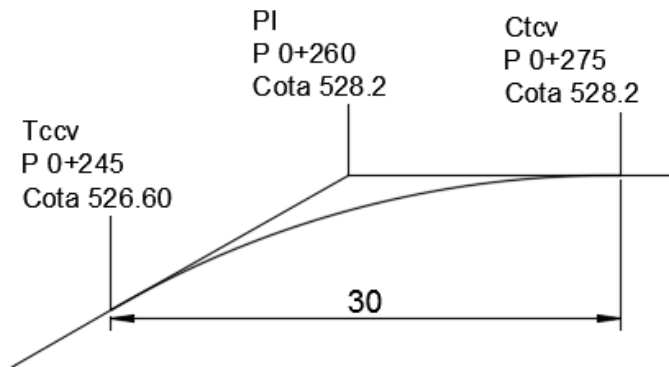


Figura 38 Curva Vertical V2 Elevado 1 Guacara – Bárbula

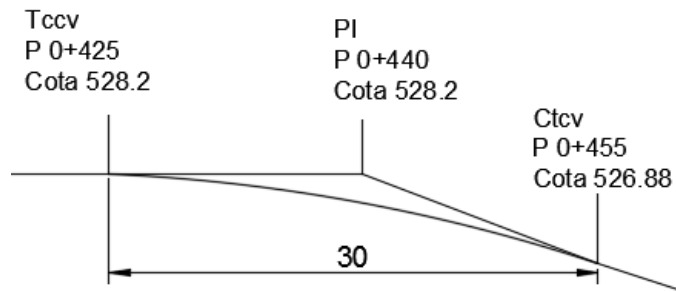


Figura 39 Curva Vertical V3 Elevado 1 Guacara – Bárbula

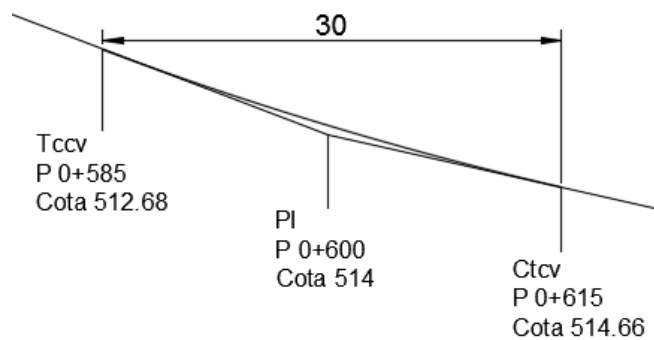


Figura 40 Curva Vertical V4 Elevado 1 Guacara – Bárbula

Todo este conjunto de elementos que fueron diseñados, forman parte de la propuesta definitiva del Dispositivo a desnivel con un tramo recto en el sentido de Guacara –Bárbula.

El dispositivo a desnivel en sentido Bárbula – Guacara fue diseñado con el mismo principio del ubicado en sentido contrario, en la cual se trazó primero una poligonal para permitir el desarrollo del diseño geométrico, se calculó el canal de aceleración y desaceleración, y seguidamente el diseño geométrico de las curvas

simples que forman parte de este dispositivo a desnivel en los vértices de la poligonal. Aplicando la metodología correspondiente para el diseño de cada uno de estos elementos se tiene que:

## **2. Dispositivo a desnivel sentido Bárbula – Guacara:**

### **Canal de desaceleración y aceleración:**

Los canales de aceleración y desaceleración para este dispositivo por poseer las mismas condiciones de velocidad que el dispositivo a desnivel en el sentido contrario, va a poseer tanto la misma longitud de aceleración como la de desaceleración con sus respectivas cuñas.

$$\text{Longitud de desaceleración} = S = 52,08 \text{ m} \approx 55 \text{ m}$$

$$\text{Cuña para el canal de desaceleración} = 15 \text{ m}$$

$$\text{Canal de desaceleración} = 70 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de aceleración} = S = 186,01 \text{ m} \approx 190 \text{ m}$$

$$\text{Cuña para el canal de aceleración} = 90 \text{ m}$$

$$\text{Canal de aceleración} = 280 \text{ m}$$

### **Curvas circulares simples:**

Al igual que las curvas del dispositivo a desnivel del sentido contrario, este dispositivo vial cuenta con el diseño de 4 curvas simples, de igual manera solo se hará la memoria de cálculo de dos curvas representativas, las cuales son las que condicionan la velocidad del dispositivo propiamente dicho.

Curva circular simple correspondiente al vértice 1 de la poligonal:

$$\Delta = 10^{\circ}33'47''$$

$$R = 100 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 100 \text{ m} * 10^{\circ}33'47''}{180^{\circ}} = 18,44 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 100 \text{ m} * \text{tg} \frac{10^{\circ}33'47''}{2} = 9,24 \text{ m}$$

Curva circular simple correspondiente al vértice 2 de la poligonal:

$$\Delta = 100^{\circ}12'26''$$

$$R = 20 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 20 \text{ m} * 100^{\circ}12'26''}{180^{\circ}} = 34,98 \text{ m}$$

$$TC = CT = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = 20 \text{ m} * \operatorname{tg} \frac{100^{\circ}12'26''}{2} = 23,92 \text{ m}$$

Curva circular simple correspondiente al vértice 3 de la poligonal:

$$\Delta = 102^{\circ}03'22''$$

$$R = 20 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 20 \text{ m} * 102^{\circ}03'22''}{180} = 35,62 \text{ m}$$

$$TC = CT = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = 20 \text{ m} * \operatorname{tg} \frac{102^{\circ}03'22''}{2} = 24,72 \text{ m}$$

Curva circular simple correspondiente al vértice 4 de la poligonal:

$$\Delta = 11^{\circ}45'54''$$

$$R = 100 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 100 \text{ m} * 11^{\circ}45'54''}{180^{\circ}} = 20,53 \text{ m}$$

$$TC = CT = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = 100 \text{ m} * \operatorname{tg} \frac{11^{\circ}45'54''}{2} = 10,30 \text{ m}$$

En la siguiente figura se puede observar las características geométricas que posee cada uno de los elementos del dispositivo a desnivel. (Ver figura 40)

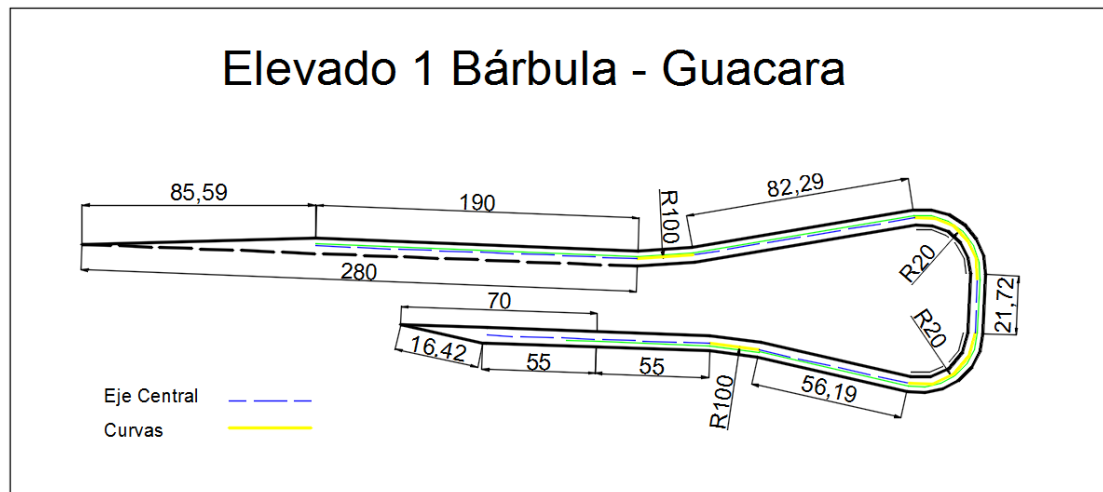


Figura 41 Características geométricas del dispositivo a desnivel con tramo recto sentido Bárbula – Guacara.

#### Curvas verticales:

Las curvas verticales para el Elevado 1 Bárbula – Guacara, van a tener similitud con las diseñadas para el elevado en sentido Guacara – Bárbula, estas

van a tener las mismas características en cuanto a su longitud de curva vertical, y que fueron diseñadas como curvas verticales simétricas. Sin embargo presentan un perfil longitudinal muy distinto (Ver figura 42) producto de la topografía donde se encuentra ubicado y que fue diseñado con un trayecto completamente horizontal en la zona de paso. Este elevado tiene solo dos pendientes que van desde la progresiva 0+70 hasta la 0+170 de 7% y de 6,5% desde la progresiva 0+290 hasta la 0+400.

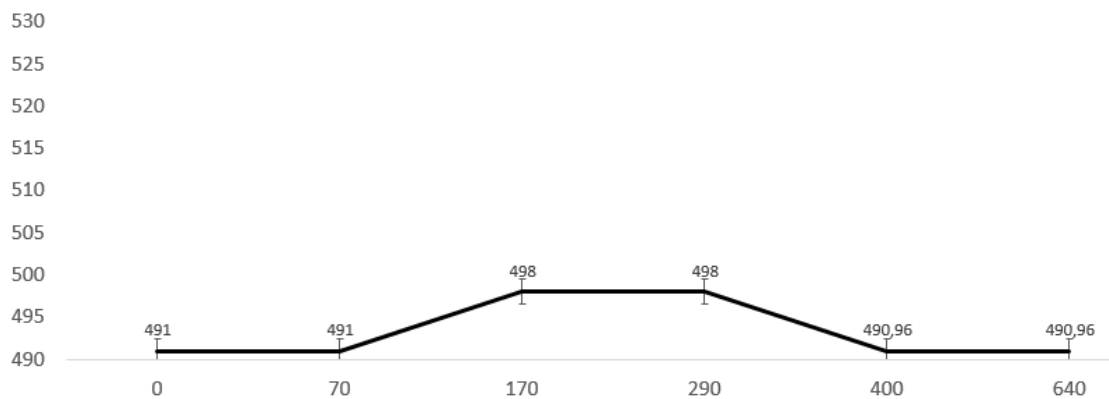


Figura 42 Perfil longitudinal Elevado 1 Bárbula – Guacara

Como se puede observar en la figura, existen cuatro vértices que corresponden a las progresiva 0+70, 0+170, 0+290 y 0+400, donde es necesario el diseño de las curvas verticales respectivamente.

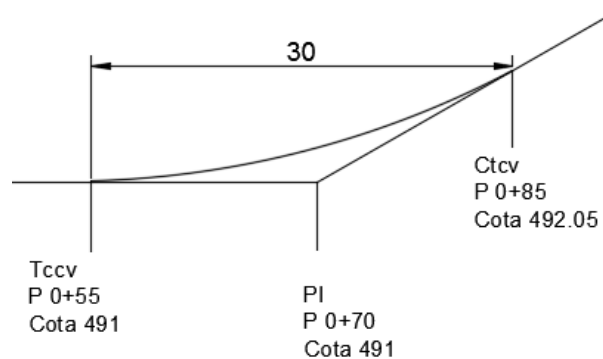


Figura 43 Curva Vertical V1 Elevado 1 Bárbula – Guacara

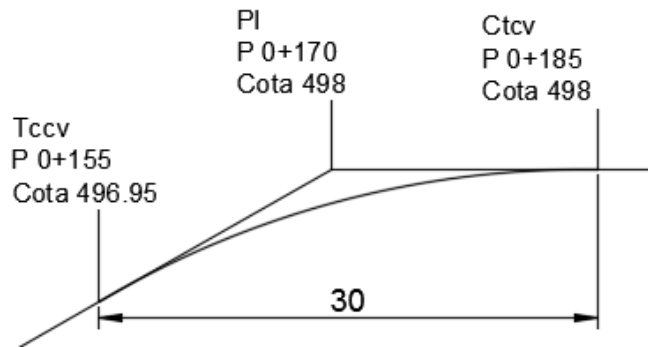


Figura 44 Curva Vertical V2 Elevado 1 Bárbula – Guacara

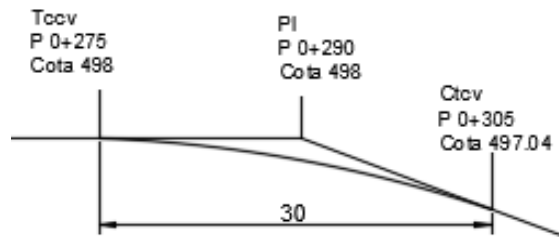


Figura 45 Curva Vertical V3 Elevado 1 Bárbula – Guacara

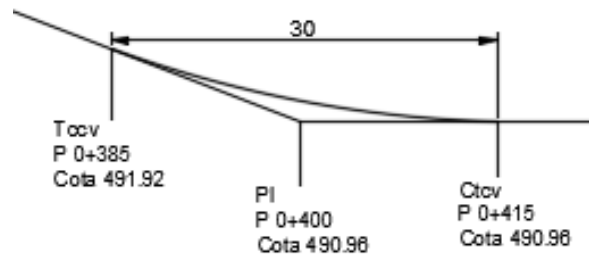


Figura 46 Curva Vertical V4 Elevado 1 Bárbula – Guacara

Dentro de este orden de ideas, el diseño de ambos dispositivos viales de este tipo a pesar de sus desventajas mencionadas anteriormente, sería una posible solución a los problemas latentes que existen actualmente. El diseño definitivo de esta propuesta se puede visualizar en el anexo correspondiente (Ver anexo 20).

### Solución 2.2

La segunda propuesta se basa en dos dispositivos del mismo tipo, uno para cada sentido de la autopista, este tipo de dispositivo tiene la particularidad de que su trayectoria de paso está solo compuesto por curvas, dando así al usuario la sensación de un recorrido continuo, este dispositivo presenta características

favorables en cuanto a su diseño geométrico, debido a que se encuentra diseñado con curvas circulares con radios mayores que el dispositivo explicado anteriormente, lo que permite que los vehículos puedan transitar con mayor velocidad. Por otra parte este tipo de dispositivo presenta desventajas desde el punto de vista constructivo, siendo más complicada su construcción, y por ende más costosa desde el punto de vista económico.

Se planteó entonces el diseño geométrico de estos dispositivos, los cuales están formados por curvas circulares simples, curvas circulares compuestas de dos radios, canales de aceleración y canales de desaceleración, curvas verticales y transiciones de peralte. Todos estos elementos fueron diseñados de acuerdo a una poligonal planteada para garantizar su óptimo diseño geométrico. La metodología para el diseño de cada uno de los elementos que forman parte del dispositivo es la siguiente:

**1. Dispositivo a desnivel sentido Guacara – Bárbula:**

**Canal de desaceleración:**

$$\text{Longitud de desaceleración} = S = \frac{V_f^2 - V_o^2}{2 * a}$$

$$V_f = 15 \text{ km/h}$$

$$V_o = 60 \text{ km/h}$$

$$a = -2,5 \text{ m/s}^2$$

$$S = 52,08 \text{ m} \approx 55 \text{ m}$$

$$\text{Cuña} = w * n$$

w = ancho del canal

$$w = 5,6 \text{ m}$$

n = cotα

$$\alpha = \text{ángulo entre la vía principal y el canal} = 19^\circ 44' 42''$$

$$\text{Cuña} = 14,6 \text{ m} \approx 15 \text{ m}$$

$$\text{Canal de desaceleración} = S + \text{Cuña} = 55 \text{ m} + 15 \text{ m} = 70 \text{ m}$$

**Canal de aceleración:**

$$\text{Longitud de aceleración} = S = \frac{V_f^2 - V_o^2}{2 * a}$$

$$V_f = 60 \text{ km/h}$$

$$V_o = 15 \text{ km/h}$$

$$a = 0,7 \text{ m/s}^2$$

$$S = 186,01 \text{ m} \approx 190 \text{ m}$$

Con una longitud de cuña de 90 m mínimo.

$$\text{Canal de aceleración} = S + \text{Cuña} = 190 \text{ m} + 90 \text{ m} = 280 \text{ m}$$

### Curvas circulares:

Curva circular simple correspondiente al vértice 1 de la poligonal:

$$\Delta = 14^\circ 40' 04''$$

$$R = 100 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 100 \text{ m} * 14^\circ 40' 04''}{180^\circ} = 25,60 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 100 \text{ m} * \text{tg} \frac{14^\circ 40' 04''}{2} = 12,87 \text{ m}$$

Curva circular simple correspondiente al vértice 2 de la poligonal:

$$\Delta = 35^\circ 19' 52''$$

$$R = 50 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 50 \text{ m} * 35^\circ 19' 52''}{180} = 30,83 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 50 \text{ m} * \text{tg} \frac{35^\circ 19' 52''}{2} = 15,92 \text{ m}$$

Curva circular compuesta de 2 radios correspondiente al vértice 3 de la poligonal:

$$\Delta = 100^\circ 01' 19''$$

$$R_1 = 40 \text{ m}$$

$$R_2 = 30 \text{ m}$$

$$\Delta_{c1} = 38^\circ 04' 46''$$

$$\Delta_{c2} = 61^\circ 56' 33''$$

$$\Delta_3 = 79^\circ 58' 41''$$

$$L_{c1} = \frac{\pi * R_1 * \Delta_{c1}}{180} = \frac{\pi * 40 \text{ m} * 38^\circ 04' 46''}{180^\circ} = 36,58 \text{ m}$$

$$Lc_2 = \frac{\pi * R_2 * \Delta_{c2}}{180} = \frac{\pi * 30 \text{ m} * 61^\circ 56' 33''}{180^\circ} = 32,43 \text{ m}$$

$$TC = R \cdot \text{tg} \frac{\Delta}{2}$$

$$T1 = 40 \text{ m} * \text{tg} \frac{38^\circ 04' 46''}{2} = 13,80 \text{ m}$$

$$T2 = 30 \text{ m} * \text{tg} \frac{61^\circ 56' 33''}{2} = 18,01 \text{ m}$$

$$a = \frac{(T1 + T2) * \sin \Delta_{c2}}{\sin \Delta_{c3}} = \frac{(13,80 \text{ m} + 18,01 \text{ m}) * \sin (61^\circ 56' 33'')}{\sin 79^\circ 58' 41''} = 28,51 \text{ m}$$

$$b = \frac{(T1 + T2) * \sin \Delta_{c1}}{\sin \Delta_{c3}} = \frac{(13,80 \text{ m} + 18,01 \text{ m}) * \sin (38^\circ 04' 46'')}{\sin 79^\circ 58' 41''} = 19,92 \text{ m}$$

$$TE = T1 + a = 13,80 \text{ m} + 28,51 \text{ m} = 42,31 \text{ m}$$

$$TS = T2 + b = 18,01 \text{ m} + 19,92 \text{ m} = 37,93 \text{ m}$$

Curva circular compuesta de 2 radios correspondiente al vértice 4 de la poligonal:

$$\Delta = 77^\circ 46' 28''$$

$$R_1 = 30 \text{ m}$$

$$R_2 = 40 \text{ m}$$

$$\Delta_{c1} = 42^\circ 17' 54''$$

$$\Delta_{c2} = 35^\circ 28' 34''$$

$$\Delta_3 = 102^\circ 13' 32''$$

$$Lc_1 = \frac{\pi * R_1 * \Delta_{c1}}{180} = \frac{\pi * 30 \text{ m} * 42^\circ 17' 54''}{180^\circ} = 22,15 \text{ m}$$

$$Lc_2 = \frac{\pi * R_2 * \Delta_{c2}}{180} = \frac{\pi * 40 \text{ m} * 35^\circ 28' 34''}{180^\circ} = 24,77 \text{ m}$$

$$TC = R \cdot \text{tg} \frac{\Delta}{2}$$

$$T1 = 30 \text{ m} * \text{tg} \frac{42^\circ 17' 54''}{2} = 11,61 \text{ m}$$

$$T2 = 40 \text{ m} * \text{tg} \frac{35^\circ 28' 34''}{2} = 12,79 \text{ m}$$

$$a = \frac{(T1 + T2) * \sin \Delta_{c2}}{\sin \Delta_{c3}} = \frac{(11,61 \text{ m} + 12,79 \text{ m}) * \sin (35^\circ 28' 34'')}{\sin (79^\circ 58' 41'')} = 14,49 \text{ m}$$

$$b = \frac{(T1 + T2) * \sin\Delta_{c1}}{\sin\Delta_{c3}} = \frac{(11,61 \text{ m} + 12,79 \text{ m}) * \sin(42^\circ 17' 54'')}{\sin(79^\circ 58' 41'')} = 16,80 \text{ m}$$

$$TE = T1 + a = 11,61 \text{ m} + 14,49 \text{ m} = 26,10 \text{ m}$$

$$TS = T2 + b = 12,79 \text{ m} + 16,80 \text{ m} = 29,58 \text{ m}$$

Curva circular simple correspondiente al vértice 5 de la poligonal:

$$\Delta = 19^\circ 01' 56''$$

$$R = 100 \text{ m}$$

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 100 \text{ m} * 19^\circ 01' 56''}{180} = 33,22 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 100 \text{ m} * \text{tg} \frac{19^\circ 01' 56''}{2} = 16,76 \text{ m}$$

Ahora bien, ya definidas las características geométricas de este dispositivo en la siguiente figura se presenta su diseño definitivo. (Ver figura 47)

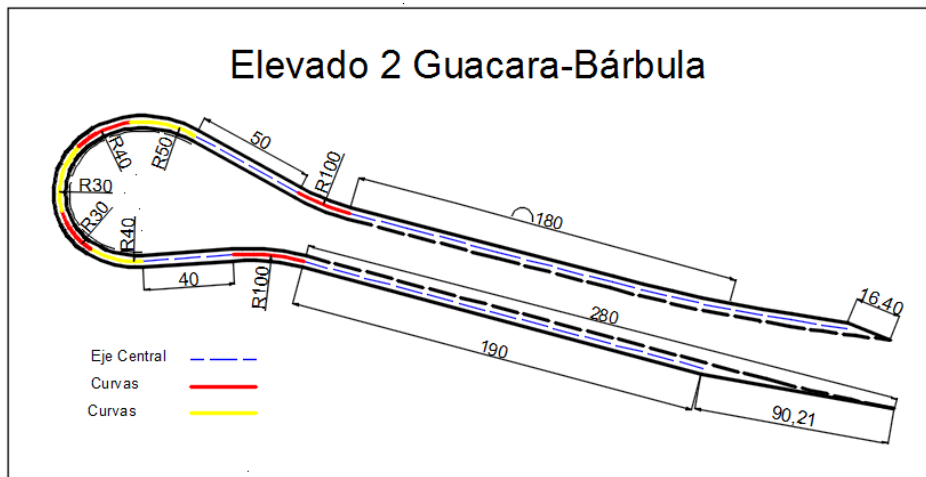


Figura 47 Características geométricas del dispositivo a desnivel con curva circular constante sentido Guacara – Bárbula

Conocidos cada uno de los elementos que forman parte del dispositivo, se trazaron las progresivas cada 25 m en tramos rectos y cada 5 m en las curvas (Ver anexo 18), y de esta manera se definió la distancia total del dispositivo, la cual es 679,10 m lineales. También se puede observar que el dispositivo cuenta con tres tramos rectos que no corresponden a ningún elemento vial anteriormente calculado, el primer tramo va desde la progresiva 0+70 hasta 0+256,37, el segundo tramo corresponde desde la progresiva 0+281.97 hasta la progresiva

0+331.97, y un tercero tramo recto ubicado luego del curvón desde la progresiva 0+447.53 hasta la progresiva 0+489.34.

**Curvas verticales:**

Ya definido el Elevado 2 Guacara – Bárbula, con el trazado de sus progresivas respectivas, se procedió al diseño de su plano longitudinal (Ver figura 48), se trazaron las rasantes con el fin de garantizar que el tramo de la curva de tipo curvón se mantenga a 5 metros o más de cota por encima de la autopista.

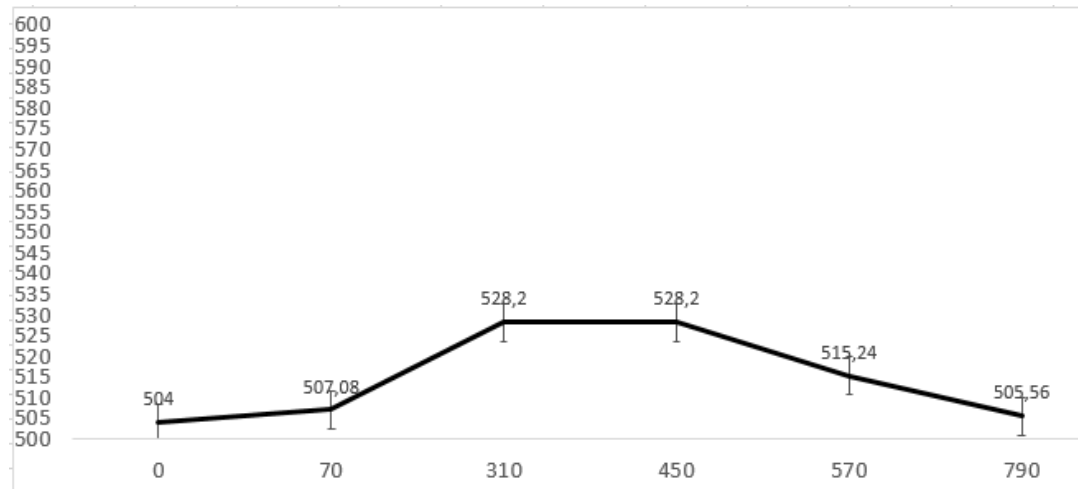


Figura 48 Perfil longitudinal Elevado 2 Guacara – Bárbula

En la figura se observan 4 vértices que corresponden a 4 curvas verticales todas estas curvas fueron diseñadas con longitud de curva vertical de 30 m y simétricas, los PI de cada curva fueron seleccionados en tramos rectos de la vía para evitar superposiciones en curvas horizontales, lo cual no está permitido, y también en puntos tales que favorezcan a las pendientes. Los puntos de las curvas verticales corresponden a las progresivas 0+70, 0+310, 0+450 y 0+570 (Ver figura 48). Desde la progresiva 0+00 hasta la 0+70 se tiene una pendiente de 4,4%, desde la 0+70 hasta la 0+310 de 8.8%, desde la 0+310 hasta la 0+450 de 0%, desde la 0+450 hasta la 0+570 de -10.8 y por último desde la 0+570 hasta la 0+790 de -4,4%.

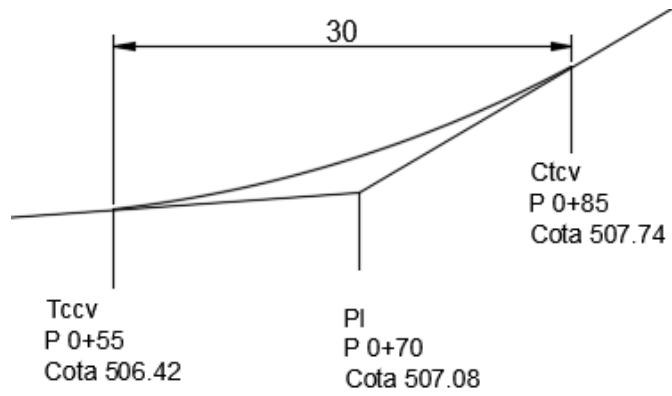


Figura 49 Curva vertical V1 Elevado 2 Guacara - Bárbula

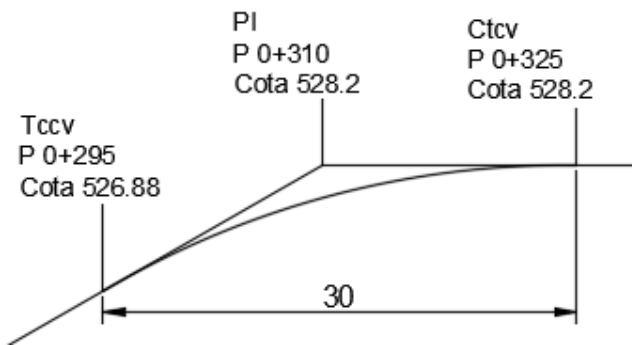


Figura 50 Curva vertical V2 Elevado 2 Guacara – Bárbula

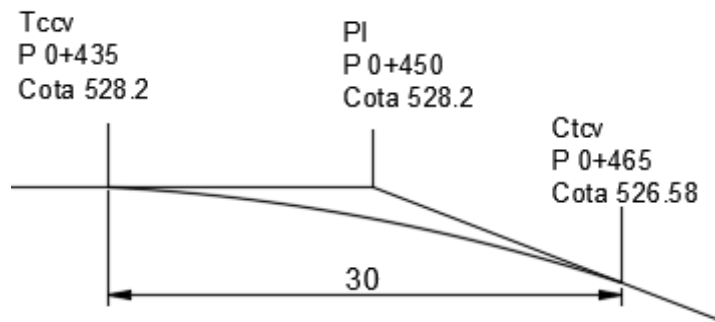


Figura 51 Curva vertical V3 Elevado 2 Guacara – Bárbula

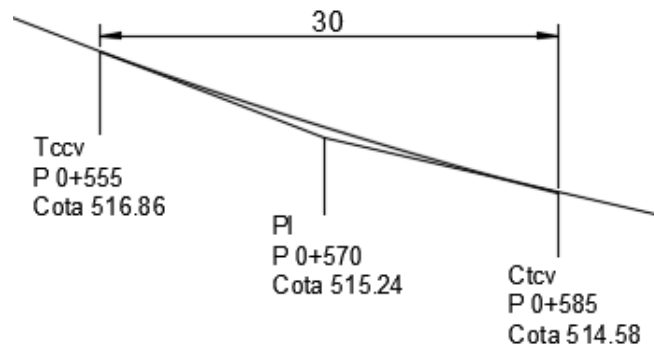


Figura 52 Curva vertical V4 Elevado 2 Guacara – Bárbula

**Calculo de Peralte:**

Debido a que la curva circular simple tipo curvón posee características de velocidad que condicionan a la curva para que este posea en su diseño el cálculo del peralte y su transición de peralte. La memoria de cálculo para el diseño de estos es la siguiente:

Considerando una Radio de 30 m  $\rightarrow V = 33 \text{ km/h}$

$m = 1,28\%$  (Valor extraído de la tabla 6)

$$P_{\max} = 0,007865 * \frac{V^2}{R} - f = 0,007865 * \frac{33^2}{30} = 0,065 = 7\%$$

$$f = 0,26 - 0,001333 * V = 0,26 - 0,001333 * \frac{33\text{km}}{h} = 0,22 \text{ m}$$

$$LT = \frac{\text{Ancho de carril} * P_{\max}}{m(\%)} = \frac{3,6\text{m} + 7\%}{1,28\%} = 19,68 \approx 20 \text{ m}$$

$$N = \frac{\text{Ancho de carril} * P_{\text{bombeo}}}{m(\%)} = \frac{3,6 \text{ m} * 2\%}{1,28\%} = 5,65 \text{ m} \approx 7 \text{ m}$$

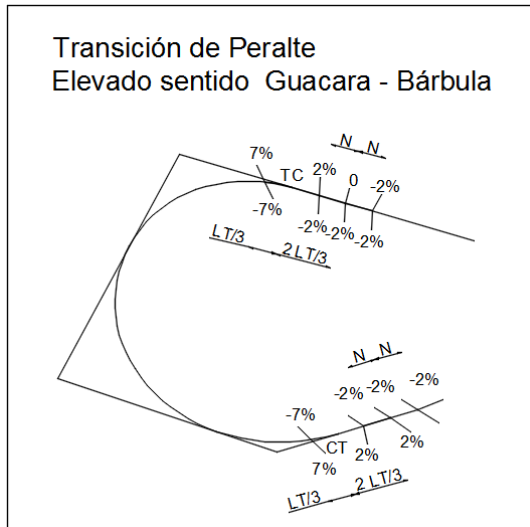


Figura 53 Transición de peralte Elevado 2 sentido Guacara - Bárbula

**2. Dispositivo a desnivel sentido Bárbula – Guacara:**

**Canal de desaceleración y aceleración:**

Debido a que se consideraron las mismas condiciones de velocidades en ambos sentidos para la incorporación y desincorporación de los Elevados, estos tendrán las mismas consideraciones geométricas. Por lo tanto los canales para el sentido Bárbula – Guacara serán los siguientes:

$$\text{Canal de desaceleración} = S + \text{Cuña} = 55 \text{ m} + 15 \text{ m} = 70 \text{ m}$$

$$\text{Canal de aceleración} = S + \text{Cuña} = 190 \text{ m} + 90 \text{ m} = 280 \text{ m}$$

**Curvas circulares:**

Curva circular simple correspondiente al vértice 1 de la poligonal:

$$\Delta = 14^{\circ}37'40''$$

$$R = 100 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 100 \text{ m} * 14^{\circ}37'40''}{180^{\circ}} = 25,53 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 100 \text{ m} * \text{tg} \frac{14^{\circ}37'40''}{2} = 12,83 \text{ m}$$

Curva circular simple correspondiente al vértice 2 de la poligonal:

$$\Delta = 35^{\circ}19'52''$$

$$R = 40 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 40 \text{ m} * 35^{\circ}19'52''}{180} = 24,67 \text{ m}$$

$$TC = CT = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} = 40 \text{ m} * \operatorname{tg} \frac{35^{\circ}19'52''}{2} = 12,74 \text{ m}$$

Curva circular compuesta de 2 radios correspondiente al vértice 3 de la poligonal:

$$\Delta = 100^{\circ}01'19''$$

$$R_1 = 40 \text{ m}$$

$$R_2 = 30 \text{ m}$$

$$\Delta_{c1} = 38^{\circ}04'46''$$

$$\Delta_{c2} = 61^{\circ}56'33''$$

$$\Delta_3 = 79^{\circ}58'41''$$

$$Lc_1 = \frac{\pi * R_1 * \Delta_{c1}}{180} = \frac{\pi * 40 \text{ m} * 38^{\circ}04'46''}{180^{\circ}} = 36,58 \text{ m}$$

$$Lc_2 = \frac{\pi * R_2 * \Delta_{c2}}{180} = \frac{\pi * 30 \text{ m} * 61^{\circ}56'33''}{180^{\circ}} = 32,43 \text{ m}$$

$$TC = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2}$$

$$T1 = 40 \text{ m} * \operatorname{tg} \frac{38^{\circ}04'46''}{2} = 13,80 \text{ m}$$

$$T2 = 30 \text{ m} * \operatorname{tg} \frac{61^{\circ}56'33''}{2} = 18,01 \text{ m}$$

$$a = \frac{(T1 + T2) * \sin \Delta_{c2}}{\sin \Delta_{c3}} = \frac{(13,80 \text{ m} + 18,01 \text{ m}) * \sin (61^{\circ}56'33'')}{\sin 79^{\circ}58'41''} = 28,51 \text{ m}$$

$$b = \frac{(T1 + T2) * \sin \Delta_{c1}}{\sin \Delta_{c3}} = \frac{(13,80 \text{ m} + 18,01 \text{ m}) * \sin (38^{\circ}04'46'')}{\sin 79^{\circ}58'41''} = 19,92 \text{ m}$$

$$TE = T1 + a = 13,80 \text{ m} + 28,51 \text{ m} = 42,31 \text{ m}$$

$$TS = T2 + b = 18,01 \text{ m} + 19,92 \text{ m} = 37,93 \text{ m}$$

Curva circular compuesta de 2 radios correspondiente al vértice 4 de la poligonal:

$$\Delta = 77^{\circ}46'28''$$

$$R_1 = 30 \text{ m}$$

$$R_2 = 40 \text{ m}$$

$$\Delta_{c1} = 42^{\circ}17'54''$$

$$\Delta_{c2} = 35^{\circ}28'34''$$

$$\Delta_3 = 102^{\circ}13'32''$$

$$L_{c1} = \frac{\pi * R_1 * \Delta_{c1}}{180} = \frac{\pi * 30 \text{ m} * 42^{\circ}17'54''}{180^{\circ}} = 22,15 \text{ m}$$

$$L_{c2} = \frac{\pi * R_2 * \Delta_{c2}}{180} = \frac{\pi * 40 \text{ m} * 35^{\circ}28'34''}{180^{\circ}} = 24,77 \text{ m}$$

$$TC = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2}$$

$$T1 = 30 \text{ m} * \text{tg} \frac{42^{\circ}17'54''}{2} = 11,61 \text{ m}$$

$$T2 = 40 \text{ m} * \text{tg} \frac{35^{\circ}28'34''}{2} = 12,79 \text{ m}$$

$$a = \frac{(T1 + T2) * \sin \Delta_{c2}}{\sin \Delta_{c3}} = \frac{(11,61 \text{ m} + 12,79 \text{ m}) * \sin (35^{\circ}28'34'')}{\sin (79^{\circ}58'41'')} = 14,49 \text{ m}$$

$$b = \frac{(T1 + T2) * \sin \Delta_{c1}}{\sin \Delta_{c3}} = \frac{(11,61 \text{ m} + 12,79 \text{ m}) * \sin (42^{\circ}17'54'')}{\sin (79^{\circ}58'41'')} = 16,80 \text{ m}$$

$$TE = T1 + a = 11,61 \text{ m} + 14,49 \text{ m} = 26,10 \text{ m}$$

$$TS = T2 + b = 12,79 \text{ m} + 16,80 \text{ m} = 29,58 \text{ m}$$

Curva circular simple correspondiente al vértice 5 de la poligonal:

$$\Delta = 18^{\circ}32'55''$$

$$R = 100 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 100 \text{ m} * 18^{\circ}32'55''}{180} = 32,37 \text{ m}$$

$$TC = CT = R * \text{tg} \frac{\Delta}{2} = 100 \text{ m} * \text{tg} \frac{18^{\circ}32'55''}{2} = 16,33 \text{ m}$$

Con respecto a los cálculos mencionados anteriormente se obtiene el diseño final del elevado sentido Bárbula – Guacara. (Ver figura 54)

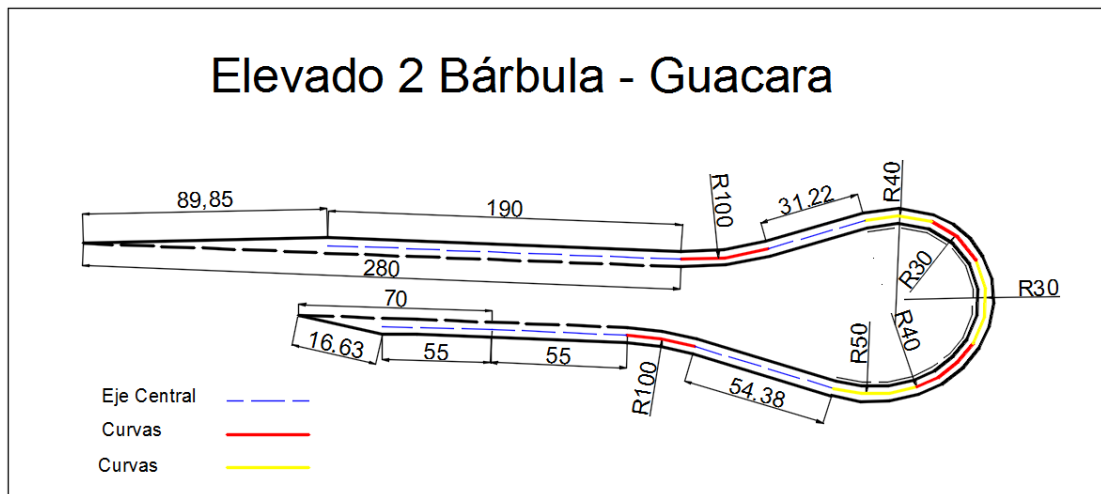


Figura 54 Características geométricas del dispositivo a desnivel con curva circular constante sentido Bárbula – Guacara.

Ya definido el Elevado 2 Bárbula – Guacara, con el trazado de sus progresivas respectivas, se procedió al diseño de su plano longitudinal (Ver figura 55) , se trazaron las rasantes con el fin de garantizar que el tramo de la curva de tipo curvon se mantenga a 5 metros o más de cota por encima de la autopista.

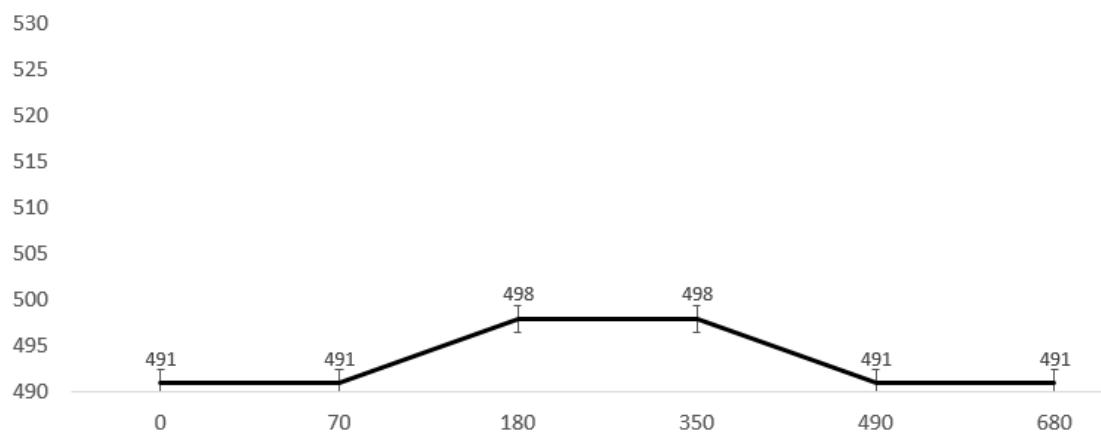


Figura 55 Perfil longitudinal Elevado 2 Bárbula – Guacara

En la figura se observan cuatro vértices que corresponden a 4 curvas verticales dos convexas y dos cóncavas, todas estas curvas fueron diseñadas con longitud de curva vertical de 30 m y simétricas, los PI de cada curva fueron seleccionados en tramos rectos de la vía para evitar superposiciones en curvas horizontales, lo cual no está permitido, y también en puntos tales favorezcan a las pendientes. Los puntos de las curvas verticales corresponden a las progresivas

0+70, 0+180, 0+350 y 0+490 (Ver figura 52). Desde la progresiva 0+00 hasta la 0+70 se tiene una pendiente de 0%, desde la 0+70 hasta la 0+180 de 6,4%, desde la 0+180 hasta la 0+350 de 0%, desde la 0+350 hasta la 0+490 de -5% y por último desde la 0+490 hasta la 0+680 de 0%.

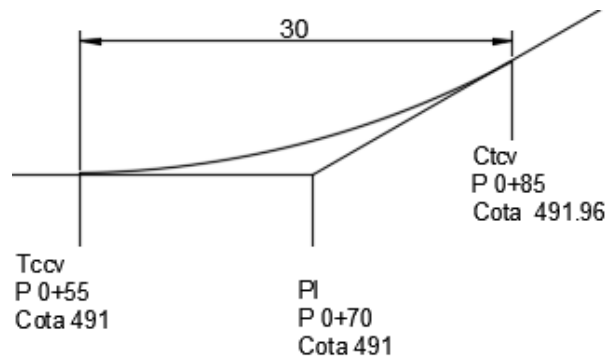


Figura 56 Curva vertical V1 Elevado 2 Bárbula – Guacara

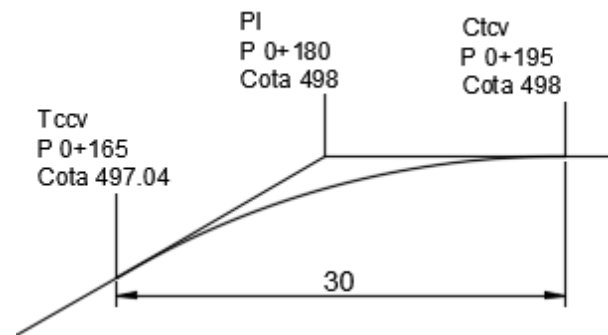


Figura 57 Curva vertical V2 Elevado 2 Bárbula – Guacara

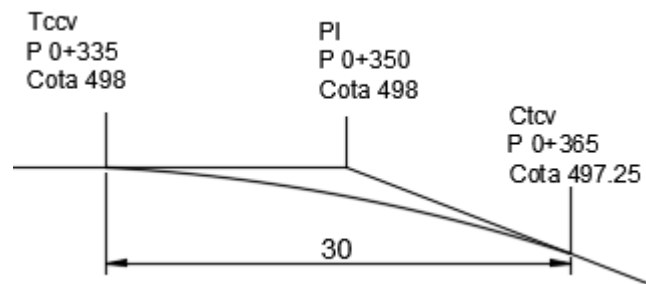


Figura 58 Curva vertical V3 Elevado 2 Bárbula – Guacara

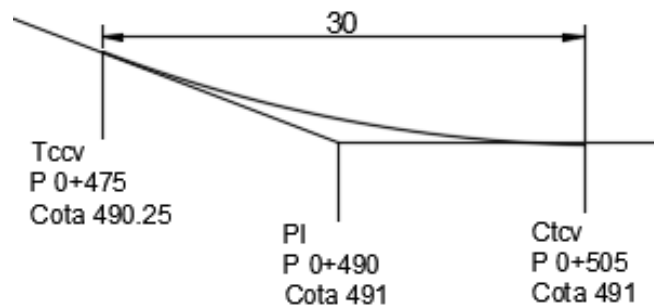


Figura 59 Curva vertical V4 Elevado 2 Bárbula – Guacara

### Cálculo de Peralte:

Debido a que la curva circular simple tipo curvón posee características de velocidad que condicionan a la curvan para que este posea su diseño de peralte y su transición de peralte. La memoria de cálculo para el diseño de estos es la siguiente:

Considerando una Radio de 30 m  $\rightarrow$  V = 33 km/h

$m = 1,28\%$  (Valor extraído de la tabla 6)

$$P_{max} = 0,007865 * \frac{V^2}{R} - f = 0,007865 \frac{33^2}{30} = 0,065 = 7\%$$

$$f = 0,26 - 0,001333 * V = 0,26 - 0,001333 * \frac{33km}{h} = 0,22 m$$

$$LT = \frac{\text{Ancho de carril} * P_{max}}{m(\%)} = \frac{3,6m + 7\%}{1,28\%} = 19,68 \approx 20 m$$

$$N = \frac{\text{Ancho de carril} * P_{bombeo}}{m(\%)} = \frac{3,6 m * 2\%}{1,28\%} = 5,65 m \approx 7 m$$

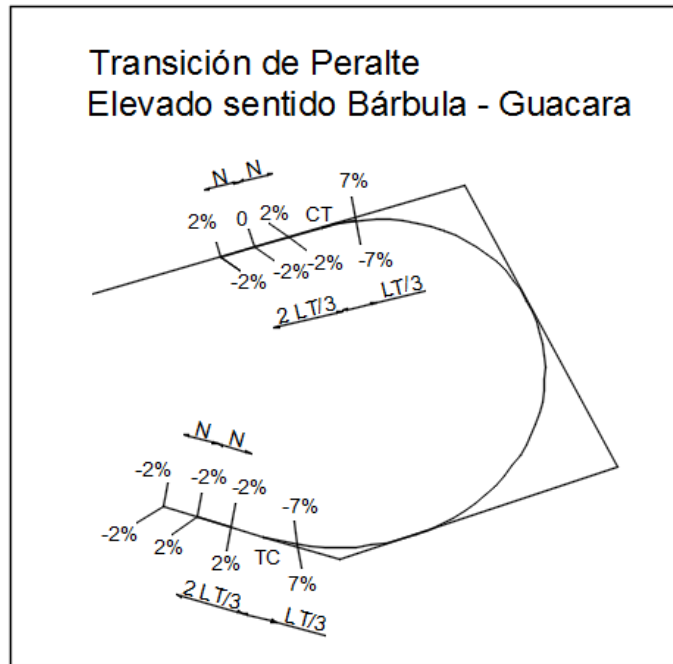


Figura 60 Transición de peralte Elevado 2 sentido Bárbula - Guacara

En resumidas cuentas, el diseño de este tipo de elevado representa una mejor opción para la movilidad de tráfico, ya que el diseño propuesto está definido con curvas con radios de 30,40 y 50, garantizando así su recorrido con velocidades consistentes que permitirán a los usuarios transitar por el elevado de forma fluida.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio, el cual se basó en el rediseño geométrico del retorno ubicado en el km 13+500 de la autopista Bárbula - Guacara, y de esta manera solucionar así el problema que existe con respecto al riesgo de accidentabilidad en dicho punto, y generando al mismo tiempo una respuesta a la necesidad sentida por los usuarios que transitan por dicha autopista la cual favorecería su bienestar, salud, tranquilidad, seguridad y por ende minimizar el riesgo de accidentabilidad.

Metodológicamente el planteamiento del problema y sus alternativas de solución, se fueron manejando en detalle y evaluándolas de la más sencilla a la más compleja, representando el diseño propuesto como una solución real, efectiva y sobretodo viable y eficaz.

Para lograr el rediseño geométrico definitivo fue necesario cumplir con cada uno de los objetivos específicos planteados en la investigación, de los cuales se puede concluir que:

Del primer objetivo el cual fue descrito como **“Realizar un levantamiento topográfico a fin de tener la información completa de la geometría vial en la autopista Bárbula - Guacara a la altura del km 13+500”** se puede concluir que el diseño actual que posee el retorno, junto con los dispositivos viales de la Concretera Frame y la Estación Bosqueserino no poseen las condiciones normativas de diseño para su correcto funcionamiento.

En base al segundo objetivo planteado como **“Diagnosticar las condiciones de seguridad que presenta actualmente el retorno ubicado en la Autopista Bárbula – Guacara a la altura del km 13+500”** se concluye que aparte del mal diseño geométrico que posee este retorno, también presenta condiciones negativas que afectan su movilidad, dentro de estos factores el más importante es la falta de señales de tránsito, así como también el deterioro que presenta la capa de rodamiento en los canales del retorno. Adicionalmente se puede resaltar que la presencia de los canales de aceleración de la Estación Bosqueserino y el canal de desaceleración de la Concretera Frame se encuentran paralelamente al retorno en

sentido Bárbula – Guacara, lo que origina una zona crítica de alta probabilidad de ocasionar accidentes. En base a lo mencionado anteriormente se puede concluir en definitivo, que en la zona de estudio existe un alto índice de accidentabilidad, y que hace sumamente riesgoso circular por el retorno en su condición actual.

Como conclusión del tercer objetivo, el cual consistió en el **rediseño de las características geométricas viales del retorno y los canales de incorporación y desincorporación de la Estación de Servicio Bosqueserino y la Concretera Frame**, se puede decir que bajo los lineamientos indicados en la Norma Venezolana para el Diseño de Carreteras, en conjunto con parámetros estipulados por la AASHTO 2004 se pudo detallar los valores mínimos requeridos para cada dispositivos, y de esta manera hacer la comparación de dichos valores con las características geométricas que poseen actualmente. Por consiguiente con esta comparación se puede concluir que las bases que sustentaron el diseño actual de los dispositivos fueron errado o nunca se terminaron de construir, y por ende ha sido uno de principales factores causante de números de accidentes.

Ahora bien, ya estudiados y analizados cada uno de los objetivos mencionados anteriormente se pudo llegar a la conclusión, la del último objetivo de la investigación el cual se basó en **“Proponer una solución que permita a los conductores el uso del retorno ubicado en la autopista Bárbula – Guacara en el km 13+500 de forma segura y controlada”**. El desarrollo de esta propuesta será de gran aporte para solucionar el problema de tráfico que allí se presenta, pero debido a que la solución a corto plazo no va a permitir a los usuarios el uso del retorno de forma totalmente segura como bien ya se estudió. En tal sentido se recomienda como solución definitiva llevar a cabo la propuesta con pasos elevados. En función de que la Norma Venezolana para el Diseño de Carretera y la AASHTO 2004, recomiendan la no existencia de retornos en U en las vías de alta velocidad , y en caso de existir, que posea canales de aceleración y desaceleración con longitudes suficientemente largas para que los usuarios no interfieran con el tráfico de la vía principal. En base a lo mencionado anteriormente, se puede concluir que la propuesta a corto plazo del rediseño geométrico de los dispositivos viales va a disminuir en gran medida el índice de

accidentabilidad de la zona, pero que por su baja complejidad constructiva, esta representaría una medida económica, y que pudiera realizarse a corto plazo mientras se planifican y construyen la solución con pasos elevados.

## RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación, se logró identificar una serie de factores que condicionan el diseño de los dispositivos viales y a su vez la movilidad en esta zona, dentro de este orden de ideas se presentaran recomendaciones que a pesar de diferir en su estrategia de solución, cada una de estas aportará directamente una solución al problema de seguridad vial en la zona de estudio., las recomendaciones son las siguientes:

- Elaborar un estudio detallado del terreno, para así lograr un ajuste más exacto del diseño en base a los valores verdaderos de la zona
- Ejecutar la propuesta en la que se basa este trabajo de investigación, ya que con esta se pretende minimizar el riesgo de accidentabilidad en un corto periodo de tiempo, y que por su sencillo sistema constructivo no requeriría una alta inversión económica.
- Para garantizar un funcionamiento adecuado de la propuesta mencionada anteriormente, se debe incluir defensas laterales alrededor del retorno en sentido Bárbula – Guacara y en un tramo entre los canales de aceleración y desaceleración de la Concretera Frame.
- Demolición es su totalidad de la estructura en abandono (Puente), ya que permitiría un diseño más eficiente del canal de desaceleración de la Concretera Frame, y aceleración de la Estación Bosqueserino.
- Se recomienda que la Concretera Frame tenga su propio canal de servicio para evitar el ingreso directo desde la autopista., la cual está restringida por la norma.
- Se recomienda construir una Estación de Servicio en el sentido Guacara – Bárbula.
- Se deben construir dispositivos a desnivel, los cuales van a generar una solución más apropiada a los problemas de vialidad existente en la autopista garantizando un mejor flujo vehicular y a su vez reduciendo el índice de accidentabilidad.

Se debe realizar una inversión constante para el mantenimiento de toda vialidad existente a fin de garantizar el buen estado de la misma, y de esta manera poder brindar mayor seguridad a los usuarios de estas vías.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

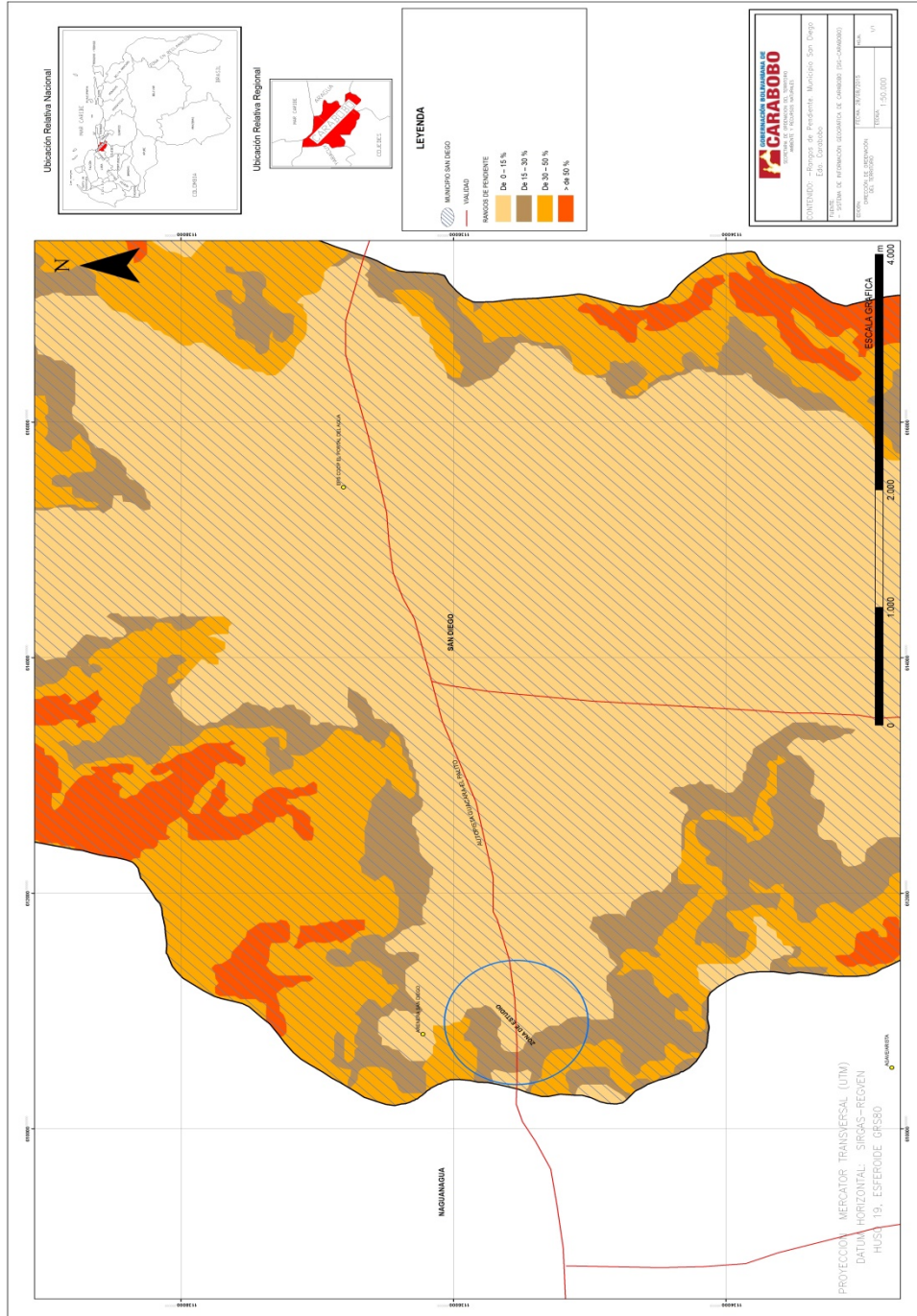
- Agudelo, J, (2002): **Diseño Geométrico de Carreteras**. Universidad Nacional de Colombia, Trabajo de grado. Marzo 2002.
- Andueza, P. (1989): **El Diseño Geométrico de Carreteras**. Venezuela: Talleres Gráficos Universitarios.
- Arcos, Ednas y Rojas Guillermo (2014): **Geometría para los retornos con doble calzada en Colombia**. Universidad Militar Nueva Granada, Trabajo de Grado. Enero 2014.
- Arias (1999). **El Proyecto de Investigación, Guía para su elaboración**. Tercera Edición. Caracas: Episteme.
- Arrayago, Nelson (2013): **Propuesta para diseñar la distribución vial de Puente Bárbula en Naguanagua Estado Carabobo**. Universidad José Antonio Páez, Trabajo de Grado. Enero 2013.
- Avila Alicia y Villega Diana (2007): **Diseño geométrico de un dispositivo vial en la troncal 11, progresiva 83+000 Bejuma – Edo. Carabobo**. Universidad de Carabobo, Trabajo Especial de Grado. Julio 2007.
- Banon, Luis y Brevia José (2003): **Manual de Carreteras, Elementos Proyectos**. Primera Edición. España.
- Bellera, José y Sanda Miguel (2005): **Diseño geométrico del distribuidor la Cumaca ubicado en la progresiva 9+200 de la vía expresa “Bárbula – San Diego” en el estado Carabobo**, Universidad de Carabobo, Trabajo Especial de Grado. Noviembre 2005.
- Cárdenas, J. (2013): **Diseño Geométrico de Carreteras**. Segunda edición. Colombia: Ecoe Ediciones.

- Escobar, Guillermo (2014): **Proceso constructivo del retorno vehicular Elevado Vado II, en el km 12+839.823 de la autopista Guadalajara – Zapotlanejo**. Universidad Nacional Autónoma de México, Trabajo de Grado. Enero 2014.
- García, Luis y Mijares, Héctor (2007). **Normas para la elaboración y presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado**. Venezuela: Fondo editorial de la Universidad José Antonio Páez.
- American Association of States Highways and Transportation Officials (2004). **Geometric Design of Highways and Streets**. Quinta edición. EEUU 2004.
- INTEINSA (2014). **Estudios y diseños definitivos para la construcción de los intercambios viales de: La Salle etapa 1, Los Benedictinos, Loma del Esmeraldal, La Piedra del Ayurá y transversal intermedia del Municipio de Envigado**. Alcaldía de Envigado, Informe final. Mayo 2014.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (1997). **Norma Venezolana para el Proyecto de Carreteras**. Edición provisional. Venezuela 1997.
- Sabino, Carlos (1992). **El Proceso de Investigación**. Caracas: Panapo.
- Tamayo y Tamayo (2007). **Metodología formal de la Investigación Científica**. México: Linusa S.A.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (U.P.E.L.) (2004). **Manual para la elaboración de Tesis Doctorales, Trabajos de Grado y Trabajos Especiales**. Caracas: Fondo editorial de la Universidad Central de Venezuela.

## **ANEXOS**

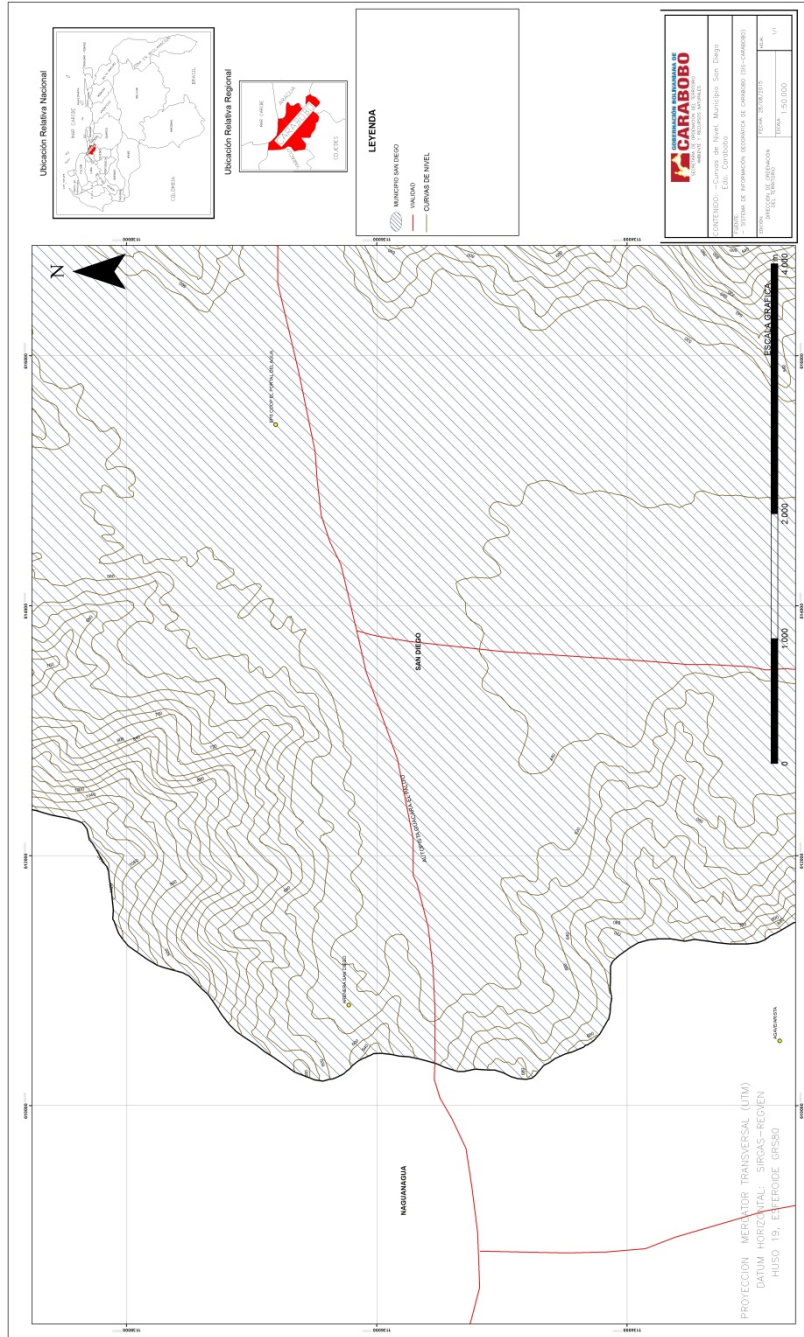
# ANEXO 1

## Rango de pendientes del área en estudio



## ANEXO 2

### Curvas de nivel del área en estudio



## ANEXO 3

### Entrada Concretera Frame



## ANEXO 4

### Salida Concretera Frame



## ANEXO 5

### Canal de desaceleración al retorno sentido Guacara - Bárbula



## ANEXO 6

### Canal de aceleración del retorno sentido Guacara - Bárbula



## ANEXO 7

### Condición de la superficie vial del retorno sentido Guacara - Bárbula



## ANEXO 8

### Canal de desaceleración del retorno sentido Bárbula – Guacara



## ANEXO 9

### Canal de aceleración del retorno sentido Bárbula - Guacara



## ANEXO 10

### Condiciones de la superficie vial del retorno sentido Bárbula – Guacara



**ANEXO 11**



## ANEXO 12

### Canal de desaceleración Estación Bosqueserino



## ANEXO 13

### Reductor de velocidad en el canal de aceleración de la Estación Bosqueserino



**ANEXO 14**  
**Canal de aceleración de la Estación Bosqueserino**



## ANEXO 15

### Salida del canal de aceleración de la Estación Bosqueserino



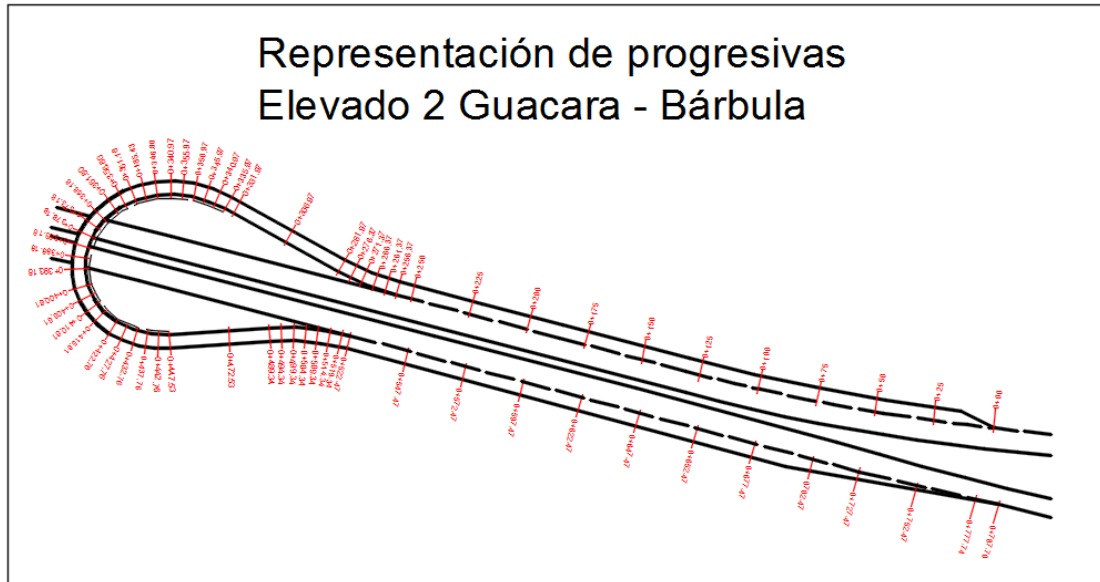
**ANEXO 16**  
**Imagen satelital del área en estudio**



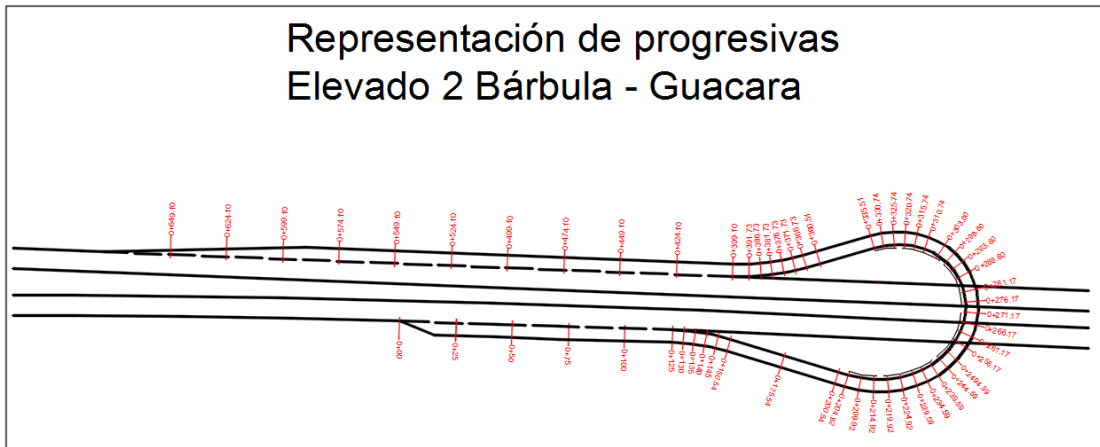


## ANEXO 18

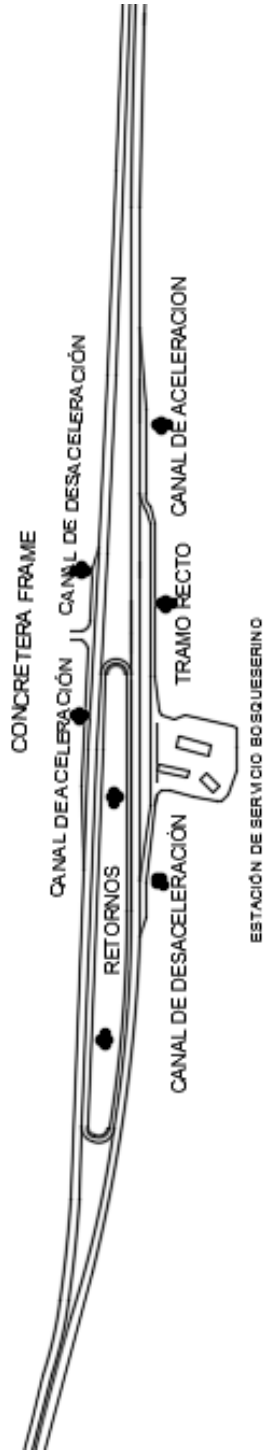
### Progresivas Elevado 2 sentido Guacara – Bárbula



### Progresivas Elevado 2 sentido Bárbula – Guacara

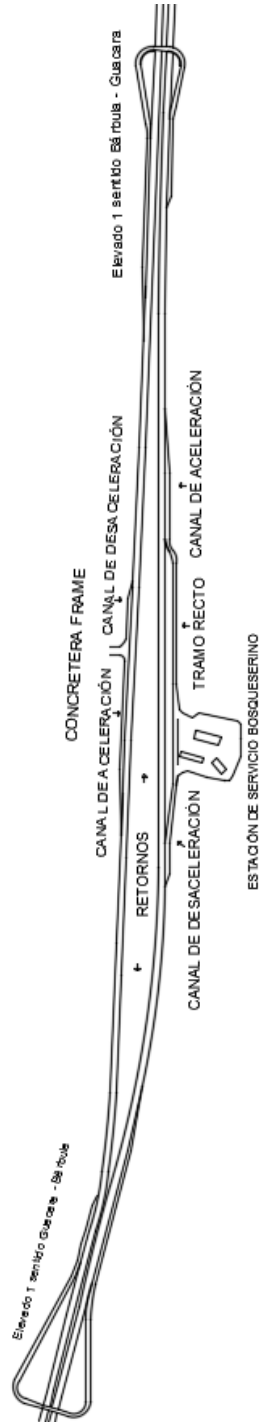


**ANEXO 19**  
Rediseño geométrico a nivel



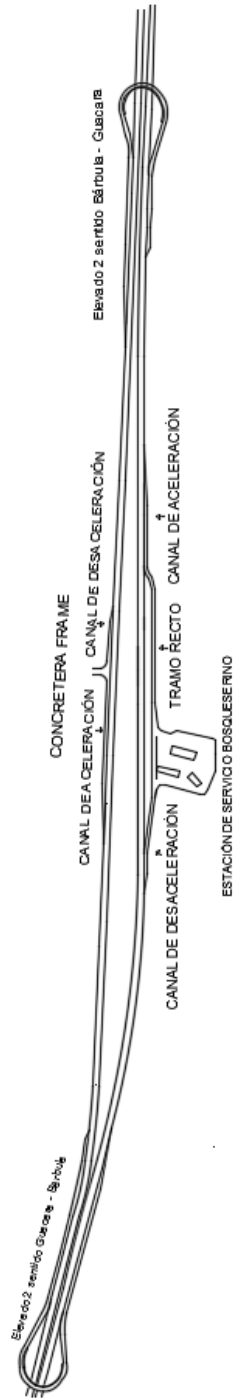
## ANEXO 20

Propuesta con dispositivos a desnivel con tramo recto



## ANEXO 21

Propuesta con dispositivos a desnivel tipo curvón



## ANEXO 22

Propuesta de ubicación de los dispositivos a desnivel

