

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



“REDISEÑO GEOMÉTRICO DE PROLONGACIÓN BOULEVARD
ORDEN DE MALTA Y AMPLIACIÓN CALLE A HUIZUCAR, TRAMO II”

PRESENTADO POR
FRANCISCO ARTURO CRUZ CENTENO
JOSÉ ADRIÁN PÉREZ ASCENCIO
ROBERTO ALEXANDER PINEDA CÁLIX

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2005

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :
Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :
Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :
Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIO :
Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :
Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO CIVIL

Título :

“REDISEÑO GEOMÉTRICO DE PROLONGACIÓN
BOULEVARD ORDEN DE MALTA Y AMPLIACIÓN CALLE
A HUIZUCAR, TRAMO II”

Presentado por :

Francisco Arturo Cruz Centeno
José Adrián Pérez Ascencio
Roberto Alexander Pineda Cálix

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director : Ing. M. Sc. Rogelio Ernesto Godínez González

Docente Director : Ing. Héctor Alejandro Portillo Cortéz

San Salvador, febrero de 2005

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

Ing. M. Sc. Rogelio Ernesto Godínez González

Ing. Héctor Alejandro Portillo Cortéz

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de El Salvador, por habernos dado la oportunidad de una formación académica ejemplar.

A nuestros docentes directores, Ing. M. Sc. Rogelio Ernesto Godínez González e Ing. Héctor Alejandro Portillo Cortéz por su invaluable ayuda en el desarrollo de este estudio.

Al cuerpo docente de la Facultad de Ingeniería Civil, por la orientación recibida para formar nuestras bases académicas.

A la familia Cruz Centeno por su apoyo desinteresado a esta causa.

DEDICATORIA:

A Jehová y Jesucristo por darme la oportunidad de sobrevivir y alcanzar esta meta académica.

A mis padres Arturo Cruz Martínez y Olga Alicia Centeno de Cruz, por hacerme crecer y madurar en todos los aspectos de mi vida y por darme su apoyo incondicional.

A mis tíos, en especial a la Dra. Vilma Elizabeth Centeno y Rodrigo Alejandro Centeno y mi abuela María Centeno por su apoyo moral, espiritual y económico en esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Carlos, Xiomara y Carolina, por quererme de manera sincera y brindarme su cariño en todo momento.

A mis primos y primas, Lorena, Carol, Miguel, Ana y Liana por llenar mi vida de afecto y ser siempre buenas personas.

A mis sobrinas y sobrino, Katherine, Michelle, Carito y Alex, de quienes estoy muy orgulloso y quisiera ser un ejemplo a seguir.

A mis compañeros de tesis Adrián y Lick, por soportarme en los momentos difíciles de este trabajo y esforzarse por igual para lograr cumplir nuestro objetivo.

A familiares y amigos que forman parte importante de mi vida, gracias por su afecto y amistad.

Francisco.

DEDICATORIA:

Al Ser Supremo y creador del mundo, por permitirme la vida y culminar tan noble ideal.

A mis padres: Teresa de Jesús Ascencio de Pérez y Luis Alonso Pérez Hernández, con amor, cariño y respeto.

A mis hermanos: Antonio, Esperanza, Alfredo, Eduardo, Carmen, Esmeralda, Luis y Aníbal. "Mi Familia".

A mis sobrinos: Enrique, Esthefany, Edgardo, Alonso, Rocío y Ricardo.

A mis amigos y compañeros de tesis.

Adrián.

DEDICATORIA:

A DIOS todopoderoso, al Señor Jesús, y al Espíritu Santo, porque siempre están conmigo en todo momento y no me desamparan, bendito sean.

A Mamá Alejandra y Papá Robert, porque siempre creen que puedo hacer grandes cosas, por darme su amor, y apoyo en todo momento, los amo mucho.

A mamá Bea, porque siempre esta conmigo en todas circunstancias buenas y malas, apoyándome siempre; muchas gracias Mamá Bea.

A mi esposa Claudia, que siempre me apoya y comprende en todo momento, te amo mucho Mami claudia.

A mi hijo Danielito Alexander, porque él es la fuente de inspiración para que terminara este trabajo y seguir adelante siempre; te amo hijo lindo.

A mis hermanos Vladimir, Edward, y Vanessa, por creer siempre en mí y mostrarme su apoyo incondicional.

A mis sobrinos Alejandro David, María Reneé, Edward Alessandro, Sara Michelle, y Ester Abigail, por quererme tanto.

A mis compañeros de siempre Frank, Adrián, Ricardo y Agüita, que siempre están ahí, en las buenas y malas, y por que son grandes amigos.

RESUMEN

El proyecto de rediseño geométrico de la vía PROLONGACIÓN BOULEVARD ORDEN DE MALTA Y LA AMPLIACIÓN DE LA CALLE A HUIZUCAR, TRAMO II, se realizó en las etapas de proyecto conceptual, rediseño (análisis de alineamientos horizontal y vertical y sección transversal, y verificando sus replanteos), diseño final y construcción, fundamentalmente importantes como también es la topografía aplicada a las carreteras para el diseño y su realización. El levantamiento topográfico de la planimetría, por donde pasará la vía, toma en cuenta colindantes, construcciones, pozos existentes, postes y demás detalles para el diseño horizontal y vertical del proyecto, para que sea replanteado en campo tal como se haya diseñado (cálculo y dibujo), para conseguir el trazo por donde pasa la vía. El diseño geométrico en tramos rectos, en tangentes, y tramos curvilíneos con curvas circulares y espirales de transición, horizontalmente, y curvas parabólicas para curvas verticales, este se hizo basándose en las normas y especificaciones de la AASHTO, la SIECA, criterios del MOP y especificaciones propias del proyecto para el proceso de cálculo de los elementos del funcionamiento de la vía tales como peralte necesario, grado de curvatura, sobreancho, curvas verticales en columpio y en cresta.

El diseño preliminar o diseño conceptual y las normas y especificaciones de diseño sirven para el análisis exhaustivo de las condiciones existentes para las

que se realizarán modificaciones de alineamiento horizontal y vertical en los tramos identificados y considerados que no satisfacen las normas de diseño geométrico al comparar sus parámetros verificándolos con los estipulados en las normas de la AASHTO, SIECA y MOP para su buena funcionalidad, servicio, seguridad, confort, y otras características esenciales que proporcionan al usuario, los beneficios y buena calidad que estos requieren para el tráfico eficiente, seguro y económico. A la vez, las obras complementarias de drenaje, conllevan al buen funcionamiento de la vía con la misma importancia y en concordancia con la geometría para que esta se mantenga en su conformación. Las obras de protección necesarias para prevenir la erosión en los cauces que atraviesan las vías o en donde descargan las obras de drenaje del proyecto, son importantes para el drenaje lateral o longitudinal; las obras de conducción, cunetas, bermas, contracunetas, bordillos, pendientes, generalmente paralelas a la calzada para captación de las aguas que escurren sobre esta y colectan el agua que baja cuando se ha acumulado sobre las áreas cercanas a través de superficies de corte como de terraplén desde la corona de éste hasta el pie.

En el estudio, el análisis detallado de todos los estacionamientos a lo largo del tramo 2+877.47 a 5+806.81, la revisión requirió que geoméricamente se hicieran cambios, modificaciones, adaptaciones, apertura, ampliaciones, como un proceso de acomodación de los alineamientos horizontales y verticales, y la sección transversal, de acuerdo con los intereses del proyecto y de los

afectados, con los más mínimos impactos y obras de mitigación correspondientes.

Por lo cual, se concluye que el diseño conceptual apegado a lo existente, requiera el rediseño que mejor conviene y cumple para buen funcionamiento del tránsito vehicular, beneficiando al proyecto y a los usuarios y que los errores en construcción si hubieren, puedan ser solventados fácilmente y ágil en oficina con ayudas computacionales, programas de diseño especializados en carreteras y en campo con equipo digitalizado, estación total y técnicos capaces de dar buenos resultados con estos apoyos instrumentales. Lo cual se vuelve recomendable en todos los estudios que impliquen la consecución del proyecto tramo II, esto quedará en los planos de cada etapa del proyecto hasta los finales “como construido” (“as made”) y en la obra construida.

ÍNDICE

ÍTEM	PÁG.
INTRODUCCIÓN GENERAL	i
CAPÍTULO I GENERALIDADES	
1.1 ANTEPROYECTO.....	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.4 OBJETIVOS	8
1.5 ALCANCES.....	9
1.6 DELIMITACIÓN.....	9
1.7 JUSTIFICACIÓN	9
1.8 APLICACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA A LAS CARRETERAS	12
1.9 ESTUDIO DE LAS RUTAS.....	15
1.9.1 ELABORACIÓN DE LOS CROQUIS.....	16
1.9.2 RECONOCIMIENTOS PRELIMINARES	17
1.10 ESTUDIO DEL TRAZO	18
1.10.1 RECONOCIMIENTO TOPOGRÁFICO TERRESTRE	20
1.10.1.1 POLIGONALES DE ESTUDIO.....	20
1.10.1.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO DEL TRAZADO	23
1.10.1.2.1 TRAZADO EN TERRENO PLANO.....	23
1.10.1.2.2 TRAZADO EN TERRENO MONTAÑOSO	24
1.11 ANTEPROYECTO DE CARRETERAS	25

1.11.1	POLIGONAL BASE	26
1.11.2	DIBUJO DE PLANOS DE LA FAJA DE ESTUDIO	32
1.11.3	DIBUJO DE LA PLANTA	32
1.11.4	DIBUJO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES	33
1.12	CONCLUSIONES.....	34

CAPÍTULO II ELEMENTOS PRINCIPALES DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

2.1	INTRODUCCIÓN	36
2.2	ALINEAMIENTO HORIZONTAL.....	36
2.2.1	CURVATURA HORIZONTAL	39
2.2.2	TASA DE SOBREELEVACIÓN O PERALTE “e”	41
2.2.3	PERALTE NECESARIO (e_{nec})	43
2.2.4	FACTOR MÁXIMO DE FRICCIÓN LATERAL “f”	44
2.2.4.1	DISTRIBUCIÓN DE “e” Y “f”	46
2.2.5	RADIOS MÍNIMOS Y GRADOS MÁXIMOS DE CURVATURA	49
2.2.6	CURVAS HORIZONTALES DE TRANSICIÓN.....	53
2.2.7	SOBREANCHO EN CURVAS	64
2.2.8	DISTANCIA DE VISIBILIDAD EN CURVAS HORIZONTALES	74
2.2.9	CRITERIOS APLICABLES AL DISEÑO DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL PARA EL BALANCE ENTRE CURVAS Y TANGENTES	76
2.3	ALINEAMIENTO VERTICAL	80

2.3.1	TIPOS DE TERRENOS.....	81
2.3.2	PENDIENTE GOBERNADORA.....	84
2.3.3	CURVAS VERTICALES	84
2.3.3.1	DISEÑO DE CURVAS VERTICALES EN CRESTA.....	86
2.3.3.2	DISEÑO DE CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO	94
2.3.3.3	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL ALINEAMIENTO VERTICAL.....	102
2.3.4	ALINEAMIENTOS HORIZONTAL Y VERTICAL COMBINADOS	103
2.4	RASANTE	110
2.5	SECCIÓN TRANSVERSAL.....	110
2.5.1	CORONA.....	111
2.5.2	RODAJE.....	113
2.5.3	HOMBROS.....	113
2.6	DERECHO DE VÍA.....	114
2.7	CONCLUSIONES.....	120

CAPÍTULO III

APLICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1	INTRODUCCIÓN	122
3.2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	123
3.3	REQUISITOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO ESTABLECIDOS POR EL MOP	126
3.4	ANÁLISIS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL.....	131
3.4.1	DISEÑO DE TANGENTES Y CURVAS HORIZONTALES.....	146

3.4.2	CÁLCULO DE SOBREELEVACIÓN NECESARIA.....	158
3.4.3	CÁLCULO DE SOBREENCHO UTILIZANDO NORMA DE LA SIECA (CAP. 4, SEC. 4.5.6)	163
3.5	ANÁLISIS DEL ALINEAMIENTO VERTICAL	165
3.5.1	DISEÑO DE TANGENTES Y CURVAS VERTICALES	169
3.5.2	APLICACIÓN DEL FACTOR “K” EN CURVAS VERTICALES	172
3.5.3	CÁLCULO DE LA RASANTE FINAL	175
3.5.4	ANÁLISIS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	180
3.6	CONCLUSIONES.....	195
3.7	RECOMENDACIONES	196

CAPÍTULO IV OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE

4.1	INTRODUCCIÓN	199
4.2	BOMBEO.....	200
4.3	CORDONES Y BORDILLOS.....	203
4.4	DERRAMADEROS.....	206
4.5	BAJANTES.....	211
4.6	BERMAS	211
4.7	TALUDES.....	213
4.7.1	CONTROL DE EROSIÓN EN TALUDES.....	214
4.7.1.1	REACONDICIONAMIENTO DE TALUDES.....	216
4.7.1.2	ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	217
4.7.1.2.1	EMPLEANDO VEGETACIÓN	217

4.7.1.2.2	POR MÉTODOS MECÁNICOS.....	229
4.7.1.3	CONTROL DEL DRENAJE SUPERFICIAL.....	231
4.8	CUNETAS	232
4.8.1	REVESTIMIENTO EN CANALES	233
4.8.2	VELOCIDADES ADMISIBLES EN CANALETAS REVESTIDAS.....	239
4.8.3	PENDIENTES	239
4.9	CONTRACUNETAS	240
4.10	BADÉN.....	244
4.11	ALCANTARILLAS	246
4.12	CONCLUSIONES.....	259
4.13	RECOMENDACIONES	259

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

5.1	RESULTADOS	261
5.2	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	268
5.3	CONSIDERACIONES	272
5.4	CONCLUSIONES.....	276
5.5	RECOMENDACIONES	280
	BIBLIOGRAFÍA	285

Anexos

	Anexo I: FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO	288
	Anexo II: GUIA RÁPIDA PARA ESTACIÓN TOTAL LEIKA	294
	Anexo III: ESTUDIO DEL TRÁNSITO	298

Anexo IV: CURVA VERTICAL ASIMÉTRICA.....	304
GLOSARIO	306
Apéndice I: GUIA PARA EL REDISEÑO GEOMÉTRICO	311
Apéndice II: IMPACTO DEBIDO AL DISEÑO, AL REDISEÑO O COMPLICACIONES DEL DISEÑO.....	317
Apéndice III: CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	321
Apéndice IV: CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	325
PLANOS	327

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: GRADOS DE PRECISIÓN DE LAS REDES DE CONTROL.....	22
TABLA 2: CLASIFICACIÓN DE LOS TERRENOS EN FUNCIÓN DE LAS PENDIENTES NATURALES.	23
TABLA 3: PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.	28
TABLA 4: VALORES MÁXIMOS TÍPICOS PARA e Y f	41
TABLA 5: SOBREELEVACIONES MÁXIMAS PARA DISEÑO.....	42
TABLA 6: RADIOS MÍNIMOS Y GRADOS MÁXIMOS DE CURVAS HORIZONTALES PARA DISTINTAS VELOCIDADES DE DISEÑO.....	52
TABLA 7: LONGITUDES DE DESARROLLO DE LA SOBREELEVACIÓN EN CARRETERAS DE DOS CARRILES, EN METROS.	58

TABLA 8: ELEMENTOS DE DISEÑO PARA CURVAS HORIZONTALES Y VELOCIDADES DE DISEÑO, $e_{m\acute{a}x}$. 6%.....	60
TABLA 9: ELEMENTOS DE DISEÑO PARA CURVAS HORIZONTALES Y VELOCIDADES DE DISEÑO, $e_{m\acute{a}x}$. 8%.....	61
TABLA 10: ELEMENTOS DE DISEÑO PARA CURVAS HORIZONTALES Y VELOCIDADES DE DISEÑO, $e_{m\acute{a}x}$. 10%.....	62
TABLA 11: ELEMENTOS DE DISEÑO PARA CURVAS HORIZONTALES Y VELOCIDADES DE DISEÑO, $e_{m\acute{a}x}$. 12%.....	63
TABLA 12: SOBREENCHO EN CURVAS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES.	68
TABLA 13: DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA Y DE DECISIÓN. ...	89
TABLA 14: DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE.	90
TABLA 15: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS VERTICALES EN CRESTA BASADAS EN LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE PARADA Y DE REBASE.....	91
TABLA 16: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO BASADOS EN LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA, DVP.	99
TABLA 17: PARÁMETROS DE DISEÑO PARA PROYECTO “PROLONGACIÓN BOULEVARD ORDEN DE MALTA Y AMPLIACIÓN CALLE A HUIZUCAR, TRAMO II”.....	129

TABLA 18: DIMENSIONES TÍPICAS DE LAS BAHÍAS PARA EL REFUGIO DE AUTOBUSES.....	130
TABLA 19: TABULACIÓN DE RESULTADOS E INFORMACIÓN RELEVANTE DE LA CURVA VERTICAL.....	179
TABLA 20: CLASIFICACIÓN DE TRAMO I Y II DEL PROYECTO.....	181
TABLA 21: PARÁMETROS DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE TRAMOS I Y II.....	182
TABLA 22: CONFORMACIÓN DE CURVAS DE NIVEL SEGÚN PENDIENTE NATURAL.....	220
TABLA 23: VELOCIDADES ADMISIBLES.....	239
TABLA 24: VALORES DE ACOTAMIENTOS PARA CABEZALES TIPO "A".....	257
TABLA 25: VALORES DE ACOTAMIENTOS PARA CABEZALES TIPO "B".....	257
TABLA 26: VALORES DE ACOTAMIENTOS PARA CABEZALES TIPO "C".....	258
TABLA 27: REVISIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL EN EL REDISEÑO. PROPUESTA FINAL.....	262
TABLA 28: REVISIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL ALINEAMIENTO VERTICAL EN EL REDISEÑO. PROPUESTA FINAL.....	264
TABLA 29: REVISIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL EN EL REDISEÑO. PROPUESTA FINAL.....	266

TABLA 30: SINUOSIDAD PARA DISEÑO CONCEPTUAL Y REDISEÑO. . 268

TABLA 31: RESUMEN COMPARATIVO DE PORCENTAJES DE
ÁREAS PARA VALORES CRÍTICOS. 270

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DETALLE GENERAL Y LOCAL DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.	6
FIGURA 2: ELEMENTOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	33
FIGURA 3: ELEMENTOS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL.....	37
FIGURA 4: ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE.	40
FIGURA 5: DIAGRAMA DE FUERZAS SOBRE UN VEHÍCULO EN UNA CURVA.....	45
FIGURA 6: CRITERIOS PARA DISTRIBUIR LA SUPERELEVACIÓN Y EL FACTOR DE FRICCIÓN LATERAL.	48
FIGURA 7: PROCEDIMIENTO PARA DESARROLLAR LA DISTRIBUCIÓN FINAL DE LA SUPERELEVACIÓN (e) APLICANDO LOS CRITERIOS 1 Y 3 DE LA FIGURA 6.	49
FIGURA 8: COMPONENTES DE LAS CURVAS CIRCULARES Y ESPIRALES.....	54
FIGURA 9: TRANSICIÓN SIMPLE DE PERALTE Y SOBREALCHO.	69
FIGURA 10: TRANSICIÓN ESPIRAL DE PERALTE Y SOBREALCHO. ..	70

FIGURA 11: TRANSICIÓN SIMPLE DE PERALTE SOBRE EL LADO INTERNO DE LA CURVA Y SOBREENCHO.....	71
FIGURA 12: DETALLE DE TRANSICIÓN ESPIRAL DE PERALTE Y SOBREENCHO.....	72
FIGURA 13: TRANSICIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DESDE EL BOMBEO TÍPICO EN TANGENTE HASTA EL GIRO MÁXIMO DE LA SECCIÓN DENTRO DE LA CURVA.....	73
FIGURA 14: ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL PARABÓLICA SIMÉTRICA EN CRESTA.....	85
FIGURA 15: TIPOS DE CURVAS VERTICALES.....	85
FIGURA 16: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS EN CRESTA PARA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA – RANGO INFERIOR.	92
FIGURA 17: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS EN CRESTA PARA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA – RANGO SUPERIOR.....	93
FIGURA 18: ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL PARABÓLICA SIMÉTRICA EN COLUMPIO.	94
FIGURA 19: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS EN COLUMPIO – RANGO INFERIOR.	100
FIGURA 20: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS EN COLUMPIO – RANGO SUPERIOR.....	101

FIGURA 21: COMPARACIÓN DE UN TRAMO DE CARRETERA BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE DISEÑO.....	107
FIGURA 22: COMPARACIÓN DE UN TRAMO DE CARRETERA BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE DISEÑO.....	108
FIGURA 23: COMPARACIÓN DE UN TRAMO DE CARRETERA BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE DISEÑO.....	109
FIGURA 24: DIBUJO DE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA AMPLIACIÓN CALLE A HUIZUCAR.	111
FIGURA 25: ESQUEMA DE SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS.....	112
FIGURA 26: SECCIÓN TÍPICA DE CARRETERA EN TERRAPLÉN (RELLENO) Y CORTE RECOMENDADAS POR LA DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS.....	119
FIGURA 27: PLANTA DE CONJUNTO DE PROYECTO “PROLONGACIÓN BOULEVARD ORDEN DE MALTA Y AMPLIACIÓN CALLE A HUIZUCAR, TRAMO II”.	125
FIGURA 28: BAHÍA CON CAPACIDAD PARA TRES AUTOBUSES.....	130
FIGURA 29: LINEA DE EMPALME ENTRE FINAL PROYECTO PROLONGACIÓN ORDEN DE MALTA – INICIO PROYECTO AMPLIACIÓN CALLE A HUIZUCAR, EST. 2+877.47.....	136
FIGURA 30: PLANTA DE AFECTACIÓN DE TANQUE DE ANDA (ÁREA ACHURADA) CON EL DISEÑO CONCEPTUAL	137

FIGURA 31: PLANTA DE RETORNO N° 1 DONDE SE APRECIA EL CAMBIO DE LA CURVA CONCEPTUAL DE MAYOR CURVATURA A UNA MÁS SUAVE EN EL REDISEÑO.....	138
FIGURA 32: CAMBIO DE RUMBO HACIA LA DERECHA DEL EJE DE REDISEÑO PARA EVITAR AFECTACIÓN DE CENTRO ESCOLAR “JOSÉ MEJÍA”, EST. 3+500 A EST. 3+840.	139
FIGURA 33: SECCIÓN TRANSVERSAL DEL EST. 3+240.	140
FIGURA 34: AFECTACIÓN DE GASOLINERA EN EL PROYECTO ADAPTANDO EL EJE PROYECTADO AL EJE EXISTENTE...	141
FIGURA 35: CAMBIO EN EL RUMBO DE LA TANGENTE QUE ABARCA EL LINDERO SUR DE COLONIA LOMAS DE ALTAMIRA.....	142
FIGURA 36: CAMBIO EN EL RUMBO DE LA TANGENTE PARA NO AFECTAR PARQUE ECOLÓGICO.	143
FIGURA 37: DESPLAZAMIENTO DE LÍNEA HACIA EL SUR EN RETORNO N° 2.....	144
FIGURA 38: CAMBIO HACIA EL SUR DE LÍNEA REDISEÑADA ENTRE EST. 5+500 Y EST. 5+720.	145
FIGURA 39: TRAZO DE TANGENTES.....	147
FIGURA 40: DISEÑO DE CURVAS HORIZONTALES (CIRCULAR SIMPLE Y DE TRANSICIÓN).....	153

FIGURA 41: ACONDICIONAMIENTO DEL PERALTE EN UN TRAMO DE CARRETERA.....	161
FIGURA 42: INTERPOLACIÓN DEL VALOR DEL PERALTE.....	161
FIGURA 43: ESQUEMA DE LA TRANSICIÓN DEL PERALTE.....	162
FIGURA 44: SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA EN CURVA SOBRE EJE PRINCIPAL.....	164
FIGURA 45: DISEÑO DE TANGENTES Y CURVAS VERTICALES CUMPLIENDO CON LOS PARÁMETROS DE DISTANCIA DE VISIBILIDAD Y FACTOR “K”.....	173
FIGURA 46: APLICACIÓN DEL FACTOR “K” EN CURVAS VERTICALES SIMÉTRICAS CUANDO SE UTILIZAN PENDIENTES SUAVES PARA MEJORAR LA SENSACIÓN DE CONFORT EN EL ASCENSO DE LOS VEHÍCULOS.....	174
FIGURA 47: DETALLE DE TRATAMIENTO ESTABILIZADOR PARA TALUD SOIL NAILING.....	186
FIGURA 48: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 3+000.....	187
FIGURA 49: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 3+220.....	188
FIGURA 50: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 3+280.....	189
FIGURA 51: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 3+460.....	190
FIGURA 52: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 5+320.....	191
FIGURA 53: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 5+600.....	192

FIGURA 54: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 0+140, RETORNO N° 1.....	193
FIGURA 55: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 0+460.....	194
FIGURA 56: BOMBEO EN SECCIONES TRANSVERSALES.....	202
FIGURA 57: DETALLE DE BORDILLOS INTERNOS DELIMITANDO LA MEDIANA PARA UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES.....	205
FIGURA 58: DERRAMADERO TÍPICO PARA CUNETAS.....	210
FIGURA 59: TALLADO DE TALUDES.....	214
FIGURA 60: FAJINAS LEÑOSAS Y METÁLICAS EN CURVAS DE NIVEL.	227
FIGURA 61: DETALLE DEL MÉTODO DE LA MALLA Y SIEMBRA DE SEMILLAS.	228
FIGURA 62: DETALLE DE CUNETA REVESTIDA CON CONCRETO. ...	234
FIGURA 63: CUNETAS EN SECCIÓN EN TERRAPLÉN.....	238
FIGURA 64: DISPOSICIÓN MÁS CONVENIENTE DE LA CUNETA RESPECTO AL PAVIMENTO.....	238
FIGURA 65: DISPOSICIÓN Y DETALLE DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA CONTRACUNETA REVESTIDA.....	244
FIGURA 66: ESQUEMA DE UN BADÉN REVESTIDO DE CONCRETO PARA MAYOR DURABILIDAD.	246

FIGURA 67: ALINEACIÓN DE TUBERÍA Y ANGULO DE ESVAJE EN ALCANTARILLAS.....	252
FIGURA 68: DETALLE DE CABEZAL TIPO “A” PARA TUBERÍA SIMPLE Y DOBLE.....	253
FIGURA 69: DETALLE DE CABEZAL TIPO “A” EN PLANTA Y PERFIL.....	254
FIGURA 70: DETALLE DE CABEZAL TIPO “B” EN PLANTA Y PERFIL.....	255
FIGURA 71: DETALLE DE CABEZAL TIPO “C” EN PLANTA Y PERFIL.....	256

SIMBOLOGÍA

A	:	Parámetro de la curva espiral
A'	:	Diferencia algebraica de pendientes
a	:	Desnivel entre el acotamiento y la sección más deprimida del umbral
C	:	Tasa de incremento de la aceleración centrípeta
\bar{C}	:	Promedio de las elevaciones del PCV y PTV
CE	:	Curva – Espiral
CL	:	Cuerda de la espiral entre TE y EC
D/R	:	Lectura de observación con imagen invertida (vuelta de campana)
d	:	Distancia entre la línea central del carril interior de la curva y la obstrucción limitante de visibilidad
E	:	Externa de la curva vertical
EC	:	Espiral – Curva
e	:	Sobreelevación o peralte
e_{nec}	:	Peralte necesario
$e_{máx}$:	Peralte máximo
\hat{e}	:	Ángulo de esviaje
F	:	Fuerza centrífuga
f	:	Fricción lateral
G	:	Pendiente natural del terreno
G _c	:	Grado de curvatura
g ₁	:	Pendiente de la tangente de entrada de la curva vertical

g_2	:	Pendiente de la tangente de salida de la curva vertical
h	:	Ordenada de la tangente en el punto medio de la curva vertical
h_1	:	Altura del ojo del conductor
h_2	:	Altura del objeto
K	:	Parámetro que relaciona la diferencia algebraica de pendientes
k	:	Kilometraje del itinerario
k, p	:	Coordenadas del PC con respecto a TE
L	:	Longitud de la curva vertical
L	:	Longitud mínima de transición para diseño
l	:	Longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño
L_e	:	Longitud de la curva espiral o de transición
L_c	:	Longitud de la curva circular
L_u	:	Longitud del umbral de entrada al lavadero
L_s	:	Longitud de transición para la sobreelevación de la curva circular
M	:	Ordenada media
n	:	Número de carriles de la superficie de rodamiento
n	:	Número de puntos en la poligonal
O	:	Centro de la curva circular
PC	:	Punto de inicio de la curva
PCV	:	Punto de inicio de la curva vertical
PI	:	Punto de intersección de las tangentes
PIV	:	Punto de intersección de las tangentes verticales
PT	:	Punto de terminación de la curva

PTV	:	Punto de terminación de la curva vertical
p	:	Parámetro de la parábola
Q	:	Gasto que llega al lavadero
R	:	Radio de la curva circular
r	:	Tasa de cambio de las pendientes de la curva vertical
S	:	Distancia de visibilidad de parada
Sa	:	Sobreancho
ST	:	Subtangente
TC	:	Tangente corta de la espiral
TE	:	Tangente – Espiral
Te	:	Segmento de tangente principal entre TE y PI
TL	:	Tangente larga de la espiral
V	:	Velocidad de diseño
VM	:	Mitad de la distancia entre los puntos denominados PIV y C
W	:	Peso del vehículo
X_c, Y_c	:	Coordenadas del punto EC con respecto a TE
y	:	Tirante de escurrimiento sobre el acotamiento
y'	:	Diferencia de elevación entre puntos sobre la subtangente y la rasante de la curva vertical contenidos en un mismo plano vertical
\emptyset_e	:	Ángulo entre las tangentes TL y TC
θ	:	Ángulo de peralte
Δ	:	Ángulo de deflexión entre las tangentes
Δ_c	:	Ángulo de la curva circular

SIGLAS UTILIZADAS

AASHTO	:	American Association of State Highways and Transportation Officials
ACI	:	American Concrete Institute
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
CAD	:	Computer Aided Design (Diseño Asistido por Computadora)
CA-1	:	Carretera Panamericana
CNR	:	Centro Nacional de Registros
MOP	:	Ministerio de Obras Públicas
MOPVTDU	:	Ministerio de Obras Públicas, Vivienda, Transporte y Desarrollo Urbano
USNGS	:	United States National Geodetic Survey
PACH	:	Pavimentadora de Concreto Hidráulico
SIECA	:	Secretaría de Integración Económica Centroamericana
SOP	:	Secretaría de Obras Públicas de México
TLC	:	Tratado de Libre Comercio
VMT	:	Viceministerio de Transporte

INTRODUCCIÓN GENERAL

El rediseño geométrico del proyecto PROLONGACIÓN BOULEVARD. ORDEN DE MALTA Y AMPLIACIÓN CALLE A HUIZUCAR, TRAMO II, se hizo partiendo del diseño geométrico conceptual, el cual sirve de referencia para la elaboración del diseño final así como para la construcción de la obra proyectada.

En el diseño final del proyecto, se revisó y analizó cuidadosa y exhaustivamente la propuesta del diseño conceptual con el propósito de complementarlo, para corregir, ampliar o mejorarlo, de tal forma que en él se encuentren detalladas todas las obras que requiera el proyecto para garantizar seguridad, durabilidad, funcionalidad y eficiencia; todo esto, acorde a lo requerido en las condiciones técnicas del MOP, así como también todas las obras, aún de menor importancia, necesarias para el buen funcionamiento de la vía. Cualquier error u omisión en el diseño conceptual da lugar a estudios de detalle de los alineamientos horizontal y vertical y sección transversal, hasta encontrar la mejor propuesta del rediseño para diseño final y construcción de la obra. El buen criterio del diseñador hará que la geometría de la vía funcione cómoda y segura y satisfactoriamente incluyendo lo ambiental y la integración con el desarrollo urbanístico, económico y la red vial del país.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1 ANTEPROYECTO

INTRODUCCIÓN

Una adecuada infraestructura de transporte mejora la calidad de vida de la población al facilitar el acceso a centros de trabajo, salud, educación y otras comodidades. Promueve el crecimiento económico, al favorecer el comercio nacional e internacional. Aumenta la competencia y diversificación de productos debido a un mejor acceso a los mercados.

En la actualidad, los proyectos viales están encaminados a reducir el sobreexceso de congestionamiento, para evitar un incremento en la contaminación de las ciudades y reducir el tiempo de transporte de mercancías y personas; pero para esto, es necesario contar con un buen diseño geométrico, en el cual, los beneficios sean también en la reducción de los costos de operación de los vehículos.

En El Salvador, la red vial todavía crece desequilibradamente con deficiencias en diseño geométrico, construcción y mantenimiento, influenciadas por razones económicas y políticas. Por lo cual, es necesario realizar un estudio de las características geométricas del tramo II del proyecto “Prolongación Boulevard Orden de Malta y Ampliación Calle a Huizucar”, concentrándose en

sus componentes principales, alineamientos horizontal y vertical y sección transversal.

1.2 ANTECEDENTES

El proceso de industrialización, y la creación del Mercado Común Centroamericano, motivaron la expansión de la red vial del país para enlazar zonas productivas con mercados nacionales, regionales y extranjeros; así mismo, la unión de puertos, aeropuertos y la red vial de las principales ciudades. El programa de carreteras regionales centroamericanas, se enmarcó dentro del proceso de integración impulsado durante los años sesenta ó 1960's, surgió de un compromiso establecido entre los Ministerios de Economía y Obras Públicas de los cinco países del istmo. El periodo comprendido de 1971-1991 representó una nueva etapa en la evolución de la red vial en que cesaron las grandes construcciones, la gestión del Ministerio de Obras Públicas (MOP) se limitó, casi exclusivamente, al mantenimiento de la red vial y a pequeñas expansiones de tipos secundarias y terciarias.

Desde principios de los años setenta (1970's), la gestión del MOP se basó en la redefinición de un conjunto de programas estratégicos de inversión. En 1982, este Ministerio tenía a su cargo el programa de funcionamiento (estudio y

mantenimiento de obras viales), y otros programas de inversión tales como: construcción y mejoramiento de carreteras y caminos, caminos rurales, autopista San Salvador-Comalapa-Aeropuerto El Salvador, iniciándose esta última su construcción a principios de 1976, con una longitud total de 38.6 Km. Al finalizar los años ochenta (1980's), se redujo considerablemente la inversión estatal en la red vial, a causa de la crisis económica del país, y la destrucción producida por la guerra.

Durante el periodo 1980 a 1992, del conflicto armado, la mayor inversión se hizo en reparaciones y reemplazos de algunos puentes y carreteras primarias. En cambio, las carreteras secundarias y terciarias no recibieron casi ningún tipo de mantenimiento y reparación, por lo que actualmente todavía presentan un alto nivel de deterioro físico. De 1992 en adelante, la gestión del MOP tomó un nuevo giro en concordancia con programas estratégicos de inversión del país, focalizándolos en la rehabilitación de la infraestructura vial dañada por doce años de abandono y sabotaje.

La década de los años noventa se caracterizó por el énfasis en la reconstrucción de la red vial y las obras de infraestructura dañadas por la guerra; empezó un cambio importante en la infraestructura y en lo económico en la lógica de la globalización de la economía. En este periodo, la Dirección General de Caminos fue adscrita al MOP, elaborando un nuevo programa de

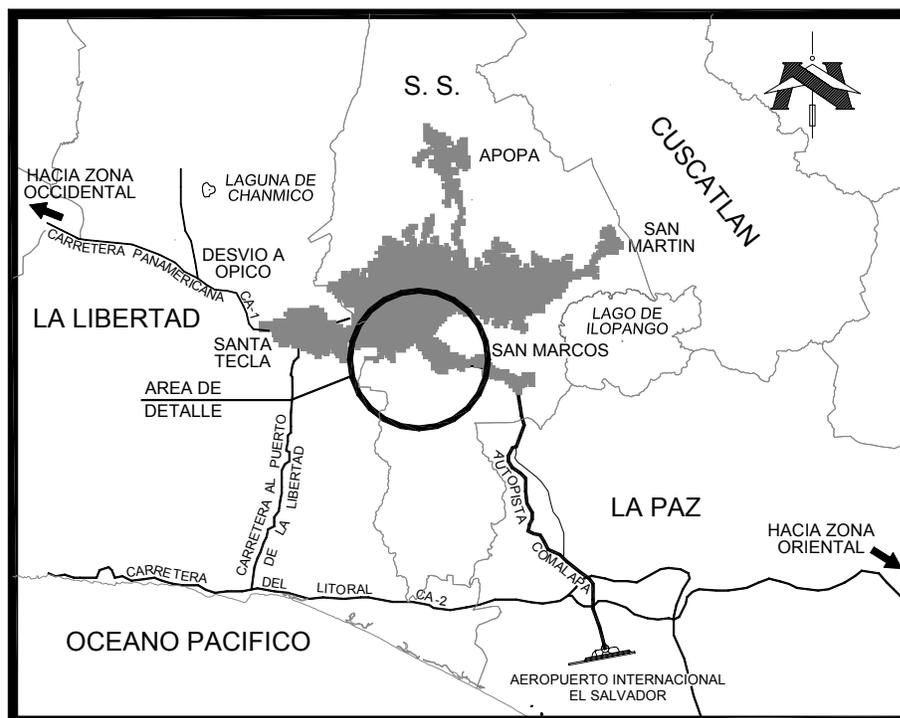
carreteras, con el objetivo de recuperar la red vial dañada. Esto reflejó la opción de rescate de la totalidad de la red vial nacional¹.

Actualmente, es una necesidad mejorar y ampliar la red vial de El Salvador modernizándola, por ejemplo, en los requerimientos de capacidad y niveles de servicio que los altos volúmenes de tránsito demandan para poder garantizar la fluidez y serviciabilidad óptimos que tales condiciones imponen.

En la década de los años setenta se crearon los proyectos que actualmente se están realizando, como parte de un megaproyecto vial de autopistas, donde se consideró la construcción de nuevas carreteras y reparación de las ya existentes; hasta la década de los años noventa (1990's), el país entró en la reactivación económica, que le permitía al Gobierno, por medio del Ministerio de Obras Públicas, Vivienda, Transporte y Desarrollo Urbano (MOPVTDU), la reanudación de la inversión en construcción y mantenimiento de proyectos carreteros, con priorizaciones estratégicas como la Autopista Comalapa, que se le mejoró la superficie de rodadura de asfalto a concreto hidráulico, como consecuencia del impacto que se espera que tenga la ampliación del aeropuerto El Salvador por aumento de transporte de carga pesada y en segundo plano a los usuarios que necesitan viajar a diferentes puntos de la

¹ En enero de 1992, ya se disponía de una evaluación preliminar de las condiciones que tenía la red vial del país, elaborado por L. Berger.

zona sur-oriental del país, dando cabida a que se estudien las características actuales de las vías que convergen a ella readecuando su geometría en los alineamientos horizontal y vertical y sección transversal. Esto sucede con una de las vías más importantes, la calle a Huizucar, que conecta a esta autopista con la carretera al Puerto de La Libertad y el sector sur de Santa Tecla por medio del recientemente construido Boulevard Sur que a su vez conduce a la Carretera Panamericana (CA-1) (figura 1). Cabe reseñar, que las áreas de influencia de la calle a Huizucar fueron en un principio escasamente pobladas, principalmente la zona de Santa Elena y Antiguo Cuscatlán, pero con la construcción del Boulevard Orden de Malta y Boulevard Santa Elena, llegarían a ser importantes en industrialización y urbanización. Así, la calle a Huizucar que hoy está clasificada como terciaria modificada, tiene tal importancia que amerita su ampliación por los grandes volúmenes vehiculares que por ella pasan; además, conectará las vías mencionadas con el anillo periférico sur que se tiene previsto construir a corto plazo aliviando los problemas de congestionamientos en la periferia de San Salvador.



AREA DE DETALLE

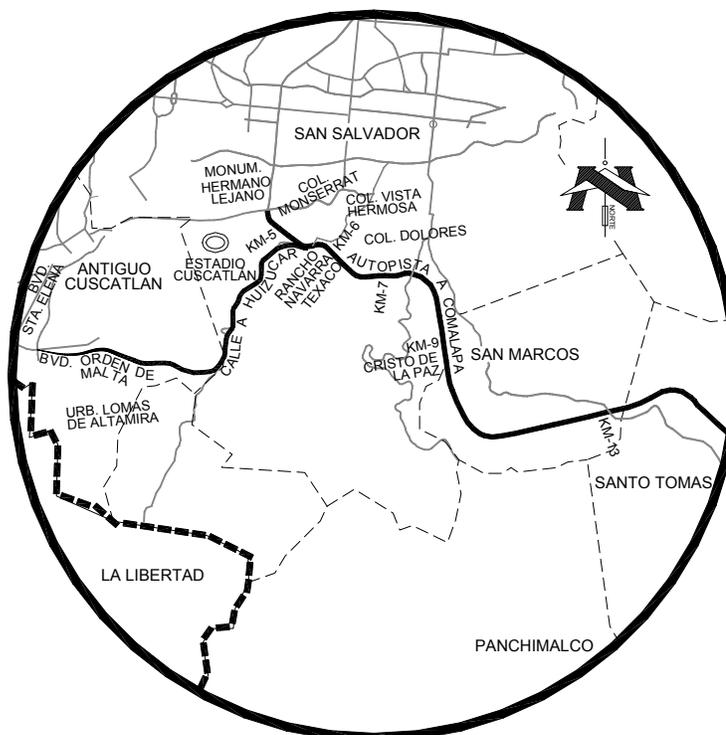


FIGURA 1: DETALLE GENERAL Y LOCAL DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática del congestionamiento vehicular en la red vial del gran San Salvador, debido al crecimiento acelerado del parque vehicular, hace obsoleta la estructuración de las carreteras existentes, por lo cual, es necesario llevar a cabo grandes inversiones en infraestructura orientadas a mejorar las condiciones geométricas de las carreteras en base al diseño preliminar o conceptual; sin embargo, este puede omitir factores importantes debido al limitado período de tiempo y recursos del que se dispone para su elaboración durante las fases de estudio y elaboración de los proyectos. Por tal motivo, es necesario estudiar el diseño conceptual para localizar las deficiencias que existan y definir los requisitos técnicos para el diseño geométrico, incluyendo los tramos de carreteras urbanas, con el propósito de mejorar los criterios de control de calidad y realización de los proyectos viales haciéndolos más prácticos y apegados a condiciones económicas propias predominantes.

En todo proyecto de carreteras, según el MOP, el constructor encargado de la obra, elabora el diseño final del proyecto partiendo del diseño conceptual, debiendo revisarlo y analizarlo cuidadosa y exhaustivamente con el propósito de complementar, corregir, ampliar o mejorar el diseño conceptual, de tal forma que en él se encuentren detalladas todas las obras que requiera el proyecto para garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad y eficiencia.

1.4 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar el rediseño geométrico del proyecto “Prolongación Boulevard Orden de Malta y Ampliación Calle a Huizucar, Tramo II”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar las normas de diseño geométrico de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), al proyecto “Rediseño de la prolongación Boulevard Orden de Malta y ampliación de la Calle a Huizucar, tramo II”, basándose en condiciones físicas, topografía, tipo de tránsito y funcionamiento.
- Desarrollar detalles del diseño geométrico conceptual en tangentes y curvas para adaptarlas a la propuesta geométrica modificada, rediseño, en el proyecto “Prolongación Boulevard Orden de Malta y Ampliación de la Calle a Huizucar, Tramo II”.
- Comparar el diseño conceptual y el rediseño geométrico a realizar a los alineamientos horizontal y vertical y secciones transversales.

1.5 ALCANCES

El estudio tendrá la finalidad de mejorar el diseño geométrico conceptual existente, de acuerdo con las normas de la SIECA en el tramo II de la prolongación Boulevard Orden de Malta y ampliación Calle a Huizucar, en los alineamientos horizontal y vertical y sección transversal.

1.6 DELIMITACIÓN

El rediseño sólo analizará la geometría, adaptando y modificando los alineamientos horizontal y vertical, así como en la sección transversal, sin exceder a la influencia de las cunetas. No incluirá lo relativo al pavimento, análisis de suelos y diseño estructural de obras de paso.

1.7 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, para que los países en desarrollo mejoren sus condiciones económicas, es necesario tener una red vial que permita la reducción en los costos de producción, la extensión de servicios sociales para la población, por ejemplo, salud y educación, la integración de los sectores productivos a nivel

nacional e internacional, el desarrollo de infraestructura, así como de otros sectores como agropecuario, el turismo, la industria, etc. Para que esto funcione, se necesita un buen diseño geométrico vial en el que las carreteras y caminos ofrezcan las máximas garantías de seguridad para el usuario, tanto en sus alineamientos horizontal y vertical, así como en su sección transversal y rodaje, que le permita desplazarse con mayor comodidad sobre la vía, produciendo, por ejemplo, una reducción en los costos de operación al acortar el tiempo de viaje, y, sobre todo, que soporte el intemperismo y el tránsito al que será sometida durante su vida útil.

En El Salvador, todavía existen muchos pueblos que están incomunicados, que sus vías de acceso fueron construidas hace más de tres décadas y que por el efecto de la guerra aún se encuentran deterioradas, frenando el desarrollo de las poblaciones. Las universidades del país han hecho diversos estudios sobre técnicas, métodos constructivos, materiales, pruebas de laboratorio, sobre carreteras; pero en lo que respecta al diseño geométrico, este siempre se ha hecho utilizando normas que han sido adaptadas de manuales extranjeros (AASHTO, SOP), con especificaciones dificultosas para las condiciones imperantes en el país, debido a su morfología caótica.

A pesar de avances tecnológicos y en desarrollo del país, no se tienen normas del diseño geométrico, propias y prácticas, que rijan el diseño de las

carreteras nacionales², por lo que se hace necesario analizar el diseño conceptual de los proyectos viales en cuanto a los requisitos técnicos de diseño geométrico, y proponer alternativas mejoradas, apegadas a las condiciones de cada tipo de carretera o camino basados en normas aceptadas en la región centroamericana establecidos por la SIECA.

² Las que se han practicado en un principio, han sido adoptadas del manual de la Secretaría de Obras Públicas de México (SOP), 1972. En 1978 aparecieron las normas EG-78 en cinco volúmenes, que sirvieron en la práctica en la Dirección General de Caminos adscrita al MOP, y en la actualidad las normas de la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO), pero nunca se establecieron como normas, legalmente.

1.8 APLICACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA A LAS CARRETERAS

INTRODUCCIÓN

En el estudio, elaboración y ejecución de cualquier proyecto de Ingeniería de obras civiles que tengan como asiento la superficie de la tierra, es necesario el uso de la Topografía, esto es lo siguiente:

- 1º. El levantamiento topográfico de la zona o del área destinada para la obra. Las características del terreno son la guía del ingeniero, para la mejor distribución y ubicación de la obra, en sus aspectos funcionales; conseguir la mayor rigidez, estabilidad y seguridad de ésta.
- 2º. La Geometría del proyecto, es donde se vinculan en forma analítica, los diferentes ejes de simetría de la obra, entre sí mismo y con elementos fijos del terreno, (puntos geodésicos) con fines de su posterior replanteo.
- 3º. El replanteo, mediante el cual se ubican en el terreno las diferentes partes de la obra, en las posiciones relativas señaladas en el proyecto.

Para la construcción de una carretera, es necesario pasar por las siguientes etapas: a) Planificación b) Anteproyecto c) Proyecto d) Construcción. Existen partes de estas etapas que se logran con el auxilio de la topografía, las cuales son: a) Estudio de rutas b) Estudio del trazo c) Anteproyecto d) Proyecto.

Estudio de rutas

Es el proceso preliminar de acopio de datos y reconocimiento de campo hecho, con la finalidad de seleccionar la faja de estudio que reúna las mejores condiciones, óptimas, para efectuar el trazo. En esta etapa, se obtiene información de base, se elaboran croquis, se efectúan los reconocimientos preliminares y se evalúan las rutas posibles para elegir a una de ellas, la más conveniente a todas las combinaciones exigidas o requeridas, y que mejor representará para el buen diseño geométrico.

Estudio del trazo

Este requiere reconocer minuciosamente, por ejemplo, la ubicación de estructuras, terrenos, para la adquisición de derechos de vía en el campo en cada una de las rutas seleccionadas. Así, se obtiene información adicional sobre los tributos que ofrecen cada una de estas rutas y se localizan en ellas las líneas correspondientes a posibles trazos en la carretera.

Anteproyecto

En el Anteproyecto, se fija en los planos la línea que mejor cumpla los requisitos planimétricos y altimétricos impuestos a la vía. En esta etapa, se elaboran planos por medios aéreos o terrestres y se establece la línea tentativa del eje.

Proyecto

El Proyecto, provee el proceso de localización del eje de la vía, su replanteo, el trazo y la delimitación de sus áreas adyacentes; establecimiento de los sistemas de drenaje, estimación de las cantidades de obras a ejecutar y redacción de los informes y memorias que deben acompañar a los planos.

Durante cada una de las etapas de la construcción de la vía, el movimiento de tierras es uno de los más importantes, por el porcentaje económico (44%) que tiene en el presupuesto. El movimiento de tierras engloba todas aquellas actividades de excavación y relleno necesarias para la construcción de la carretera.

Tomando como base las tres etapas inicialmente descritas de la aplicación de la Topografía a la Construcción de Carreteras, es necesario detallar las cuatro etapas siguientes:

- i.* Estudio de las Rutas, *ii.* Estudio del Trazo, *iii.* Anteproyecto de la Carretera,
- iv.* Proyecto de la Carretera.

1.9 ESTUDIO DE LAS RUTAS

GENERALIDADES

La primera etapa en la elaboración de un proyecto vial, consiste en el estudio de las rutas. La ruta es la faja de terreno, de ancho variable, que se extiende entre los puntos terminales e intermedios por donde la carretera debe obligatoriamente pasar, y dentro de la cual podrá localizarse el trazo de la vía. Las alternativas de las rutas pueden ser numerosas, el estudio de las mismas tiene como finalidad seleccionar aquellas o la que reúna las mejores condiciones, óptimas, para el desarrollo del trazo. Este estudio es por consiguiente, un proceso altamente influenciado por los mismos factores que afectan el trazo, tales como: el tipo de terreno, la adquisición de derechos de vía; y abarca actividades que van desde la obtención de la información relativa

a esos factores hasta la evaluación de la ruta, en los reconocimientos preliminares. De las actividades que abarca el estudio de las rutas, donde se aplica la topografía, se encuentran la elaboración de los croquis y los reconocimientos preliminares.

1.9.1 ELABORACIÓN DE LOS CROQUIS

El estudio de las rutas se realiza, generalmente sobre un mapa de la región, los cuales son una representación del terreno, obtenida por proyección sobre un plano, de una parte de la superficie esférica de la tierra. El relieve del terreno aparece representado en los mapas por medio de las curvas de nivel, curvas que enlazan puntos del terreno situados a la misma cota en el país, los principales mapas regionales que se utilizan en la elaboración del croquis de una vía son editados en escalas 1:25,000; 1:50,000 ó 1:100,000.

Con los datos obtenidos de los mapas, los ingenieros de proyecto y diseño, logran formarse una buena idea de la región. Sobre ellos puede señalar los desniveles, los cursos de agua, las filas montañosas, los cruces con otras vías, etc. También puede marcar en ellos, las informaciones recogidas a través del material de consulta que se ha reunido previamente, los datos de población, zona de producción, intensidad de lluvias, tipos de terrenos y formaciones

geológicas, etc. Además, deben indicarse con especial cuidado los controles primarios que guían el alineamiento general de la vía por los cuales se prevé que ésta debe pasar; así como controles secundarios tales como caseríos, carreteras existentes, sitios de puentes, zonas de terreno firme, cruce con otras vías, bosques, etc. De esta manera, quedará orientado el alineamiento general de la carretera y con los datos adquiridos y anotados sobre los mapas, será posible señalar en ellos varias líneas o croquis de la vía que determinarán las fajas de terrenos de ancho variable o rutas, sobre los cuales será posible ubicar el trazo de la carretera.

1.9.2 RECONOCIMIENTOS PRELIMINARES

Una vez elaborados los croquis, se empieza el trabajo de campo o reconocimiento preliminar, este consiste en el examen general de las fajas o zonas de terreno que han quedado determinados por los croquis. Su finalidad es la de descubrir las características sobresalientes que hacen a una ruta la mejor opción que las demás; sirve también para obtener datos complementarios de la región, tener una idea del posible costo de la construcción de la carretera propuesta, anticipar los efectos potenciales de la carretera en el desarrollo económico de los terrenos que esta atraviesa y estimar los efectos destructivos que se pudieran tener en el paisaje natural, al paso de la alternativa de la vía

propuesta. Con los datos obtenidos durante el reconocimiento preliminar y con la información reunida con anterioridad a él, los ingenieros se formarán un criterio que les permitirá seleccionar las rutas que ameritarán el estudio topográfico. El reconocimiento debe ser rápido y de carácter general y puede realizarse, incluso, recorriendo la ruta a pie. El ingeniero encargado del reconocimiento debe llevar consigo los instrumentos adecuados para la determinación de las elevaciones relativas, la obtención de rumbos y la medida de pendientes, las brújulas y los niveles de mano o clisímetros que sirven perfectamente para el trabajo. Así, cuando se está haciendo el estudio de las rutas para la construcción de una carretera, se pueden obtener las pendientes del terreno con la exactitud necesaria en esta etapa de prediseño.

1.10 ESTUDIO DEL TRAZO

GENERALIDADES

El proceso de estudio del trazo de una carretera implica una búsqueda continua de la mejor alternativa de la ruta, una evaluación y selección de las posibles líneas que se pueden localizar en cada una de las fajas de terreno que han quedado como merecedoras de un estudio más detallado después de haber practicado los reconocimientos preliminares y la evaluación de las rutas.

La finalidad de este estudio es la de establecer en las fajas de terreno, la línea o líneas correspondientes a posibles trazos de la carretera. Para ello, es necesario llevar a efecto un minucioso reconocimiento adicional sobre las rutas seleccionadas.

En términos generales, existen dos enfoques posibles para efectuar los reconocimientos de campo; estos son, el aéreo y el terrestre, utilizados por separado o conjuntamente.

El método terrestre, es aconsejable cuando, después de haber llevado a término los reconocimientos preliminares, los posibles alineamientos del trazo han quedado bien definidos; asimismo, cuando el ancho de la faja de derecho de vía es reducido y cuando el uso de la tierra es escaso para utilizarlo en ampliaciones, rehabilitaciones y construcciones.

El método aéreo, en cambio, es preferible cuando durante los reconocimientos no ha sido posible precisar los alineamientos del trazo; cuando el terreno es muy accidentado y cuando el uso de la tierra es muy intenso. La selección del método a usar para el reconocimiento de campo deberá basarse en un análisis comparativo de los costos que origine cada una de las técnicas posibles y en la disponibilidad de tiempo acorde a las exigencias de cada una de ellas. También, se basará en las necesidades y requerimientos del proyecto,

el proyectista y de la construcción. Se utiliza en apertura de carreteras cuando el acceso a la zona del proyecto es dificultoso.

1.10.1 RECONOCIMIENTO TOPOGRÁFICO TERRESTRE

Los reconocimientos topográficos terrestres se realizan volviendo a recorrer cada una de las fajas definidas por los croquis y consideradas como posibles, después de haber llevado a cabo los reconocimientos preliminares. Durante este recorrido se obtiene información adicional sobre la ruta y se establece en ella una línea o poligonal de base que posteriormente constituirá parte del trazo de la carretera, la cual debe seguir la dirección establecida entre sus extremos previstos, adaptándose a las características topográficas de la ruta escogida. Esta línea, es una primera aproximación del eje de la futura vía y referidos a ella; se anotan los datos que se obtienen durante el reconocimiento topográfico.

1.10.1.1 POLIGONALES DE ESTUDIO

La poligonal de estudio es una línea de base que se coloca a lo largo de todo el tramo de estudio, para levantar todos los detalles (ubicación, localización y medición), y se levanta, según el número de zonas a estudiar con

la rapidez y precisión requeridas, o sea, las características topográficas del terreno y la extensión del proyecto. Entre los detalles necesarios están, pozos existentes de aguas lluvias, aguas servidas, postes para conducir electricidad y para telefonía, etc. para que se revele claramente, cuál es la mejor línea o trazo, con sus niveles establecidos. Si todavía son varias las rutas por estudiar o si dentro de ellas hay posibilidades de varios trazos, las poligonales de estudio deberán levantarse con rapidez y la precisión exigida, según se establece en la tabla 1, con exactitud y veracidad en los datos. Habiendo reducido las alternativas a una sola, se estudia en ella la línea preliminar, la cuál constituirá la poligonal base para el proyecto de diseño.

Las poligonales de estudio se describen a continuación según lo establecido en el país, de acuerdo con los grados de precisión de las redes de control horizontal y vertical, las cuales se clasifican según la normativa del National Geodetic Survey, del Departamento de Comercio de los Estados Unidos (USNGS).

TABLA 1: GRADOS DE PRECISIÓN DE LAS REDES DE CONTROL.

ITEM	PRIMER ORDEN		SEGUNDO ORDEN		TERCER ORDEN	
CONTROL HORIZONTAL						
	<i>Clase I</i>	<i>Clase II</i>	<i>Clase I</i>	<i>Clase II</i>	<i>Clase I</i>	<i>Clase II</i>
Precisión relativa entre puntos directamente conectados, antes de compensación angular (como mínimo)	1 parte en 100,000		1 parte en 50,000	1 parte en 20,000	1 parte en 10,000	1 parte en 5,000
CONTROL VERTICAL						
Precisión relativa entre puntos directamente conectados o entre bancos de marca (error permisible de cierre)	$4\text{mm} \sqrt{k}$	$5\text{mm} \sqrt{k}$	$6\text{mm} \sqrt{k}$	$8\text{mm} \sqrt{k}$	$12\text{mm} \sqrt{k}$	
REQUISITOS DE POLIGONALES						
Separación recomendada de puntos de la poligonal	Puntos de la red Geodésica, entre 10 y 15 km. Otros puntos, más de 3 km.		4 km	2 km	1 km	1 km
Menor lectura angular horizontal del aparato	0.2"		0.2"	0.2"	1.0"	1.0"
Número de observaciones horizontales	16		8	6	4	2
Diferencia límite del promedio para descartar lectura	4"		4"	4"	5"	5"
Número y rango entre observaciones de ángulos verticales	3 D/R 10"		3 D/R 10"	2 D/R 10"	2 D/R 10"	2 D/R 10"
Número máximo de puntos en una poligonal	5 ó 6		10 a 12	15 a 20	20 a 25	30 a 40
Máximo error permisible en el cierre angular	$2'' \sqrt{n}$		$3'' \sqrt{n}$	$6'' \sqrt{n}$	$10'' \sqrt{n}$	$30'' \sqrt{n}$

Notas:

 k : kilómetros del itinerario n : número de puntos en la poligonal D/R : una observación con una lectura normal y otra lectura con vuelta de campana (imagen invertida).

1.10.1.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO DEL TRAZADO

Entre dos o más puntos que van a unirse con una carretera pueden trazarse numerosas líneas. El problema radica, en seleccionar la que mejor satisfaga las especificaciones técnicas que se hayan establecido en el proyecto, las características topográficas de la zona a explorar, la naturaleza de los suelos y el drenaje. El método de estudio variará según se trate de terreno plano o accidentado, el cual se clasificará según lo establecido en la tabla 2, considerando por separado las distintas topografías que hayan en la ruta elegida como la mejor alternativa.

TABLA 2: CLASIFICACIÓN DE LOS TERRENOS EN FUNCIÓN DE LAS PENDIENTES NATURALES.

Tipo de Terreno	Rangos de Pendientes (%)
Llano o plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 < G \leq 15$
Montañoso	$15 < G \leq 30$

Fuente: Cap. 4, cuadro 4-17, pág. 4-63, SIECA.

G : Pendiente

1.10.1.2.1 TRAZADO EN TERRENO PLANO

Terreno plano, es aquel en el cual se dan condiciones topográficas favorables para los levantamientos de campo, el diseño horizontal y vertical, la

construcción y reconstrucción de las obras viales, facilitándose el mantenimiento y la operación vehicular segura, cómoda y económica. Las distancias de visibilidad en el alineamiento horizontal y vertical pueden lograrse sin mayores dificultades. También, el terreno plano es aquel cuya pendiente general, en el sentido de avance de la vía, es considerablemente inferior a la pendiente máxima estipulada para la vía, según la tabla 2, en donde el trazo de la línea recta puede constituir la solución de enlace entre dos puntos. Al trazar carreteras en terrenos planos, una vez determinados los puntos de control estacados en el terreno, el trabajo se reduce a enlazarlos con el mejor alineamiento posible. Si bien la línea recta aparenta ser la mejor solución para unir dos puntos en terrenos planos, las exigencias de seguridad y de estética de la carretera desaconsejan seriamente el uso de tangentes demasiado largas y modernamente, aún en zonas planas, se utilizan los trazos curvilíneos y semicurvilíneos, con grado de tortuosidad³, por ejemplo, de 57%.

1.10.1.2.2 TRAZADO EN TERRENO MONTAÑOSO

Terreno montañoso, es el que ofrece grandes dificultades y altos costos en construcción, por la frecuencia de cortes y rellenos que se requieren para lograr

³ Grado de tortuosidad: es la razón de la suma de las longitudes de todas las curvas de un tramo de carretera y la longitud total de la misma expresada en porcentaje.

alineamientos horizontales y verticales aceptables. Las pendientes longitudinales y transversales son frecuentes en este tipo de terreno.

En los terrenos montañosos, es preferible unir dos puntos mediante varios tramos de distintas pendientes uniformes que al enlace de ellos mediante una línea recta. De esta manera se obtiene un trazo que ofrecerá mayores ventajas a los conductores de vehículos, por ejemplo: se evita la fatiga del motor o la pérdida de potencia al utilizar tramos de recta con pendientes fuertes mayores o iguales al 15% que no excedan los 200 metros de longitud, seguidas de tramos con pendientes moderadas en donde se le permite al vehículo ganar velocidad nuevamente, siempre que no se sobrepase el 30% (según lo descrito en la tabla 2). Desde el punto de vista constructivo, es también beneficioso el aspecto anteriormente descrito ya que permite adaptarse mejor a la topografía del terreno evitando excesivos cortes o rellenos.

1.11 ANTEPROYECTO DE CARRETERAS

GENERALIDADES

Después de haber hecho el estudio del trazo de la línea base en el terreno, y reconociendo en el campo cada una de las rutas seleccionadas, luego de hacer

una evaluación de cada una de las alternativas y seleccionar la que reúna las mejores condiciones, se llega a la etapa del anteproyecto, donde se debe fijar en los planos la línea que represente la ruta seleccionada y para tal fin hay que realizar un estudio topográfico preciso de la misma a través de una poligonal base.

1.11.1 POLIGONAL BASE

La poligonal base, recibe este nombre debido a que servirá de apoyo para el futuro replanteo de la obra. El levantamiento de esta poligonal consiste en la medición de sus ángulos y lados, la nivelación de todos sus vértices y la toma de las secciones transversales, estas poligonales son abiertas, porque comienzan y terminan en puntos diferentes, pero deben tener controles en su trayectoria haciendo varios circuitos cerrados preferiblemente; según esto, se pueden presentar dos casos:

- a) Poligonales que comienzan y terminan en puntos de coordenadas conocidas, las cuales tendrán control azimutal y métrico.

- b) Poligonales que comienzan y terminan en puntos de coordenadas desconocidas, las cuales tendrán control azimutal a través de acimutes y que se aconsejan realizar cada 1 kilómetro.

Los instrumentos utilizados en el levantamiento de esta poligonal deben garantizar la precisión exigida según se detalla en la tabla 3, estos son: estación total, niveles fijos, cinta métrica.

El equipo de topografía modernamente empleado para la recolección de información y los trazos requeridos de campo se llama “estación total”; el principio de empleo, la medición, grabación de datos y programas de aplicación de este equipo se muestran en el Anexo II. Se presenta el tipo de modelo Leica, pero, existen además otros tipos de modelos conocidos en el ambiente de la topografía como son: Sokkia, Nikon, Topcon y Pentax. El uso del tránsito convencional mecánico o teodolito tradicional, ha sido relegado a trabajos de menor importancia; y, en años recientes, su desuso ha ido en aumento en el ámbito de la topografía de carreteras debido, en mayor grado, a las ventajas que ofrecen los equipos topográficos digitales, tales como mayor eficiencia, versatilidad, y, por facilitar datos directamente a los ordenadores sin necesidad de los engorrosos procedimientos de cálculo.

TABLA 3: PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.

<i>Tipo de Levantamiento</i>	<i>Escala Típica de Planimetría</i>	<i>Intervalo de Curvas de Nivel. (m)</i>	<i>Puntos bien definidos</i>		<i>Puntos interpolados</i>
			<i>Tolerancia de Posición Horizontal. (m)</i>	<i>Tolerancia de Posición Vertical (m)</i>	<i>Tolerancia de Posición Vertical (m)</i>
Carreteras Especiales, Primarias y Secundarias en zona Rural y Suburbana.	1 : 1,000	1.00 (zona plana y lomerío) 2.00 (zona montañosa)	0.10	0.025 en pavimento y aceras. 0.10 en terreno rústico 0.06 otros	0.06 en pavimento y aceras. 0.25 en terreno rústico 0.15 otros
Carreteras Especiales, Primarias y Secundarias en zona Urbana.	1 : 500	1.00	0.05	0.015 en pavimento y aceras. 0.075 en terreno rústico 0.05 otros	0.05 en pavimento y aceras. 0.20 en terreno rústico 0.125 otros
Otras Vías Urbanas.	1 : 500	1.00	0.05	0.015 en pavimento y aceras. 0.075 en terreno rústico 0.05 otros	0.05 en pavimento y aceras 0.20 en terreno rústico 0.125 otros
Intersecciones en Carreteras Especiales, Primarias y Secundarias	1 : 500	1.00	0.05	0.025 en pavimento y aceras. 0.10 en terreno rústico 0.06 otros	0.06 en pavimento y aceras. 0.25 en terreno rústico 0.15 otros

TABLA 3: PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS (CONT.).

<i>Tipo de Levantamiento</i>	<i>Escala Típica de Planimetría</i>	<i>Intervalo de Curvas de Nivel. (m)</i>	<i>Puntos bien definidos</i>		<i>Puntos interpolados</i>
			<i>Tolerancia de Posición Horizontal. (m)</i>	<i>Tolerancia de Posición Vertical (m)</i>	<i>Tolerancia de Posición Vertical (m)</i>
Intersecciones en Vías Caminos Terciarios, Secundarios y Rurales.	1 : 250	1.00	0.10	0.025 en pavimento y aceras. 0.10 en terreno rústico 0.06 otros	0.06 en pavimento y aceras. 0.25 en terreno rústico 0.15 otros
Intersecciones en Vías Urbanas	1 : 250	1.00	0.05	0.015 en pavimento y aceras. 0.075 en terreno rústico 0.05 otros	0.05 en pavimento y aceras 0.20 en terreno rústico 0.125 otros
Obras de paso (Drenaje Mayor)	1 : 200	0.50 en zonas relativamente planas 1.00 otros	0.05	0.015 en pavimento y aceras. 0.075 en terreno rústico 0.05 otros	0.05 en pavimento y aceras 0.20 en terreno rústico 0.125 otros
Obras de paso (Drenaje Menor)	1:100	1.00	0.10	0.025 en pavimento y aceras. 0.10 en terreno rústico 0.06 otros	0.06 en pavimento y aceras. 0.25 en terreno rústico 0.15 otros

TABLA 3: PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS (CONT.).

<i>Tipo de Levantamiento</i>	<i>Escala Típica de Planimetría</i>	<i>Intervalo de Curvas de Nivel. (m)</i>	<i>Puntos bien definidos</i>		<i>Puntos interpolados</i>
			<i>Tolerancia de Posición Horizontal. (m)</i>	<i>Tolerancia de Posición Vertical (m)</i>	<i>Tolerancia de Posición Vertical (m)</i>
Levantamientos de Edificaciones (Planos de conjunto)	1:250	0.50 en zonas relativamente planas 1.00 otros	0.10	0.025 en pavimento y aceras. 0.10 en terreno rústico 0.06 otros	0.06 en pavimento y aceras. 0.25 en terreno rústico 0.15 otros
Levantamientos de otras estructuras	1:200	1.00	0.10	0.015 en pavimento y aceras. 0.075 en terreno rústico 0.05 otros	0.05 en pavimento y aceras 0.20 en terreno rústico 0.125 otros
Derechos de vía (zona rural)	1:500		0.075		
Derechos de vía (zona urbana)	1:250		0.05		
Instalaciones existentes de servicios públicos (sub-estaciones, plantas de bombeo, etc.)	1:200	0.50	0.025	0.01 en pavimento y aceras. 0.05 en terreno rústico 0.025 otros	0.025 en pavimento y aceras 0.125 en terreno rústico 0.075 otros

TABLA 3: PRECISIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS (CONT.).

<i>Tipo de Levantamiento</i>	<i>Escala Típica de Planimetría</i>	<i>Intervalo de Curvas de Nivel. (m)</i>	<i>Puntos bien definidos</i>		<i>Puntos interpolados</i>
			<i>Tolerancia de Posición Horizontal. (m)</i>	<i>Tolerancia de Posición Vertical (m)</i>	<i>Tolerancia de Posición Vertical (m)</i>
Levantamientos de canales	1:1,000	1.00	0.15	0.015 en pavimento y aceras. 0.075 en terreno rústico 0.05 otros	0.05 en pavimento y aceras 0.20 en terreno rústico 0.125 otros
Levantamientos de otras obras Hidráulicas	1:500	1.00	0.10	0.025 en pavimento y aceras. 0.10 en terreno rústico 0.06 otros	0.06 en pavimento y aceras. 0.25 en terreno rústico 0.15 otros
Bancos de Préstamo	1:1,000	1.00	0.20	0.035 en pavimento y aceras. 0.15 en terreno rústico 0.10 otros	0.08 en pavimento y aceras. 0.35 en terreno rústico 0.25 otros

1.11.2 DIBUJO DE PLANOS DE LA FAJA DE ESTUDIO

Con los datos de la poligonal de precisión se van a confeccionar los planos de conjunto, plantas, perfil longitudinal y secciones transversales. El plano de conjunto, dibujado generalmente a escala 1:25,000 ó 1:10,000, permite obtener la disposición adecuada de las láminas de planta sobre las cuales el diseñador va a elaborar el anteproyecto. De esta manera, dentro de cada lámina deberá quedar dispuesta la mayor longitud posible de la poligonal.

1.11.3 DIBUJO DE LA PLANTA

El dibujo de la planta se hace generalmente en láminas o en rollos de papel transparente de 50 cm a 55 cm de ancho y tan largos como sea posible usando escala 1:1,000 aunque en terrenos francamente llanos también puede emplearse la escala 1:2,000. En estos planos aparece la poligonal base dibujada a escala, con los siguientes datos: número de cada vértice, ángulo en cada vértice y coordenadas de cada vértice. Igualmente deben indicarse en líneas finas, pero visibles, las secciones transversales con sus acotamientos respectivos, las curvas de nivel dibujadas de 2.0 m en 2.0 m en zonas montañosas y onduladas, y de metro en metro en zonas llanas, destacando las curvas correspondientes a las cotas que son múltiplo de diez.

En cada plano debe señalarse el norte astronómico y una cuadrícula de coordenadas.

1.11.4 DIBUJO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

Los datos de las secciones transversales se utilizan para dibujar el perfil del terreno, en dirección transversal a la poligonal base, y para dibujar las curvas de nivel en el plano de planta. Para el dibujo de los perfiles transversales se usan las escalas 1:100 ó 1:200. En el plano se señala un eje vertical y para cada sección se define el datum⁴. Los datos de la sección transversal son dibujados a la derecha e izquierda del eje.

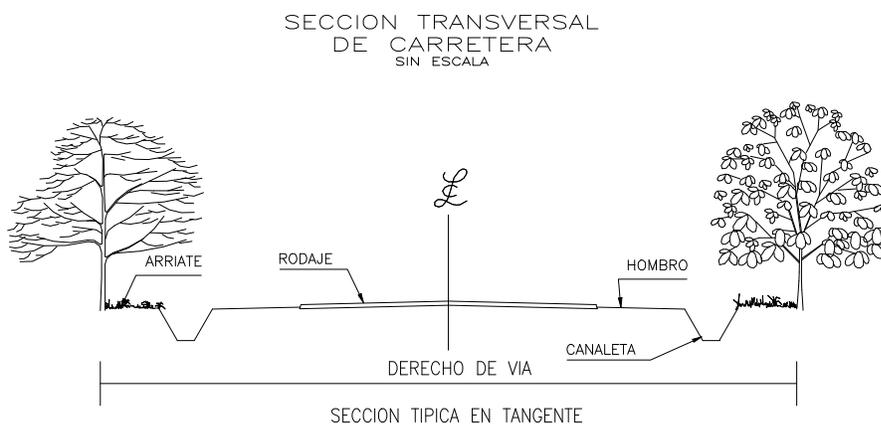


FIGURA 2: ELEMENTOS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.

⁴ El datum en la sección transversal coincide con la línea que define la subrasante del proyecto, desde donde se toman los cortes o rellenos a lo largo del perfil longitudinal del tramo en estudio.

1.12 CONCLUSIONES

- La topografía es la base para cualquier proyecto de ingeniería civil, por tanto es parte integral de un buen diseño de carreteras al aportar los datos necesarios para determinar las condiciones existentes de las franjas de estudio y poder seleccionar la mejor alternativa para el eje de la carretera.
- Los modernos equipos de topografía permiten agilizar los trazos de las carreteras, mayor control de los puntos de replanteo, facilidad del manejo de información, dando como resultado una reducción de costos de operación para el ejecutor de la obra.
- Los proyectos de carreteras que se realizan actualmente exigen en sus especificaciones técnicas la utilización de equipo topográfico electrónico (estación total) debido a las ventajas que ofrecen respecto a los equipos tradicionales.

CAPÍTULO II
ELEMENTOS PRINCIPALES DEL
DISEÑO GEOMÉTRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo expone los requisitos y criterios que se aplican en el diseño geométrico de los alineamientos horizontal y vertical así como la sección transversal, indicando las ecuaciones que se aplican en el cálculo de distancias en tangentes y los elementos de las curvas, tomando en cuenta las normas para diseño geométrico de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) y de la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO), principalmente, para los proyectos viales; utilizando las tablas que contienen los valores típicos propuestos para esta práctica.

2.2 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

Para dar seguridad y economía a la operación del tránsito, se han introducido algunos factores que controlan, limitan y condicionan, tales como el radio mínimo de curva o grado máximo de curva, tasa de sobreelevación máxima o peralte máximo, los factores de fricción y longitud de transición mínima cuando se pasa de una tangente a una curva; estos factores se toman en cuenta, en el diseño del alineamiento horizontal.

La vista en planta de una carretera, está constituida por tramos rectos o tangentes horizontales y curvas que conectan todo el alineamiento horizontal (figura 3). En carreteras de alta velocidad, con velocidades de diseño entre 90 km/h a 110 km/h, se prefiere usar curvas circulares simples y sólo en algunos casos se necesita diseñar curvas circulares que contengan espirales de transición a la entrada y salida de ellas.

Las curvas compuestas o de varios centros e inversas en la continuidad del alineamiento no son apropiadas para carreteras modernas de alta velocidad y tránsito intenso. Las curvas de transición o de alivio sirven para aminorar el cambio repentino de curvatura en la unión de una tangente y una curva circular, las cuales son las curvas espirales y constituyen una forma eficaz de alivio porque su radio de curvatura disminuye uniformemente desde infinito en la tangente, hasta el valor que adquiere cuando se convierte en el radio de la curva circular. Entonces, los elementos que integran el alineamiento horizontal, son las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición.

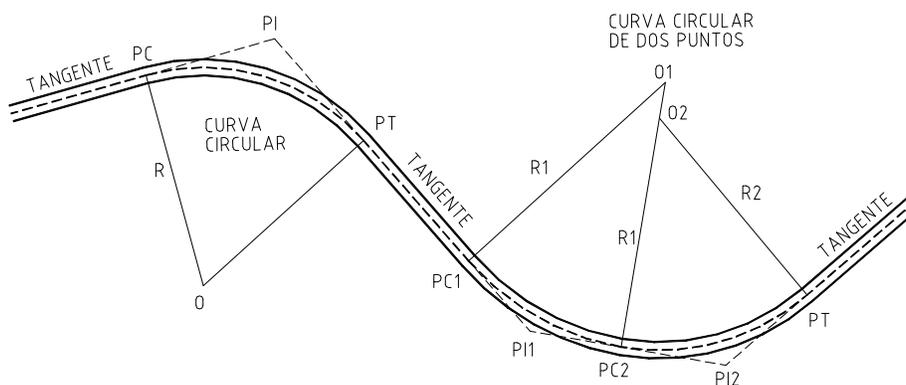


FIGURA 3: ELEMENTOS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL.

DEFINICIÓN

El alineamiento horizontal, es la proyección sobre un plano horizontal del eje real de la carretera, constituido por una serie de tramos rectos, llamados tangentes, enlazados entre si por curvas circulares simples en su mayoría.

TANGENTES EN EL ALINEAMIENTO

Las tangentes del alineamiento horizontal son las comprendidas entre cada dos puntos de intersección (PI) que van definiendo los tramos rectos del mismo. Son la proyección sobre un plano horizontal, de las rectas que contienen las curvas. La longitud de una tangente sobre el alineamiento es la distancia comprendida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. La longitud mínima de una tangente sobre el alineamiento horizontal, está definida por la longitud necesaria para dar la sobreelevación necesaria y ampliación (sobreelevación) a las curvas.

2.2.1 CURVATURA HORIZONTAL

Curvas circulares: son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas. En el diseño de curvas horizontales, se consideran dos casos:

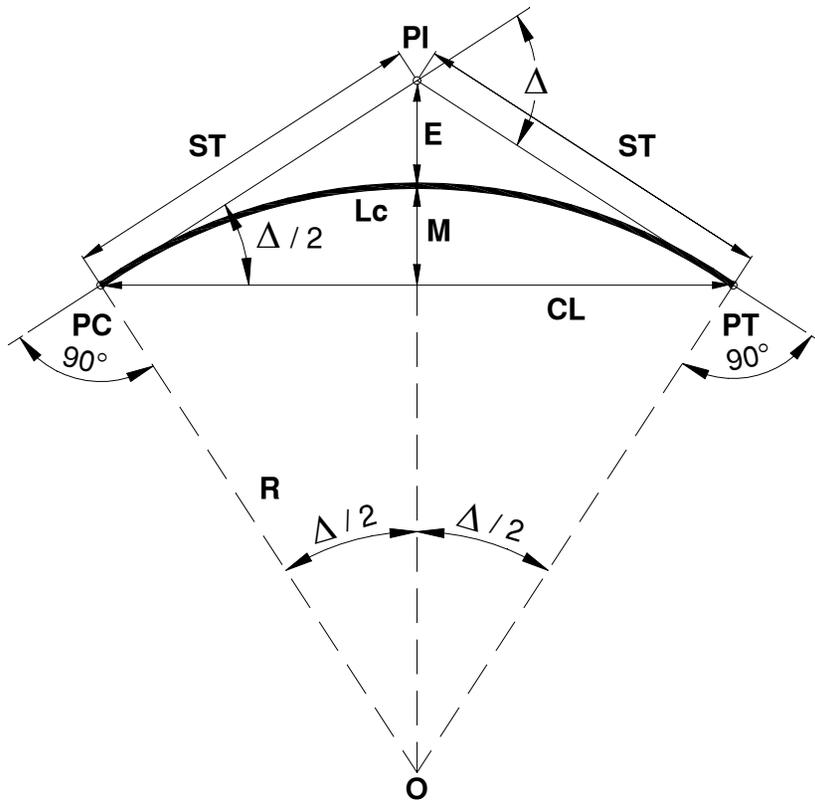
- Tangente seguida por curva horizontal

En esta situación, las fuerzas centrífugas actúan en contra de la operación segura de los vehículos cuando entran, circulan por la curva y salen de ella.

- Alineamiento compuesto de tangente y curva horizontal y vertical

En este caso, el diseño lo gobiernan factores como el efecto de las fuerzas centrípetas y centrífugas, el movimiento lento de los vehículos pesados cuando ascienden las pendientes (la relación peso/potencia) y las altas velocidades cuando bajan.

Los elementos de la curva circular simple pueden apreciarse en la figura 4.



- PI** : punto de intersección de las tangentes
- PC** : punto de inicio de la curva
- PT** : punto de terminación de la curva
- Δ : ángulo de deflexión entre tangentes
- ST** : subtangente
- R** : radio de curvatura
- Lc** : longitud de curva
- CL** : cuerda larga
- E** : externa
- M** : ordenada media
- O** : centro de la curva

FIGURA 4: ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE.

2.2.2 TASA DE SOBREELEVACIÓN O PERALTE “e”

La sobreelevación o peralte de una curva horizontal, depende de las condiciones climáticas, tipo de área, urbana o rural, frecuencia de vehículos de baja velocidad y las condiciones del terreno. La sobreelevación, e , en función de la velocidad de diseño y el tipo de las carreteras, se muestran en la tabla 4.

TABLA 4: VALORES MÁXIMOS TÍPICOS PARA e Y f .

País	e	f	Velocidad de Diseño km/h	Tipo de Carreteras
El Salvador	0.04	0.17	30	Urbanas y rurales
	0.10	0.11	110	Autopistas Suburbanas y Rurales

MOP, *Norma para Diseño geométrico de Viales*, proyecto, El Salvador

La sobreelevación o peralte, e , siempre se necesita para que un vehículo que viaje en curva cerrada a velocidad determinada, pueda contrarrestar las fuerzas centrífugas y el efecto adverso de la fricción que se produce entre la llanta y el pavimento (figura 5).

En curvas con radios de curvatura muy grandes, este efecto puede ser desestimado según se indica en las tablas de la 8 a la 11; por ejemplo, en la tabla 9, para $e_{\text{máx}} = 8\%$, cuando el radio es de 1,500 m a velocidad de diseño de

50 Km/h, se recomienda utilizar la sección normal (SN); es decir, que no es necesario el peralte⁵.

Una tasa de sobreelevación de 0.12 no debe ser excedida en carreteras donde la pendiente vertical sea fuerte, por ejemplo 12%, debido al control combinado que ejercen los procesos constructivos cuando se trata de colocar un pavimento hidráulico⁶, las dificultades para el mantenimiento y el efecto de incomodidad para el movimiento de vehículos lentos cuando ascienden; la tasa de sobreelevación no debe exceder entre 4 y 6 por ciento. Dado que las condiciones meteorológicas (intensidad de lluvia de la zona) y topográficas (tipo de terreno, pendiente vertical), imponen condiciones particulares, por ejemplo, en los diseños, es recomendable que se adopten las sobreelevaciones de la tabla 5 para diferentes tipos de área donde se localicen las carreteras.

TABLA 5: SOBREELEVACIONES MÁXIMAS PARA DISEÑO.

Tasa de Sobreelevación "e" (%)	Tipo de área
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Cap.4 sec. 4.5.2, pág. 4-36, SIECA.

⁵ El buen juicio del diseñador preverá las mejores condiciones: de construcción, funcionamiento seguro, y las mejoras de la vía a futuro por el incremento de tránsito.

⁶ En la construcción de carreteras con superficie de concreto hidráulico se utiliza maquinaria para su colocación, como la Pavimentadora de Concreto Hidráulico, PACH, acabado de superficie y su respectivo curado; poseen rodaje de banda (oruga) por lo que al colocarse el concreto en pendientes excesivamente fuertes, la PACH tiende a resbalar o patinar ya que el proceso se realiza desde el punto más bajo hasta el más alto.

2.2.3 PERALTE NECESARIO (e_{nec})

De la tabla 5, elegir el valor de sobreelevación máxima en función de la topografía; es necesario hacer notar, que sólo se adoptará el valor de $e_{máx}$, en las curvas de radio mínimo y variando su valor para otros rangos de radio y velocidad; se debe calcular el peralte necesario e_{nec} , de acuerdo al confort del usuario, para que no se produzcan efectos indeseables, como por ejemplo, el deslizamiento hacia el borde interno de la curva cuando un vehículo circula por la calzada y ésta posee fuerte peralte.

Para la elección del peralte necesario, e_{nec} , se tienen dos criterios, los cuales tratan en general de establecer, que cada curva sea tal que, para la velocidad que se desarrolle, se mantenga una relación apropiada entre la fricción y el peralte.

- Criterio de proporcionalidad (peralte proporcional al radio); este criterio trata de establecer, que para curvas de distinto radio la sollicitación centrífuga varía en forma uniforme (variación lineal), con la curvatura. Es decir, que se propone que en todo momento el peralte necesario sea inversamente proporcional al radio de la curvatura, correspondiendo el peralte máximo al radio mínimo.

$$e_{nec} = e_{m\acute{a}x} \left(\frac{R_{m\acute{i}n}}{R} \right) \quad (\text{Ecuaci3n 1})$$

- Criterio curvil\nea o parab3lico; este es semejante al proporcional, con la diferencia que se mantiene una relaci3n parab3lica entre los valores de peralte y radio de curvatura. Los principios b\asicos son: a) establecer el $e_{m\acute{a}x}$ en funci3n de la topograf\ia, el clima y la fricci3n correspondiente a la velocidad; b) a medida que el radio aumenta por encima del m\iacimo, se reduce gradualmente el peralte; c) esta reducci3n gradual del peralte se realiza seg\un la relaci3n parab3lica entre los peraltes y los radios de curva siendo su valor:

$$e_{nec} = e_{m\acute{a}x} \left[2 \left(\frac{R_{m\acute{i}n}}{R} \right) - \left(\frac{R_{m\acute{i}n}}{R} \right)^2 \right] \quad (\text{Ecuaci3n 2})$$

2.2.4 FACTOR M\ACIMO DE FRICCI3N LATERAL “f”

En la selecci3n del m\acimo factor de fricci3n lateral para uso en dise\no, el principal control es la comodidad que experimentan los conductores cuando transitan sobre la curva a una velocidad de operaci3n determinada. Esta sensaci3n del conductor est\ relacionada con la fuerza centr\ufuga F_c

($F_c = V^2/127R$) (Ecuación 3)⁷, que al mismo tiempo se relaciona con la resistencia al deslizamiento que se requiere para efectuar la maniobra.

El factor de fricción lateral depende principalmente de las condiciones de las llantas de los vehículos, el tipo y estado de la superficie de rodamiento y de la velocidad del vehículo (figura 5). Los factores de fricción lateral experimentan diferencias, aún para condiciones similares de composición del pavimento, debido a diferencias en la textura del pavimento, condiciones climatológicas y diferencias en la manufactura de las llantas utilizadas. En general, los valores máximos de fricción lateral⁸ para pavimentos de concreto húmedos son de 0.5 para 30 Km/h a 0.35 para 100 Km/h. Para pavimentos húmedos de concreto y llantas lisas, el factor es hasta 0.35 para 70 Km/h.

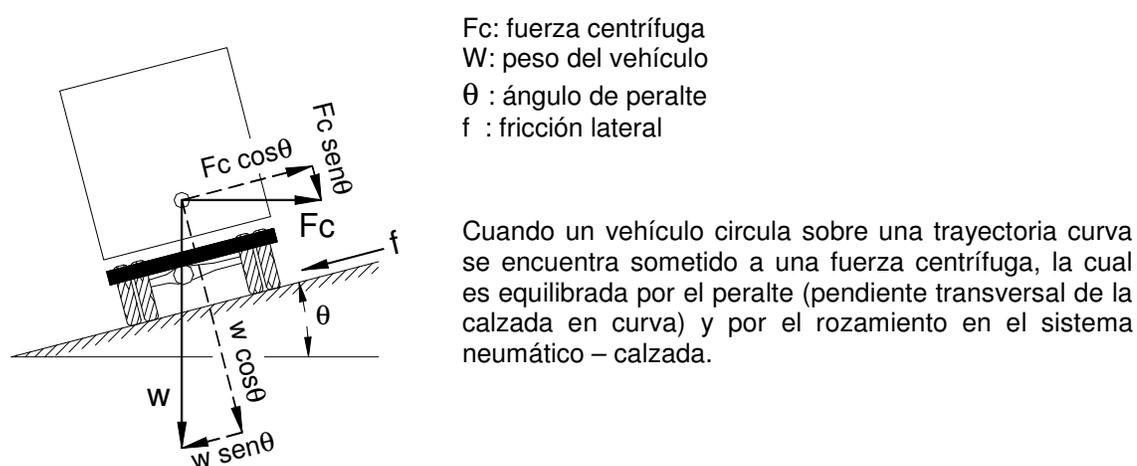


FIGURA 5: DIAGRAMA DE FUERZAS SOBRE UN VEHÍCULO EN UNA CURVA.

⁷V: velocidad de diseño en kilómetros por hora, R: radio de la curva circular en metros.

⁸ En la tabla 4 se presenta el valor representativo que se utiliza en el diseño geométrico de las carreteras de El Salvador.

2.2.4.1 DISTRIBUCIÓN DE “e” Y “f”

Los cinco criterios que se utilizan para la distribución de la sobreelevación o peralte e y el factor de fricción lateral f para contrarrestar la fuerza centrífuga F_c en curvas con una determinada velocidad de diseño, se ilustran en la figura 6, con la misma numeración con que se enuncian a continuación:

Criterio 1. Se considera que existe una relación proporcional directa entre e y f y el inverso del radio de la curva horizontal.

Criterio 2. Las fuerzas centrífugas que actúan sobre el vehículo que viaja en curvas a la velocidad de diseño, se contrarrestan en proporción directa al factor de fricción, hasta que éste alcanza su valor máximo. En curvas cerradas, el factor de fricción se mantiene a su máximo y la sobreelevación se aplica en su desarrollo hasta alcanzar el $e_{\text{máx}}$. Este criterio es particularmente ventajoso en vías urbanas de baja velocidad, donde resulta difícil proyectar las sobreelevaciones requeridas.

Criterio 3. Las fuerzas centrífugas se contrarrestan en proporción directa al desarrollo de la sobreelevación hasta alcanzar su máximo, cuando el vehículo

viaja en curvas a la velocidad de diseño. En curvas de ángulo pequeño el peralte se mantiene a su máximo y el factor de fricción lateral se incrementa en proporción directa al desarrollo de la curva hasta que alcanza su valor máximo. Este criterio resulta en fricciones negativas para curvas amplias e intermedias, después de lo cual, la fricción lateral se incrementa rápidamente al máximo para curvas de radios mínimos.

Criterio 4. Este es similar al criterio 3, excepto que se basa en la velocidad promedio de operación, en lugar de la velocidad de diseño. Se intenta superar la deficiencia del criterio 3, introduciendo la sobreelevación antes de que se alcance la velocidad de diseño.

Criterio 5. Se mantiene una relación curvilínea entre e y f y el radio de curva, que asemeja una forma parabólica asimétrica, con valores localizados entre los criterios 1 y 3. Este es el criterio recomendado para diseño, por representar una distribución práctica sobre el rango usual de curvaturas. La figura 7 ilustra el cálculo de la sobreelevación, cuando la curva de fricción lateral es la componente de un conjunto de esfuerzos de investigación y varía linealmente entre 0.16 para 50 kilómetros por hora, a 0.14 para 80 kilómetros por hora y a 0.10 para 110 kilómetros por hora.

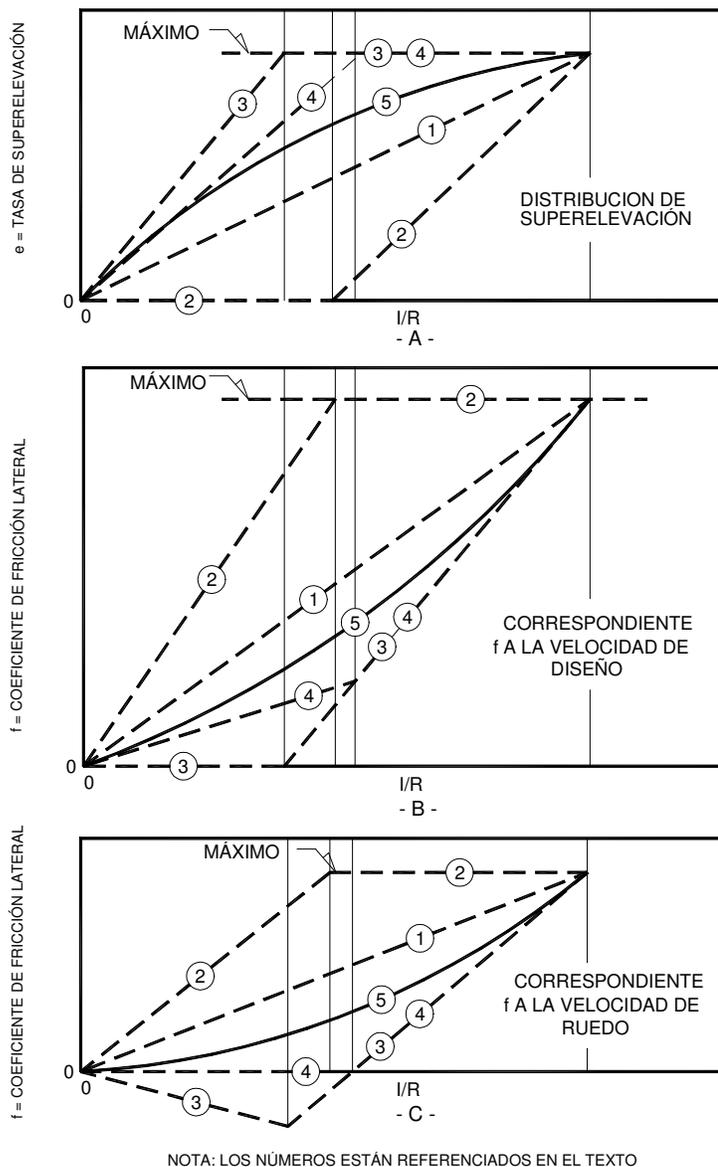


FIGURA 6: CRITERIOS PARA DISTRIBUIR LA SUPERELEVACIÓN Y EL FACTOR DE FRICCIÓN LATERAL.

Gráfico adaptado del Cap. 4 sec. 4.5.3, pág. 4-37, fig. 4.9, SIECA.

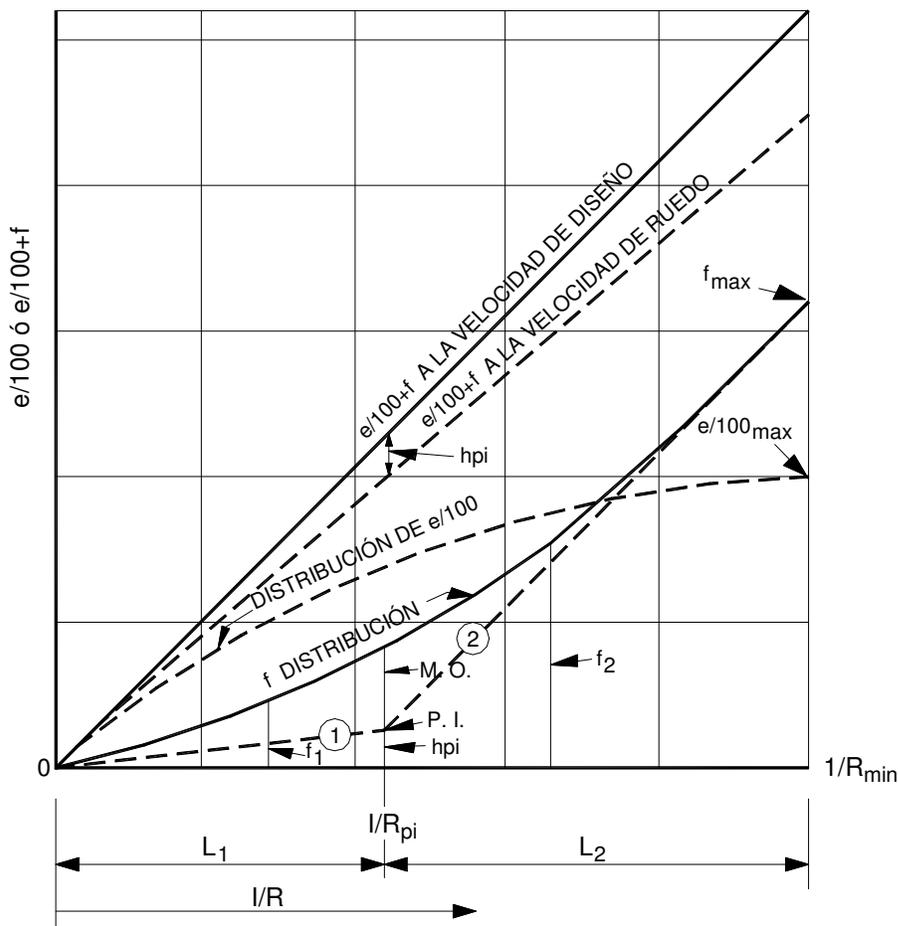


FIGURA 7: PROCEDIMIENTO PARA DESARROLLAR LA DISTRIBUCIÓN FINAL DE LA SUPERELEVACIÓN (e) APLICANDO LOS CRITERIOS 1 Y 3 DE LA FIGURA 6.

2.2.5 RADIOS MÍNIMOS Y GRADOS MÁXIMOS DE CURVATURA

En una curva circular simple, los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la máxima fricción lateral escogida para diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte o

sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad, o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. Un vehículo resbala en las curvas debido a la presencia de agua, aceite o arena sobre la superficie de rodamiento. El uso de radios de curvatura más reducidos solamente puede lograrse a costa de incómodas tasas de sobreelevación o adoptando coeficientes de fricción lateral que pueden no estar garantizados por la adherencia de las llantas (calidad, grado de desgaste del grabado, presión, etc.) con la superficie de rodamiento de la carretera, para un vehículo en particular.

Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación e , los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular utilizando la fórmula siguiente:

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde:

R: Radio mínimo de curva, en metros.

e: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f : Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

V: Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

El grado de curva o de curvatura (G_c) es el ángulo sustentado en el centro de un círculo de radio R por un arco de 20 metros, según el sistema de medidas utilizado. Para el caso, en El Salvador, que rige el sistema métrico, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo de G_c :

$$G_{c_{20}} = \frac{1145.92}{R} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Utilizando los valores recomendados para el factor de fricción f y la tasa de superelevación o peralte, se ha preparado la tabla 6 donde se presentan los radios mínimos y grados máximos de curvatura para diferentes velocidades de diseño, aplicando la ecuación para $G_{c_{20}}$.

TABLA 6: RADIOS MÍNIMOS Y GRADOS MÁXIMOS DE CURVAS HORIZONTALES PARA DISTINTAS VELOCIDADES DE DISEÑO.

Velocidad de Diseño (km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 4%			Peralte máximo 6%		
		Radio (m)		Grado de curva	Radio (m)		Grado de curva
		calculado	Recomendado		calculado	Recomendado	
30	0.17	33.7	35	32°44'	30.8	30	38°12'
40	0.17	60.0	60	19°06'	54.8	55	20°50'
50	0.16	98.4	100	11°28'	89.5	90	12°44'
60	0.15	149.2	150	7°24'	135.0	135	8°29'
70	0.14	214.3	215	5°20'	192.9	195	5°53'
80	0.14	280.0	280	4°05'	252.0	250	4°35'
90	0.13	375.2	375	3°04'	335.7	335	3°25'
100	0.12	492.1	490	2°20'	437.4	435	2°38'
110	0.11	635.2	635	1°48'	560.4	560	2°03'
120	0.09	872.2	870	1°19'	755.9	775	1°29'

Velocidad de Diseño (km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 8%			Peralte máximo 10%		
		Radio (m)		Grado de curva	Radio (m)		Grado de curva
		calculado	Recomendado		calculado	Recomendado	
30	0.17	28.3	30	38°22'	26.2	25	45°50'
40	0.17	50.4	50	22°15'	46.7	45	25°28'
50	0.16	82.0	80	14°19'	75.7	75	15°17'
60	0.15	123.2	120	9°33'	113.4	115	9°58'
70	0.14	175.4	175	6°33'	160.8	160	7°10'
80	0.14	229.1	230	4°59'	210.0	210	5°27'
90	0.13	303.7	305	3°46'	277.3	275	4°10'
100	0.12	393.7	395	2°54'	357.9	360	3°11'
110	0.11	501.5	500	2°17'	453.7	455	2°31'
120	0.09	667.0	665	1°43'	596.8	595	1°56'

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, pág. 156.

Nota: cifras redondeadas para radios y grados recomendados.

2.2.6 CURVAS HORIZONTALES DE TRANSICIÓN

Para dar seguridad al recorrido de los vehículos desde una sección en recta o tangente de una carretera en una determinada curva horizontal circular simple, los conductores la desarrollan a su manera, en trayectoria y velocidad, y en ocasiones invadiendo el carril vecino, por esta situación de funcionamiento forzado de la curva circular, esta tiene que ser objeto de evaluación para integrarle una curva de transición. Así, en los nuevos diseños se utiliza mucho la curva de transición, que facilita a los conductores el recorrido seguro y cómodo de la curva, manteniendo el vehículo inscrito dentro de su carril y sin experimentar la violencia de la fuerza centrífuga que es propia de la circulación en curva. El requerimiento especial de una curva de transición consiste en que su radio de curvatura pueda decrecer gradualmente desde el infinito en la tangente que se conecta con la espiral (TE) (figura 8) hasta el final de la espiral en su enlace con la curva circular (EC). En la situación de salida de la curva circular hacia la espiral (CE), se produce el desarrollo inverso hasta el contacto de la espiral con la tangente (ET). Esta condición produce un incremento y decremento gradual de la aceleración radial, que es bastante deseable en diseño. Esto mejora la apariencia y la circulación en una carretera.

La transición en espiral facilita el movimiento del timón, evitando cambios abruptos en la aceleración radial, que causa mucha incomodidad al conductor y los pasajeros, ya que la fuerza centrífuga se va incrementando hasta la curva circular y disminuye a la salida en sentido inverso, hasta alcanzar de nuevo la tangente.

Esta longitud de transición es la longitud de la carretera en la cual se cambia de la sección con pendientes transversales normales que corresponde a una sección en tangente, a una sección con pendiente sobreelevada en un solo sentido y su punto inferior hacia el interior de la curva. Igualmente, la curva de transición ofrece una distancia apropiada de transición para la construcción de los sobrecanchos exigidos por la curva circular.

Existen varios métodos para calcular la longitud de la curva de transición en espiral. El primero fue desarrollado por Shortt en 1909, para el diseño de curvas horizontales para ferrocarriles, aplicándose después al diseño de curvas de carreteras. La longitud mínima de transición de la espiral (L_e), en el sistema métrico se expresa de la siguiente forma:

$$L_e = 0.0702 \frac{V^3}{RC}$$

(Ecuación 6)

Donde:

V: Velocidad, en kilómetros por hora.

R: Radio central de la curva, en metros.

C: Tasa de incremento de la aceleración centrípeta, en m/s^3 .

Este último parámetro C es un valor empírico igual a la unidad en el diseño de ferrocarriles, pero cuyos valores varían entre 1 y 3 para aplicaciones en carreteras.

En vista que existen varios métodos de cálculo de longitudes de transición, se ha considerado conveniente adoptar las recomendaciones de la AASHTO, para valores de este elemento de diseño en las carreteras regionales, dejando siempre a juicio del diseñador su propia elección, de acuerdo a situaciones particulares, tomando en cuenta para fines prácticos del cálculo de la transición, que esta depende de la longitud requerida para el desarrollo de la sobreelevación máxima entre la tangente y la curva circular; esto, respecto a la exactitud en la aplicación de la fórmula (ecuación 6).

Las longitudes de espirales en intersecciones se calculan de la misma manera que en carretera abierta, excepto que las espirales pueden tener longitudes menores ya que en las carreteras se aplican valores de C

comprendidos entre 0.3 y 1.0, en tanto que en las intersecciones este valor puede estar entre 0.75 para velocidades de 80 kilómetros por hora y 1.2 para velocidades de 30 kilómetros por hora. Las longitudes mínimas de espirales, para los radios mínimos que gobiernan la velocidad de diseño, van desde 20 metros para velocidades de 30 kilómetros por hora y radios mínimos de 25 metros, hasta 60 metros para velocidades de 70 kilómetros por hora y radios mínimos de 160 metros.

Cuando se utiliza una espiral, se acostumbra que la transición de la sobreelevación se realice en su longitud. Dependiendo de los factores y la ecuación utilizados, la longitud de una espiral puede ser mayor o menor que la longitud de transición dada en la tabla 7, aunque las diferencias no son tan sustanciales, por consideraciones prácticas, es recomendable utilizar una sola cifra, como la mostrada en la mencionada tabla 7, para el mejor control del diseño.

Estas cifras corresponden a carreteras de dos carriles. Cuando se trate de tres y cuatro carriles sin mediana, hay que multiplicar respectivamente las cifras por 1.2 y 1.5; si la carretera es de 6 carriles sin mediana, hay que duplicar los valores de la tabla anterior.

TABLA 7: LONGITUDES DE DESARROLLO DE LA SOBREELEVACIÓN EN CARRETERAS DE DOS CARRILES, EN METROS.

Peralte	Longitud de Transición y Velocidades de Diseño							
	40	50	60	70	80	90	100	110
	Carriles de 3.60 m							
0.02	25	30	35	40	50	55	60	65
0.04	25	30	35	40	50	55	60	65
0.06	35	35	40	40	50	55	60	65
0.08	45	45	50	55	60	60	65	70
0.10	55	55	60	65	75	75	80	85
0.12	65	65	75	80	90	90	95	105
	Carriles de 3.00 m							
0.02	25	30	35	40	50	55	60	65
0.04	25	30	35	40	50	55	60	65
0.06	30	30	35	40	50	55	60	65
0.08	35	40	40	45	50	55	60	65
0.10	45	45	50	55	60	65	70	75
0.12	55	55	60	65	75	75	80	85

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, pág. 179.

Se han preparado las tablas de la 8 a la 11, para carreteras de dos y cuatro carriles, contienen las longitudes mínimas de transición en función del radio de curva, la sobreelevación con valores máximos de 6, 8, 10 y 12 por ciento, y la velocidad de diseño. De la sección 2.2.4.1 se utilizó el criterio 5 para la distribución de valores de la sobreelevación e y el coeficiente de fricción lateral f , con sus valores ahí especificados.

Las cifras que muestran las tablas 8 a la 11 son las mínimas recomendables. Las cifras de diseño incluidas en estas tablas han sido calculadas para carriles de 3.60 m, pero son recomendadas por la SIECA para su aplicación también en

anchos menores como los de 3.00 m. Bajo todas las condiciones, excepto en condiciones climáticas extremas, se considera que los vehículos operarán en condiciones seguras si se aplican las curvas horizontales con las longitudes de transición y las sobreelevaciones indicadas en la tabla 7.

En curvas con radio circular simple de 1,500 metros o más, no se necesitan transiciones, se pasa directamente de la tangente a la alineación circular. En esta situación, se recomienda que el peralte se desarrolle $\frac{2}{3}$ en la tangente y $\frac{1}{3}$ al principio de la curva circular (figuras 9 y 11), y en el tercio medio de la curva tiene lugar el peralte máximo.

TABLA 8: ELEMENTOS DE DISEÑO PARA CURVAS HORIZONTALES Y VELOCIDADES DE DISEÑO, $e_{\text{máx.}} 6\%$.

R (m)	V=30km/h			V=40km/h			V=50km/h			V=60km/h			V=70km/h			V=80km/h			V=90km/h			V=100km/h			V=110km/h		
	L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)		
	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs
7000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
5000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
3000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	56	84	SI	61	92
2500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	50	75	SI	56	84	2.3	61	92
2000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	44	66	2.1	50	75	2.5	56	84	2.8	61	92
1500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	39	59	2.2	44	66	2.7	50	75	3.1	56	84	3.6	61	92
1400	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	39	59	2.4	44	66	2.8	50	75	3.3	56	84	3.8	61	92
1300	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.1	39	59	2.5	44	66	3	50	75	3.5	56	84	4	61	92
1200	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.2	39	59	2.7	44	66	3.2	50	75	3.7	56	84	4.2	61	92
1000	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.1	33	50	2.6	39	59	3.1	44	66	3.6	50	75	4.2	56	84	4.8	61	92
900	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.3	33	50	2.8	39	59	3.4	44	66	3.9	50	75	4.5	56	84	5.1	61	92
800	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.5	33	50	3.1	39	59	3.6	44	66	4.2	50	75	4.9	56	84	5.4	61	92
700	SN	0	0	SI	22	33	2.1	28	42	2.8	33	50	3.4	39	59	4	44	66	4.6	50	75	5.2	56	84	5.7	61	92
600	SN	0	0	SI	22	33	2.4	28	42	3.1	33	50	3.8	39	59	4.3	44	66	5	50	75	5.6	56	84	6	61	92
500	SN	0	0	2.1	22	33	2.8	28	42	3.5	33	50	4.2	39	59	4.8	44	66	5.4	50	75	5.9	56	84	Rmín=560		
400	SI	17	26	2.5	22	33	3.3	28	42	4	33	50	4.7	39	59	5.3	44	66	5.9	50	75	Rmín= 435					
300	SI	17	26	3.1	22	33	3.9	28	42	4.6	33	50	5.4	39	59	5.9	44	66	Rmín= 335								
250	2.3	17	26	3.5	22	33	4.2	28	42	5	33	50	5.7	39	59	6	44	66									
200	2.8	17	26	3.9	22	33	4.7	28	42	5.5	33	50	6	39	59	Rmín= 250											
175	3	17	26	4.1	22	33	5	28	42	5.8	35	52	Rmín= 195														
150	3.3	17	26	4.4	23	34	5.3	29	43	5.9	35	53															
140	3.5	17	26	4.5	23	35	5.4	29	44	6	36	54															
130	3.6	17	26	4.6	24	36	5.6	30	45	Rmín= 135																	
120	3.8	18	27	4.8	25	37	5.7	31	46																		
110	3.9	19	28	5	26	39	5.8	31	47																		
100	4.1	20	29	5.2	27	40	5.9	32	48																		
90	4.2	20	30	5.4	28	42	6	32	49																		
80	4.5	22	32	5.6	29	43	Rmín= 90																				
70	4.7	23	34	5.8	30	45																					
60	5	24	36	6	31	46																					
50	5.4	26	39	Rmín= 55																							
40	5.8	28	42																								
30	6	29	43																								
Rmín= 30																											

$e_{\text{máx.}} = 6.0\%$

R: Radio de curva
V: velocidad de diseño
e: tasa de superelevación
L: Longitud mínima de transición
SN: sección Normal
SI: Sección Invertida, peralte similar a la pendiente normal
C: carriles

CIFRAS REDONDEADAS

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, pág. 168

TABLA 9: ELEMENTOS DE DISEÑO PARA CURVAS HORIZONTALES Y VELOCIDADES DE DISEÑO, $e_{\text{máx.}} 8\%$.

R (m)	V=30km/h			V=40km/h			V=50km/h			V=60km/h			V=70km/h			V=80km/h			V=90km/h			V=100km/h			V=110km/h		
	L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)		
	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs	e (%)	2 Crs	4 Crs
7000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
5000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
3000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	56	84	2.1	61	92
2500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	50	75	2.1	56	84	2.4	61	92
2000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	44	66	2.2	50	75	2.6	56	84	3	61	92
1500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	39	59	2.4	44	66	2.8	50	75	3.4	56	84	3.9	61	92
1400	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.1	39	59	2.5	44	66	3	50	75	3.6	56	84	4.1	61	92
1300	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.2	39	59	2.7	44	66	3.2	50	75	3.8	56	84	4.4	61	92
1200	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.4	39	59	2.9	44	66	3.4	50	75	4.1	56	84	4.7	61	92
1000	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.2	33	50	2.8	39	59	3.4	44	66	4	50	75	4.8	56	84	5.5	61	92
900	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.4	33	50	3.1	39	59	3.7	44	66	4.4	50	75	5.2	56	84	6	61	92
800	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.7	33	50	3.4	39	59	4.1	44	66	4.8	50	75	5.7	56	84	6.5	61	92
700	SN	0	0	SI	22	33	2.2	28	42	3	33	50	3.8	39	59	4.5	44	66	5.3	50	75	6.3	56	84	7.2	62	93
600	SN	0	0	SI	22	33	2.6	28	42	3.4	33	50	4.3	39	59	5.1	44	66	6	50	75	6.9	56	84	7.7	66	99
500	SN	0	0	2.2	22	33	3	28	42	3.9	33	50	4.9	39	59	5.8	44	66	6.7	51	76	7.6	61	91	8	69	103
400	SI	17	26	2.7	22	33	3.6	28	42	4.7	33	50	5.7	39	59	6.6	48	71	7.5	57	85	8	64	96	Rmín= 500		
300	2.1	17	26	3.4	22	33	4.5	28	42	5.6	34	51	6.7	44	66	7.6	55	Rmín= 305			Rmín= 395						
250	2.5	17	26	4	22	33	5.1	28	42	6.2	37	56	7.3	48	72	7.9	57	85									
200	3	17	26	4.6	24	36	5.8	31	47	7	42	63	7.9	52	78	Rmín= 230											
175	3.4	17	26	5	26	39	6.2	33	50	7.4	44	67	8	52	79												
150	3.8	18	27	5.4	28	42	6.7	36	54	7.8	47	70	Rmín= 175														
140	4	19	29	5.6	29	43	6.9	37	56	7.9	47	71															
130	4.2	20	30	5.8	30	45	7.1	38	58	80	48	72															
120	4.4	21	32	6	31	46	7.3	39	59	Rmín= 125																	
110	4.7	23	34	6.3	32	49	7.6	41	62																		
100	4.9	23	35	6.5	33	50	7.8	42	63																		
90	5.2	25	37	6.9	36	53	7.9	43	64																		
80	5.5	26	40	7.2	37	56	8	43	65																		
70	5.9	28	42	7.5	39	58	Rmín= 80																				
60	6.4	31	46	7.8	40	60																					
50	6.9	33	50	8	41	62																					
40	7.5	36	54	Rmín= 50																							
30	8	38	57	Rmín= 30																							

$e_{\text{máx.}} = 8.0\%$

R: Radio de curva
V: velocidad de diseño
e: tasa de superelevación
L: Longitud mínima de transición
SN: sección Normal
SI: Sección Invertida, peralte similar a la pendiente normal
C: carriles

CIFRAS REDONDEADAS

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, pág. 169.

TABLA 10: ELEMENTOS DE DISEÑO PARA CURVAS HORIZONTALES Y VELOCIDADES DE DISEÑO, $e_{\text{máx.}} 10\%$.

R (m)	V=30km/h			V=40km/h			V=50km/h			V=60km/h			V=70km/h			V=80km/h			V=90km/h			V=100km/h			V=110km/h		
	e	L (m)		e	L (m)		e	L (m)		e	L (m)		e	L (m)		e	L (m)		e	L (m)		e	L (m)		e	L (m)	
		(%)	Crs		Crs	(%)		Crs	Crs		(%)	Crs		Crs	(%)		Crs	Crs		(%)	Crs		Crs	(%)		Crs	Crs
7000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
5000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0
3000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	56	84	2.1	61	92
2500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	50	75	2.2	56	84	2.5	61	92
2000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	44	66	2.2	50	75	2.7	56	84	3.1	61	92
1500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	39	59	2.4	44	66	2.9	50	75	3.5	56	84	4.1	61	92
1400	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.1	39	59	2.6	44	66	3.1	50	75	3.8	56	84	4.3	61	92
1300	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.3	39	59	2.8	44	66	3.3	50	75	4	56	84	4.6	61	92
1200	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.4	39	59	3	44	66	3.6	50	75	4.3	56	84	5	61	92
1000	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.2	33	50	2.9	39	59	3.5	44	66	4.2	50	75	5.1	56	84	5.9	61	92
900	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.5	33	50	3.2	39	59	3.9	44	66	4.6	50	75	5.6	56	84	6.4	61	92
800	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.7	33	50	3.5	39	59	4.3	44	66	5.1	50	75	6.2	56	84	7.1	61	92
700	SN	0	0	SI	22	33	2.3	28	42	3.1	33	50	4	39	59	4.8	44	66	5.8	50	75	6.9	56	84	8	69	103
600	SN	0	0	SI	22	33	2.7	28	42	3.6	33	50	4.5	39	59	5.5	44	66	6.5	50	75	7.8	62	94	9	77	116
500	SN	0	0	2.3	22	33	3.1	28	42	4.2	33	50	5.3	39	59	6.4	46	69	7.6	57	86	8.9	71	107	9.9	85	127
400	SI	17	26	2.8	22	33	3.8	28	42	5	33	50	6.3	41	62	7.5	54	81	8.8	67	100	9.8	78	117	Rmín= 455		
300	2.2	17	26	3.6	22	33	4.8	28	42	6.3	38	57	7.8	51	77	9	65	97	9.9	75	112	Rmín= 360					
250	2.6	17	26	4.2	22	33	5.6	30	45	7.1	43	64	8.7	57	86	9.7	70	105	Rmín= 275								
200	3.1	17	26	5	26	39	6.6	36	53	8.2	49	74	9.6	63	94	Rmín= 210											
175	3.5	17	26	5.6	29	43	7.1	38	58	8.8	53	79	9.9	65	97	Rmín= 160											
150	4	19	29	6.2	32	48	7.8	42	63	9.4	57	85	Rmín= 160														
140	4.3	21	31	6.4	33	49	8.1	44	66	9.6	58	87	Rmín= 160														
130	4.5	22	32	6.7	34	52	8.5	46	69	9.8	59	88	Rmín= 160														
120	4.8	23	34	7	36	54	8.8	48	71	10	60	90	Rmín= 160														
110	5.1	24	37	7.4	38	57	9.1	49	74	Rmín= 115																	
100	5.5	26	40	7.7	40	59	9.5	51	77	Rmín= 115																	
90	5.9	28	42	8.2	42	63	9.8	53	79	Rmín= 115																	
80	6.4	31	46	8.6	44	66	10	54	81	Rmín= 115																	
70	6.9	33	50	9.1	47	70	Rmín= 75																				
60	7.5	36	54	9.6	49	74	Rmín= 75																				
50	8.2	39	59	10	51	77	Rmín= 75																				
40	9.1	44	65	Rmín= 45																							
30	9.9	47	71	Rmín= 45																							
Rmín= 25																											

$e_{\text{máx.}} = 10.0\%$

R: Radio de curva
V: velocidad de diseño
e: tasa de superelevación
L: Longitud mínima de transición
SN: sección Normal
SI: Sección Invertida, peralte similar a la pendiente normal
C: carriles
CIFRAS REDONDEADAS

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, pág.170

TABLA 11: ELEMENTOS DE DISEÑO PARA CURVAS HORIZONTALES Y VELOCIDADES DE DISEÑO, $e_{m\acute{a}x}$. 12%.

R (m)	V=30km/h			V=40km/h			V=50km/h			V=60km/h			V=70km/h			V=80km/h			V=90km/h			V=100km/h			V=110km/h		
	L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)			L (m)		
	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4	e	2	4
	(%)	Cr	Cr	(%)	Cr	Cr	(%)	Cr	Cr	(%)	Cr	Cr	(%)	Cr	Cr	(%)	Cr	Cr									
7000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0									
5000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0									
3000	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	56	84	2.1	61	92									
2500	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	50	75	2.2	56	84	2.5	61	92									
2000	SN	0	0	SN	0	0	SI	44	66	2.3	50	75	2.7	56	84	3.2	61	92									
1500	SN	0	0	SI	39	59	2.5	44	66	3.0	50	75	3.6	56	84	4.2	61	92									
1400	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.6	44	66	3.2	50	75	3.8	56	84	4.4	61	92			
1300	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.3	39	59	2.8	44	66	3.4	50	75	4.1	56	84	4.8	61	92
1200	SN	0	0	SN	0	0	SN	0	0	SI	33	50	2.5	39	59	3.0	44	66	3.7	50	75	4.4	56	84	5.1	61	92
1000	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.3	33	50	2.9	39	59	3.6	44	66	4.4	50	75	5.3	56	84	6.1	61	92
900	SN	0	0	SN	0	0	SI	28	42	2.5	33	50	3.3	39	59	4.0	44	66	4.8	50	75	5.8	56	84	6.7	61	92
800	SN	0	0	SN	0	0	2.1	28	42	2.8	33	50	3.6	39	59	4.4	44	66	5.3	50	75	6.5	56	84	7.5	64	96
700	SN	0	0	SI	22	33	2.4	28	42	3.2	33	50	4.1	39	59	5.0	44	66	6.0	50	75	7.3	58	88	8.5	73	109
600	SN	0	0	SI	22	33	2.7	28	42	3.7	33	50	4.7	39	59	5.7	44	66	6.9	52	78	8.3	66	100	9.7	83	125
500	SN	0	0	2.4	22	33	3.2	28	42	4.3	33	50	5.5	39	59	6.7	48	72	8.1	61	92	9.7	78	116	11.3	97	145
400	SI	17	26	2.9	22	33	3.9	28	42	5.3	33	50	6.7	44	66	8.1	58	87	9.7	73	110	11.4	91	137	Rmín=415		
300	2.2	17	26	3.8	22	33	5.1	28	42	6.7	40	60	8.5	56	84	10.1	73	109	11.6	88	132	Rmín=330					
250	2.6	17	26	4.4	23	34	5.9	32	48	7.7	46	69	9.7	64	95	11.2	81	121	Rmín=225								
200	3.2	17	26	5.3	27	41	7.1	38	58	9.1	55	82	11.1	73	109	12.0	86	130									
175	3.6	17	26	5.9	30	46	7.8	42	63	10.0	60	90	11.7	77	115	Rmín=195											
150	4.2	20	30	6.7	34	52	8.7	47	70	10.8	65	97	12.0	79	118												
140	4.4	21	32	7.0	36	54	9.1	49	74	11.2	67	101	Rmín=150														
130	4.7	23	34	7.4	38	57	9.5	51	77	11.5	69	104															
120	5.1	24	37	7.8	40	60	10.0	54	81	11.8	71	106															
110	5.4	26	39	8.2	42	63	10.5	57	85	12.0	72	108															
100	5.9	28	42	8.7	45	67	11.0	59	89	Rmín=105																	
90	6.4	31	46	9.3	48	72	11.4	62	92																		
80	6.9	33	50	9.9	51	76	11.8	64	96																		
70	7.6	36	55	10.5	54	81	12.0	65	97																		
60	8.4	40	60	11.2	58	86	Rmín=70																				
50	9.3	45	67	11.8	61	91																					
40	10.4	50	75	Rmín=45																							
30	11.6	56	83																								
	Rmín=25																										

$e_{m\acute{a}x}=12.0\%$
R: Radio de curva
V: velocidad de diseo
e: tasa de superelevaci3n
L: Longitud m3nima de transici3n
SN: secci3n Normal
SI: Secci3n Invertida, peralte similar a la pendiente normal
C:carriles
CIFRAS REDONDEADAS

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p3g.170

2.2.7 SOBREANCHO EN CURVAS

Los sobreanchos se diseñan, siempre, en las curvas horizontales de radios pequeños, combinados con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación⁹. En las carreteras modernas, con carriles de 3.60 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía, por ejemplo, el parqueo de un vehículo cuando tenga algún desperfecto.

Para establecer el sobreancho en curvas deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) En curvas circulares sin transición, el sobreancho total se aplica en la parte interior de la calzada (figura 11). El borde externo y la línea central se mantendrán como arcos concéntricos.

⁹ Además, el sobreancho en las curvas horizontales, si este no existiera, durante el tráfico no se resolverían los problemas de barrido lateral del vehículo en marcha por alta velocidad o descuido del conductor, el encuentro fortuito de dos vehículos cuando el que circula sobre el carril interno de la curva sobrepasa la línea de separación, etc. Se evitan los accidentes de tránsito.

- b) Cuando existen curvas de transición (figura 10), el sobreebancho se divide igualmente entre el borde interno y externo de la curva, aunque también se puede aplicar totalmente en la parte interna de la calzada. En ambos casos, la marca de la línea central debe colocarse entre los bordes de la sección de la carretera ensanchada.
- c) El ancho extra se efectúa sobre la longitud total de transición (L_s o L_e) y siempre debe desarrollarse en proporción uniforme, nunca abruptamente, para asegurarse que todos los anchos de los carriles modificados sean efectivamente utilizados. Los cambios en el ancho normalmente pueden efectuarse en longitudes comprendidas entre 30.0 m y 60.0 m.
- d) Los bordes del pavimento siempre tendrán un desarrollo suave y curvado atractivamente, para inducir al conductor su uso.
- e) Los sobreebanchos se detallan minuciosamente en los planos constructivos y deben controlarse durante el proceso de construcción de la carretera.

Una de las expresiones empíricas más utilizadas para calcular el sobreebancho en las curvas horizontales es la siguiente:

$$S_a = n \left[R - (R^2 - l^2)^{1/2} \right] + \frac{0.10V}{R^{1/2}} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

Sa: Valor del sobreebancho, en metros.

n : Número de carriles de la superficie de rodamiento.

l : Longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, en metros.

R: Radio de curvatura, en metros.

V: Velocidad de diseño de la carretera, en kilómetros por hora.

En la selección del sobreebancho en curvas circulares simples se toma en consideración lo siguiente:

- Sobreebanchos menores que 0.60 metros, no son necesarios en las curvas¹⁰.
- Los sobreebanchos calculados que se muestran en la tabla 12 son para carreteras de dos carriles.
- En carreteras de tres carriles, los sobreebanchos mostrados en la tabla 12 deben afectarse por un factor de 1.5 y en carreteras de cuatro carriles multiplicar las cifras de esta tabla por 2.

¹⁰ Estudios realizados por la AASHTO concluyen que un sobreebancho menor o igual que 0.60 metros no mejora significativamente la sensación de seguridad de los conductores, optándose por ampliar los acotamientos, evitando el incremento innecesario de costos de pavimentación del camino.

- La longitud l de la ecuación 7 es igual a 8 metros, considerando un autobús como vehículo de diseño.
- Los sobreamchos calculados por la ecuación 7, son valores mayores que los de las tablas de la AASHTO, mostrados en la tabla 12, por lo que deben tomarse como provistos de un margen de seguridad.
- Los datos de la tabla 12 deben incrementarse desde 0.2 m para radios de 250 metros a 400 metros hasta 0.6 m para radios menores que 80 metros, cuando el tránsito incluya vehículos tipo WB-19.

La figura 9 ilustra la transición simple del peralte y el sobreamcho en una curva circular, en tanto que la figura 10 muestra la forma de proyectar la transición del peralte y el sobreamcho cuando existe una longitud de transición en espiral, L_e .

TABLA 12: SOBREALCHO EN CURVAS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES.

ANCHO DE CALZADA	7.2 metros							6.6 metros							6.0 metros							
RADIO DE CURVA (m)	Velocidad de diseño Km/h							Velocidad de diseño Km/h							Velocidad de diseño Km/h							
	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110	
1500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
1000	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
750	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	
500	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	
400	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5		0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1			
300	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5			0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1						
250	0.4	0.5	0.5	0.6				0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2							
200	0.6	0.7	0.8					0.9	1.0	1.1				1.2	1.3	1.3	1.4					
150	0.7	0.8						1.0	1.1				1.3	1.4								
140	0.7	0.8						1.0	1.1				1.3	1.4								
130	0.7	0.8						1.0	1.1				1.3	1.4								
120	0.7	0.8						1.0	1.1				1.3	1.4								
110	0.7	0.8						1.0					1.3									
100	0.8							1.1					1.4									
90	0.8							1.1					1.4									
80	1.0							1.3					1.6									
70	1.1							1.4					1.7									

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, pág. 217.

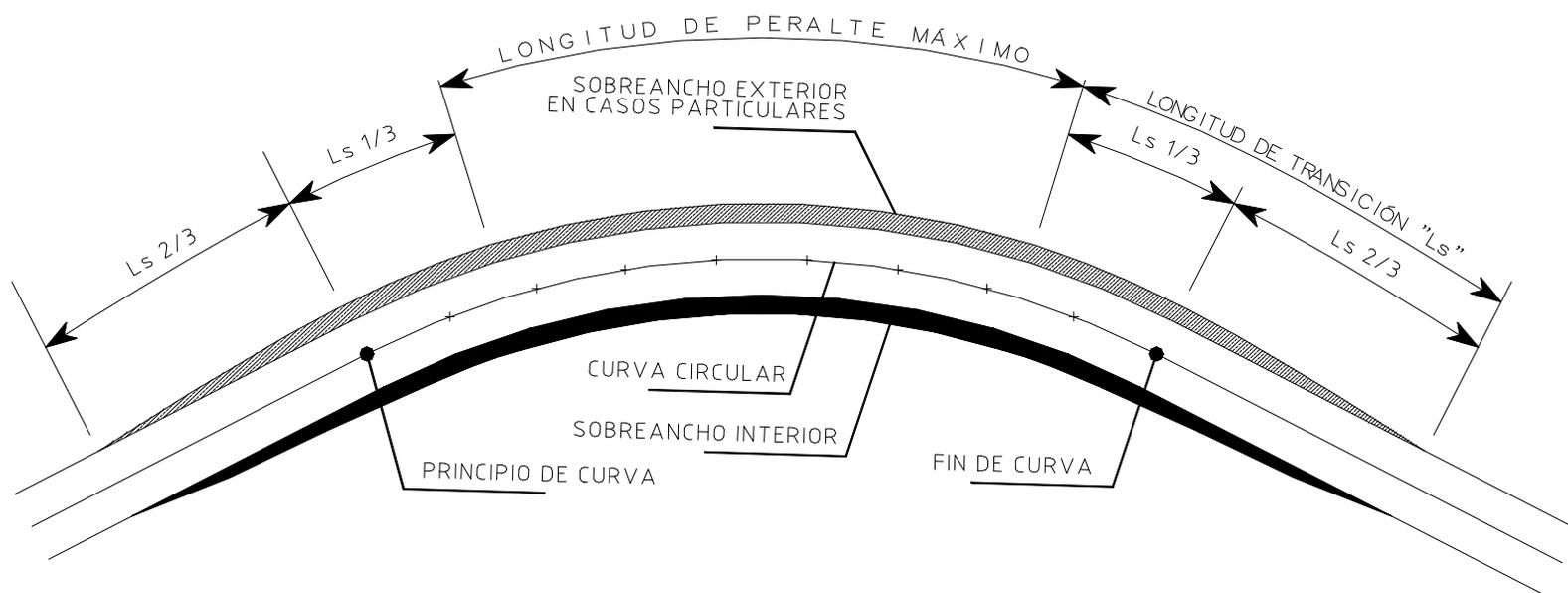


FIGURA 9: TRANSICIÓN SIMPLE DE PERALTE Y SOBREANCHO.

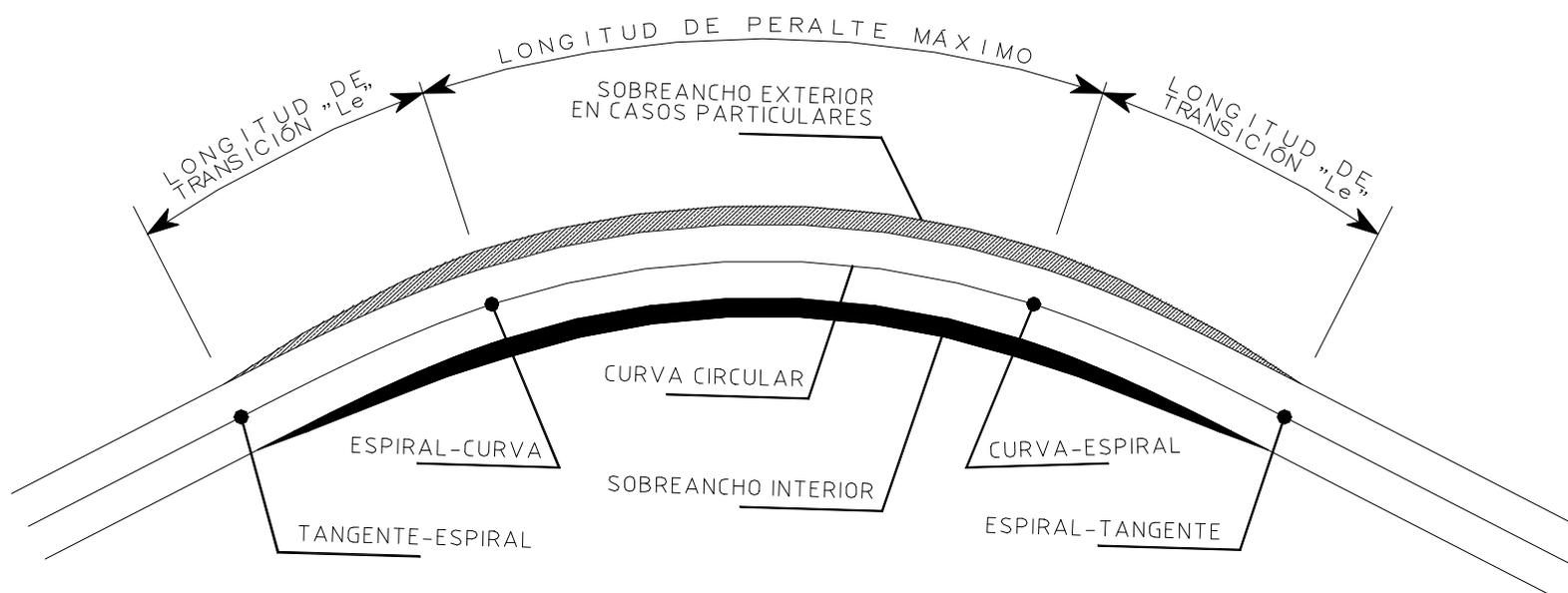


FIGURA 10: TRANSICIÓN ESPIRAL DE PERALTE Y SOBREANCHO.

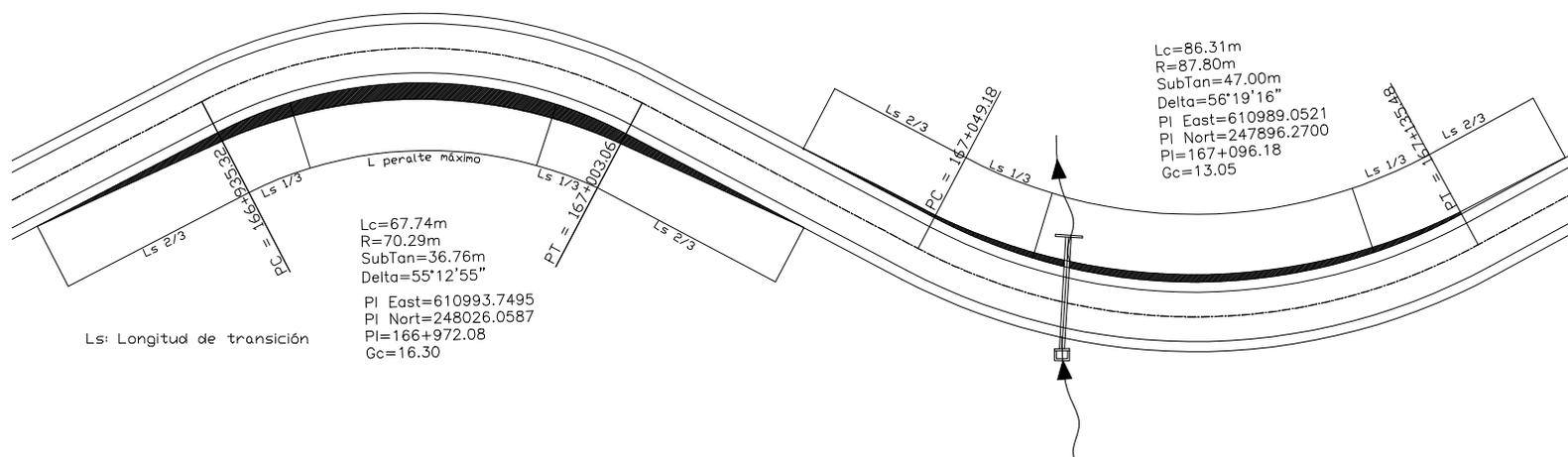


FIGURA 11: TRANSICIÓN SIMPLE DE PERALTE SOBRE EL LADO INTERNO DE LA CURVA Y SOBRECANCHO.

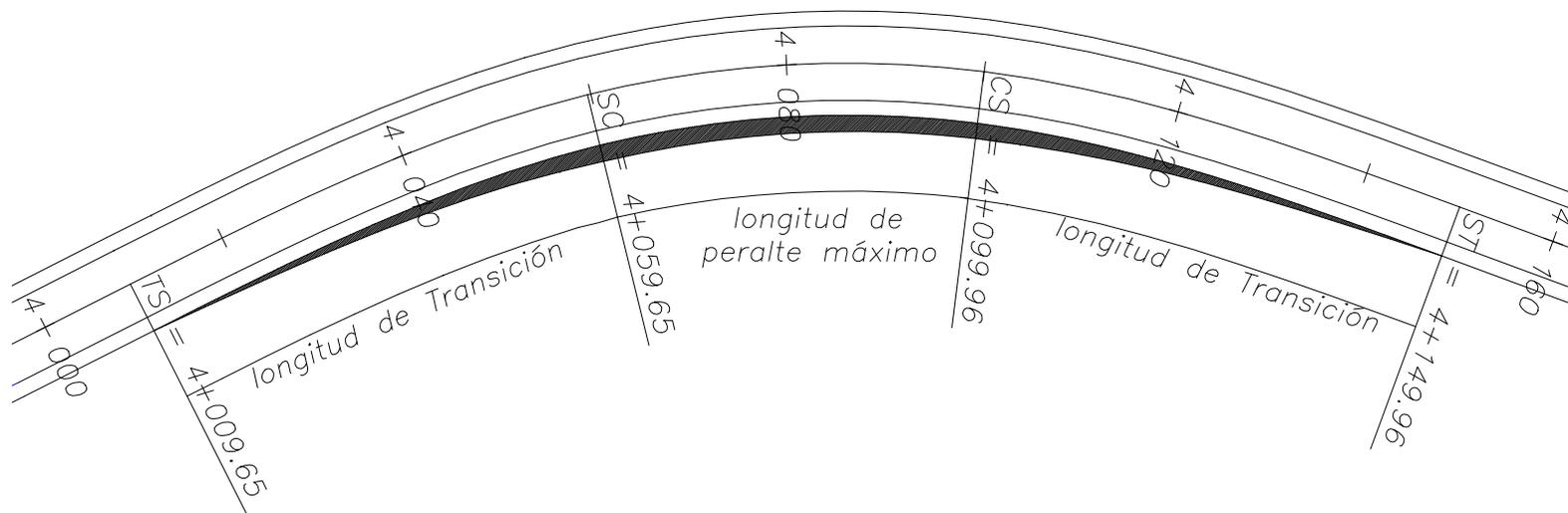


FIGURA 12: DETALLE DE TRANSICIÓN ESPIRAL DE PERALTE Y SOBRECANCHO.

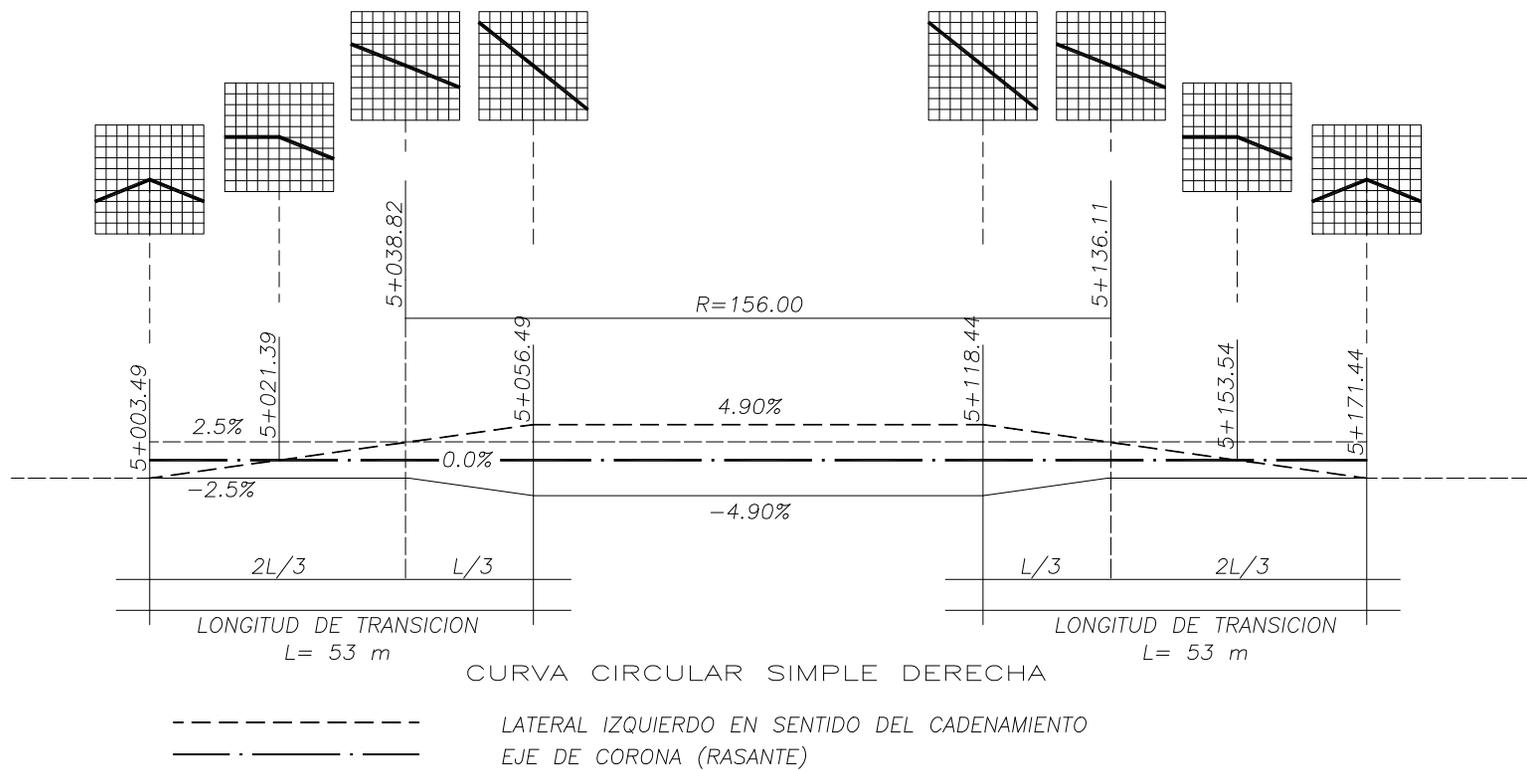


FIGURA 13: TRANSICIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DESDE EL BOMBEO TÍPICO EN TANGENTE HASTA EL GIRO MÁXIMO DE LA SECCIÓN DENTRO DE LA CURVA.

2.2.8 DISTANCIA DE VISIBILIDAD EN CURVAS HORIZONTALES

Las obstrucciones a la visibilidad, localizadas en el interior de las curvas horizontales, tales como edificaciones, muros, árboles o bosques, barreras longitudinales, taludes en cortes y otros similares, deben ser tomados en cuenta para aplicarles el tratamiento de despeje que acompaña a un buen diseño. Para funcionamiento seguro, los controles que se utilizan para un diseño apropiado son la distancia de visibilidad y la velocidad de diseño, los cuales se estudian y se revisan bien para conciliarlos con las condiciones del sitio, y los criterios de funcionamiento, estando la vía en operación, ya sea para recomendar cambios de alineamientos o remoción de obstrucciones, según la solución que califique de ser más factible. La línea de vista, es la cuerda larga de la curva, y la distancia de visibilidad de parada¹¹ se mide a lo largo de la línea central del carril interior de la referida curva. Se requiere, que la ordenada media desde el centro de la curva hasta la obstrucción, no obstaculice la visibilidad de parada requerida en sus valores alto y bajo, para satisfacer las necesidades del conductor.

¹¹ Se llama “distancia de visibilidad de parada” a la longitud en la cual un vehículo, circulando a la máxima velocidad posible, puede detener su marcha desde el momento en que aparece una situación de peligro.

Existen varias expresiones matemáticas para calcular la distancia de visibilidad necesaria para disponer de una visión segura a lo largo de curvas horizontales. Una de ellas es la siguiente:

$$\left(\frac{S}{2}\right)^2 = (2R - d)d \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

R: Radio de curva, en metros.

d: Distancia entre la línea central del carril interior de la curva y la obstrucción limitante de visibilidad, en metros (ordenada media).

S: Distancia de visibilidad de parada medida a lo largo de la curva, en metros.

Debido a que d es de muy pequeña magnitud en comparación con el radio de curvatura, la distancia de visibilidad S se transforma en $(8Rd)^{1/2}$ (Ecuación 9). Esta expresión se utiliza cuando S es menor que la longitud de curva, pero cuando S es mayor, se aplica la siguiente expresión:

$$d = \frac{(2S - L)}{8R} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde:

L: Longitud de curva, en metros.

R: Radio de curva, en metros.

d: Distancia entre la línea central del carril interior de la curva y la obstrucción limitante de visibilidad, en metros (ordenada media¹²).

S: Distancia de visibilidad de parada medida a lo largo de la curva, en metros.

Para realizar cálculos de estos elementos de diseño, la AASHTO recomienda la siguiente ecuación más práctica, cuyos componentes tienen los mismos significados que los mencionados en la ecuación 9, es de muy simple aplicación.

$$d = R \left[1 - \cos 28.65 \frac{S}{R} \right] \quad \text{(Ecuación 11)}$$

2.2.9 CRITERIOS APLICABLES AL DISEÑO DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL PARA EL BALANCE ENTRE CURVAS Y TANGENTES

En la práctica del diseño geométrico, se utilizan algunos criterios, para el mejoramiento del diseño horizontal, que normalmente no están sujetos a fórmulas matemáticas o siquiera a derivaciones empíricas, pero de cuya aplicación se han logrado muy buenos resultados. En general, se reconoce que

¹² La visibilidad sobre una curva horizontal, en óptimas condiciones (obstrucción nula) esta dada por la franja visual definida entre la cuerda larga (CL), que va desde el PC al PT de la curva, y el arco de círculo de la curva, siendo la ordenada media o "M" el máximo valor de la separación entre ellas, como se aprecia en la figura 5.

un exceso de curvatura o una pobre combinación de curvaturas limitan la capacidad de una carretera, causa pérdidas económicas por el incremento en los tiempos de viaje y los costos de operación y, sobre todo, desmejora sensiblemente la apariencia y funcionalidad del diseño seleccionado. En estas condiciones, un trazo directo entre los puntos de referencia obligada es lo deseable, tomando en cuenta los siguientes criterios:

1. Procurar que el alineamiento horizontal sea tan directo como lo permita la topografía, el uso del suelo y los valores de las comunidades servidas por la carretera. Un trazado que se acomoda al terreno natural es preferible a otro que con largas tangentes acorta las distancias y mejora las visibilidades, pero eleva excesivamente el movimiento de tierras con profundos cortes y elevados terraplenes. Los efectos de la construcción de una carretera se minimizan, preservando las pendientes naturales y respetando el crecimiento existente dentro del área de influencia directa del proyecto. Un diseño tal es preferible desde el punto de vista de los costos de construcción y de mantenimiento. Pero, en general, el número de curvas cortas y cerradas debe limitarse a un mínimo (controlar con el grado de tortuosidad).
2. Evitar el uso de curvas con los radios mínimos de diseño, excepto en las condiciones más críticas que plantee el desarrollo del proyecto. El ángulo

central de cada curva debe ser tan reducido y los radios tan amplios como lo permita el terreno. Las curvas cerradas no deben proyectarse al extremo de tangentes de gran longitud, evitándose cambios abruptos de secciones con amplias y bien desarrolladas curvas y tangentes, seguidas por curvas de radios mínimos o cercanos al mínimo, que reducen la configuración balaceada conseguida en la adecuación del buen diseño (cambios bruscos de velocidad para el conductor), diseño consistente.

Como regla de aplicación práctica, las curvas deben tener por lo menos 150 metros de largo cuando el ángulo de deflexión sea de 5 grados, incrementándose en 30 metros por cada fracción de un grado en el ángulo central. La longitud mínima de las curvas horizontales en las carreteras principales debe ser tres veces la velocidad de diseño, elevándose a seis veces esta relación en las carreteras de alta velocidad con accesos controlados.

Para curvas circulares compuestas, deben extremarse los cuidados en su elección. Aunque el uso de curvas compuestas puede facilitar el diseño de una carretera para ajustarla a las condiciones del terreno, esta práctica conduce frecuentemente a su utilización en forma irrestricta por algunos diseñadores que proponen esta clase de curvas sin un fundamento o análisis geométrico, más bien, la utilizan como una forma de solucionar errores eventuales del trazado ya

que las espirales son más adaptables para estos casos que las curvas circulares simples.

El uso de curvas compuestas con grandes diferencias en los radios, produce casi el mismo efecto que la combinación de una curva cerrada con tangentes de gran longitud. Cuando la topografía o el derecho de vía hagan necesario su utilización, el radio de la curva circular mayor no debe exceder el 50 por ciento de la curva de menor radio. El manual mexicano de la SOP (1974) propone que en las intersecciones se utilicen curvas compuestas, siempre que la relación entre dos radios consecutivos no sobrepase la cifra de 2.0 y se resuelva satisfactoriamente la transición de la sobreelevación. Siempre que sea posible, una curva cerrada debe ser combinada con curvas espirales de transición, como la clotoide (figura 8).

En tramos de carreteras de un solo sentido, como las rampas de derivadores o retornos, la diferencia en los radios de las curvas compuestas no es tan importante, sobre todo, cuando a la curva cerrada le sigue una curva de gran radio para facilitar la transición a la entrada o la salida.

A menos que las condiciones topográficas lo impongan, debe evitarse el uso de curvas del mismo sentido con una tangente corta entre ellas. Fuera de su desagradable apariencia, los conductores no esperan que se presenten curvas

cortas y sucesivas en el mismo sentido. En estas condiciones, es preferible la introducción de una curva compuesta directa o la introducción de curvas de transición espiral. Las normas francesas¹³ permiten el diseño de curvas horizontales del mismo sentido, si entre ambas media una distancia en tangente igual a la distancia recorrida durante cinco segundos a la velocidad máxima permitida por la curva de radio mayor. En todo caso, el alineamiento horizontal debe ser coordinado de manera cuidadosa con el diseño del perfil longitudinal de la carretera en estudio.

2.3 ALINEAMIENTO VERTICAL

GENERALIDADES

En el caso de carreteras y vías férreas, el alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo de una rasante o de una subrasante. El alineamiento vertical de un camino lo establecen los ingenieros del proyecto basándose en las pendientes permitidas, tratando de adaptarla, lo más que se pueda al perfil natural del terreno. Cuando hay necesidad de cambiar de una pendiente a otra, porque el terreno lo exija, se usan curvas parabólicas en la continuidad del alineamiento. Así, el alineamiento vertical de

¹³ Ver Direction des Routes et de la Circulation Routiere, "*Instruction sur les Conditions Techniques d'Amenagement des Routes Nationales*", Francia, 1998.

un camino está constituido por tangentes verticales (o simplemente tangentes) y curvas parabólicas verticales. Las tangentes, se caracterizan por su longitud horizontal y su pendiente, y están limitadas por dos curvas verticales sucesivas. La longitud de una tangente está definida por la distancia horizontal entre el fin de la curva vertical anterior y el principio de la siguiente y su pendiente está determinada por la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma. Las pendientes de las tangentes del alineamiento vertical pueden diseñarse para un valor máximo que está en función del volumen y la composición del tránsito de vehículos previstos y la configuración del terreno (tabla 2), y para un valor mínimo que se fija para permitir el drenaje (0.5% en caminos pavimentados). Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina PIV o PVI (Point of Vertical Intersection), y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa por A' .

2.3.1 TIPOS DE TERRENOS

El alineamiento vertical de una carretera, está ligado estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas previstas a criterio del diseñador aplicando normas y especificaciones, en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes con un signo positivo (+), y las bajadas con

signo negativo (-), expresadas usualmente en porcentajes. Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía, en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Visibilidad y accidentalidad.
- Composición del tránsito.
- Relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo.

Idealmente, es deseable que los vehículos operen en el cambio más alto en el alineamiento vertical (aprovechando el impulso de la pendiente predecesora), sin necesidad de cambiar la marcha hasta la detención; pero por consideraciones económicas se aceptan pendientes mayores que las ideales.

La tabla 2, contiene una clasificación de las pendientes en los terrenos naturales donde se localizan las carreteras. La AASHTO identifica las tres categorías generales de terreno del cuadro anterior, en la forma que se describe seguidamente:

Terreno plano, en el cual se dan condiciones topográficas favorables para los levantamientos de campo, el diseño horizontal y vertical, la construcción y

reconstrucción de las obras viales, facilitándose el mantenimiento y la seguridad, comodidad y económica operación de los vehículos. Las distancias de visibilidad en el alineamiento horizontal y vertical pueden lograrse sin mayores dificultades debido al amplio margen visual que se puede tener para este tipo de terreno.

Terreno ondulado, presenta frecuentes pendientes de subida y bajada y, ocasionalmente, ofrece algunas dificultades y restricciones en el alineamiento horizontal y vertical de las carreteras.

Terreno montañoso, ofrece dificultades y altos costos en la construcción por la frecuencia de cortes y rellenos, que se requieren para lograr alineamientos horizontales y verticales aceptables. Las pendientes longitudinales y transversales (sobreelevación de los tramos en curva) son frecuentes en este tipo de terreno debido a la sinuosidad característica de estas carreteras.

2.3.2 PENDIENTE GOBERNADORA

Es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado, en función de las características del tránsito y la configuración del terreno; la mejor pendiente gobernadora para cada tramo, será aquella que al conjugar esos conceptos, permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación. Sirve de norma reguladora a la serie de pendientes que se deban proyectar para ajustarse en lo posible al terreno.

2.3.3 CURVAS VERTICALES

En términos generales, existen curvas verticales simétricas y asimétricas que pueden ser en cresta o convexas y en columpio o cóncavas. Las curvas verticales en cresta (figura 14) se diseñan con la mayor distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las curvas verticales en columpio se diseñan conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faroles del vehículo de diseño. Las curvas verticales contribuyen a la confortabilidad en su operación y facilitan el drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas que frecuentemente son utilizadas se detalla en la figura 15.

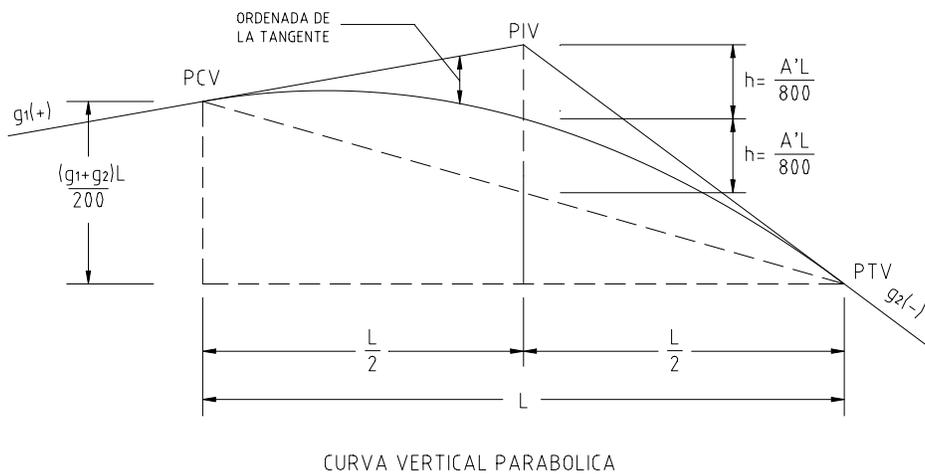


FIGURA 14: ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL PARABÓLICA SIMÉTRICA EN CRESTA.

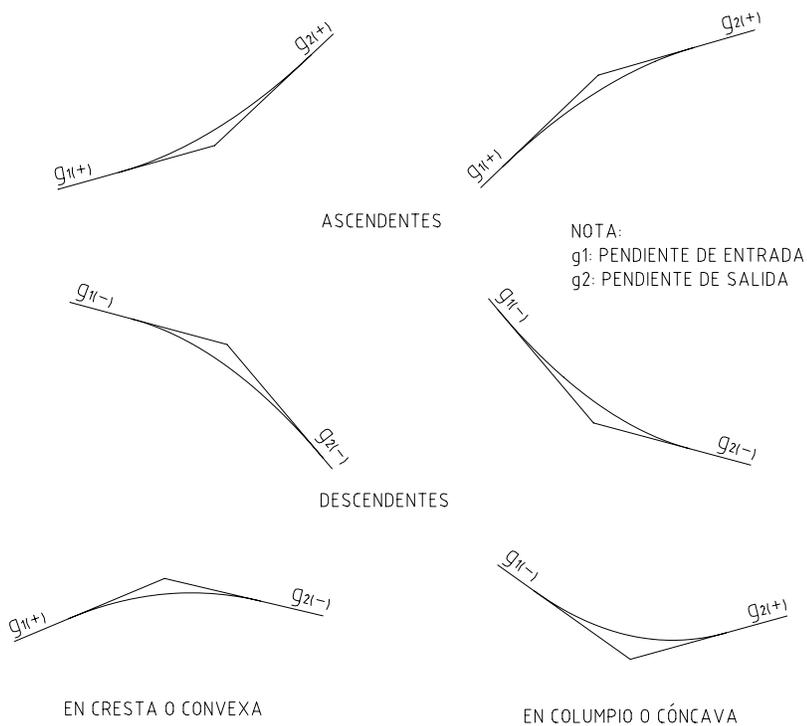


FIGURA 15: TIPOS DE CURVAS VERTICALES.

2.3.3.1 DISEÑO DE CURVAS VERTICALES EN CRESTA

Existen dos condiciones para diseñar este tipo de curvas: la primera considera que la longitud de la curva L es mayor que la distancia de visibilidad S y la segunda se presenta cuando L es menor que S . En el primer caso se aplica la siguiente expresión para calcular la longitud mínima L_{\min} de curva vertical:

$$L_{\min} = \frac{A' S^2}{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

Donde:

A' : Diferencia algebraica de pendientes, en %.

S : Distancia de visibilidad, en metros.

h_1 : Altura del ojo del conductor, en metros

h_2 : Altura del objeto, en metros.

reemplazando en esta ecuación la altura del ojo del conductor $h_1=1.07$ metros y del objeto $h_2= 0.15$ metros, la ecuación para diseño es la siguiente:

$$L_{\min} = \frac{A' S^2}{404} \quad \text{(Ecuación 13)}$$

cuando L es menor que S , la expresión matemática para diseño es la siguiente:

$$L_{\min} = 2S - \frac{404}{A'} \quad (\text{Ecuación 14})$$

estos términos tienen igual significado que los señalados en la ecuación 12.

Las distancias de visibilidad de parada presentadas en la tabla 13, se utilizan en el cálculo de la longitud de curvas en cresta. Se abrevian las operaciones al tomar en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad de diseño dada; entonces, la longitud de la curva L puede ser relacionada con la diferencia algebraica de pendientes por medio de un factor denominado K , que en sí identifica la curva. La longitud de la curva vertical utilizando el factor K es:

$$L_{\min} = KA' \quad (\text{Ecuación 15})$$

Cuando se utiliza la distancia de visibilidad de rebase como criterio de control, para el diseño, las longitudes de las curvas verticales en cresta resultan mayores que las calculadas utilizando las ecuaciones 12, 13 y 14, de ahí, que diseñar para estas longitudes, conduce a una elevación de los costos de construcción; además, que para recomendar estas distancias, debe haber una combinación favorable entre topografía del terreno, seguridad y volúmenes de tránsito, que dé como resultado su plena justificación. Ver figuras 16 y 17 para

los diseños de curvas verticales en cresta en función de las distancias de visibilidad de parada.

De igual manera que el caso donde se utiliza la distancia de visibilidad de parada, existen dos consideraciones a tomar en cuenta cuando se usa la distancia de visibilidad de rebase; la primera se presenta cuando la longitud de curva L es mayor que la distancia de visibilidad S , entonces se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_{\text{mín}} = \frac{A'S^2}{946} \quad (\text{Ecuación 16})$$

La diferencia estriba en que la altura del objeto es de 1.30 metros en vez de 0.15 metros. Cuando la longitud de curva L es menor que la distancia de visibilidad de rebase S ; la expresión que se usa es la que sigue:

$$L_{\text{mín}} = 2S - 946/A' \quad (\text{Ecuación 17})$$

Todos los términos de estas ecuaciones tienen igual significado que los descritos en la ecuación 12. Las distancias mínimas de visibilidad para rebase están presentes en la tabla 14, que en conjunto con las correspondientes a las de visibilidad de parada de la tabla 13, se han utilizado para preparar la tabla 15, que presenta los valores de K para el cálculo de las longitudes de curvas verticales en cresta para diferentes velocidades de diseño.

TABLA 13: DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA Y DE DECISIÓN.

a) En Terreno Plano

Velocidad de Diseño	Velocidad de Marcha	Tiempo de Percepción y Reacción		Coeficiente de Fricción	Distancia de Frenado	Distancia de Parada para
		Tiempo (s)	Distancia (m)			
Km/h	Km/h			f	(m)	(m)
30	30 - 30	2.5	20.8 - 20.8	0.40	8.8 - 8.8	30 - 30
40	40 - 40	2.5	27.8 - 27.8	0.38	16.6 - 16.6	45 - 45
50	47 - 50	2.5	32.6 - 34.7	0.35	24.8 - 28.1	57 - 63
60	55 - 60	2.5	38.2 - 41.7	0.33	36.1 - 42.9	74 - 85
70	67 - 70	2.5	43.8 - 48.6	0.31	50.4 - 62.2	94 - 111
80	70 - 80	2.5	48.6 - 55.6	0.30	64.2 - 83.9	113 - 139
90	77 - 90	2.5	53.5 - 62.4	0.30	77.7 - 106.2	131 - 169
100	85 - 100	2.5	59.0 - 69.4	0.29	98.0 - 135.6	157 - 205
110	91 - 110	2.5	63.2 - 76.4	0.28	116.3 - 170.0	180 - 246

b) En Pendiente de Bajada y Subida

Velocidad De Diseño	Distancia de Parada en Bajadas (m)			Distancia de Parada en Subidas (m)		
	3%	6%	9%	3%	6%	9%
Km/h						
30	30.4	31.2	32.2	29.0	28.5	28.0
40	45.7	47.5	49.5	43.2	42.1	41.2
50	65.5	68.6	72.6	55.5	53.8	52.4
60	88.9	94.2	100.8	71.3	68.7	66.6
70	117.5	125.8	136.3	89.7	85.9	82.8
80	148.8	160.5	175.5	107.1	102.2	98.1
90	180.6	195.4	214.4	124.2	118.8	113.4
100	220.8	240.6	256.9	147.9	140.3	133.9
110	267.0	292.9	327.1	168.4	159.1	151.3

c) Decisión para Evitar Maniobras

Velocidad de Diseño	Distancia de Decisión para Evitar la Maniobra (m)				
	A	b	c	d	e
Km/h					
50	75	160	145	160	200
60	95	205	175	205	235
70	125	250	200	240	275
80	155	300	230	275	315
90	185	360	275	320	360
100	225	415	315	365	405
110	265	455	335	390	435

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, págs. 120-5,-7.

TABLA 14: DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE.

a) Distancias Mínimas de Diseño

Velocidad de Diseño	Velocidades Km/h		Distancia mínima de rebase (m)
	Vehículo que es rebasado	Vehículo que rebasa	
30	29	44	220
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	74	480
80	65	80	540
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	730

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, pág. 134.

b) Parámetros Básicos

Velocidad promedio de rebase (km/h)	50 – 65 56.2	66 – 80 70.0	81 – 95 84.5	96 –110 99.8
Maniobra Inicial Ap= aceleración promedio (km/h/s)	2.25	2.30	2.37	2.41
T I = tiempo (s)	3.6	4.0	4.3	4.5
D1= distancia recorrida (m)	45	65	90	110
Ocupación carril izquierdo: T2 = tiempo (s)	9.3	10.0	10.7	11.3
D2 = distancia recorrida (m)	145	195	250	315
Longitud Libre D3 = distancia recorrida (m)	30	55	75	90
Vehículo que se aproxima: D4 = distancia recorrida (m)	95	130	165	210
Distancia Total: d1 + d2 +d3 +d4,(m)	315	445	580	725

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, pág. 131.

TABLA 15: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS VERTICALES EN CRESTA BASADAS EN LAS DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE PARADA Y DE REBASE.

Velocidad de Diseño Km/h	Velocidad de marcha Km/h	Distancia de parada para diseño (m)	Tasa de curvatura vertical K, long (m) por % de A**	Distancia mínima de rebase para Diseño (m)*	Tasa de curvatura vertical, K, long (m) por % de A**
30	30-30	30-30	3-3	217	50
40	40-40	45-45	5-5	285	90
50	47-50	60-65	9-10	345	130
60	55-60	75-85	14-18	407	180
70	67-70	95-110	22-31	482	250
80	70-80	115-140	32-49	541	310
90	77-90	130-170	43-71	605	390
100	85-100	160-205	62-105	670	480
110	91-110	180-245	80-151	728	570

* Valores redondeados

Fuente: Cap. 4, pág. 4-69, Cuadro 4.21 SIECA.

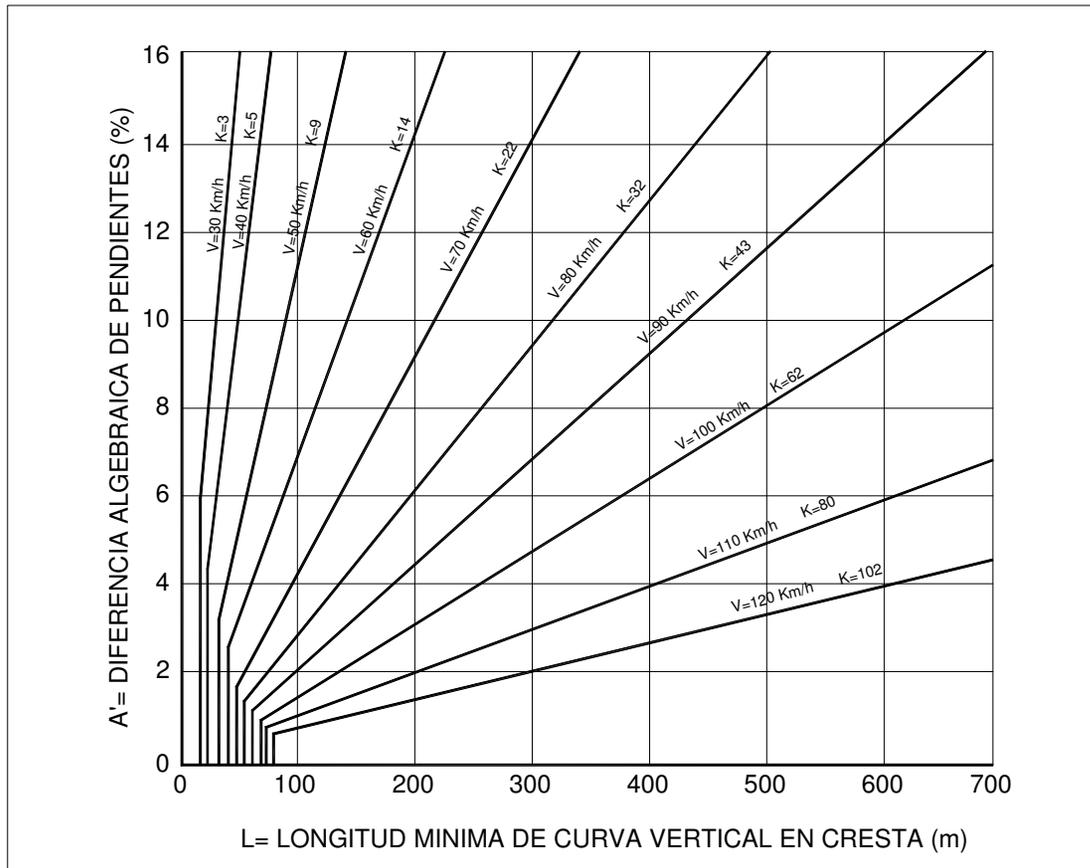


FIGURA 16: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS EN CRESTA PARA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA – RANGO INFERIOR.

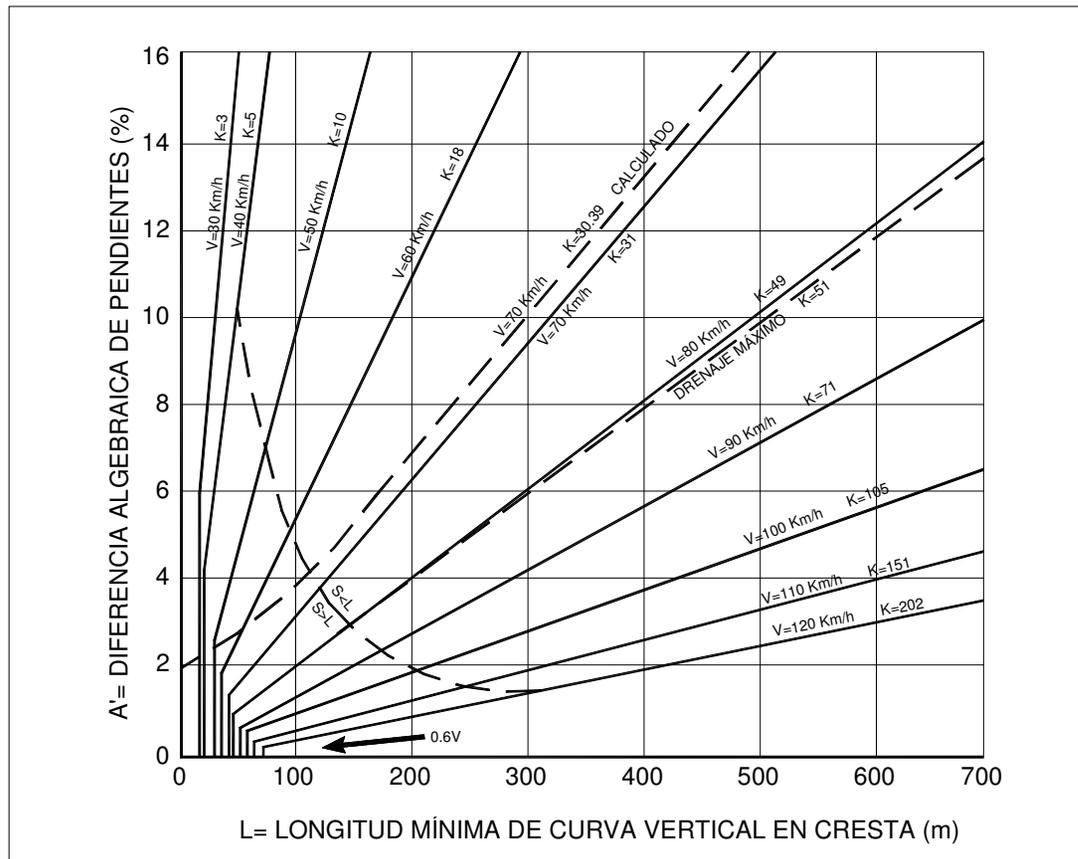


FIGURA 17: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS EN CRESTA PARA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA – RANGO SUPERIOR.

2.3.3.2 DISEÑO DE CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO

Los criterios para el cálculo de las longitudes de curvas en columpio son cuatro como siguen: el primero se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo; el segundo toma en cuenta la sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical (cresta a columpio y viceversa); el tercero considera requerimientos de drenaje; el cuarto se basa en consideraciones estéticas.

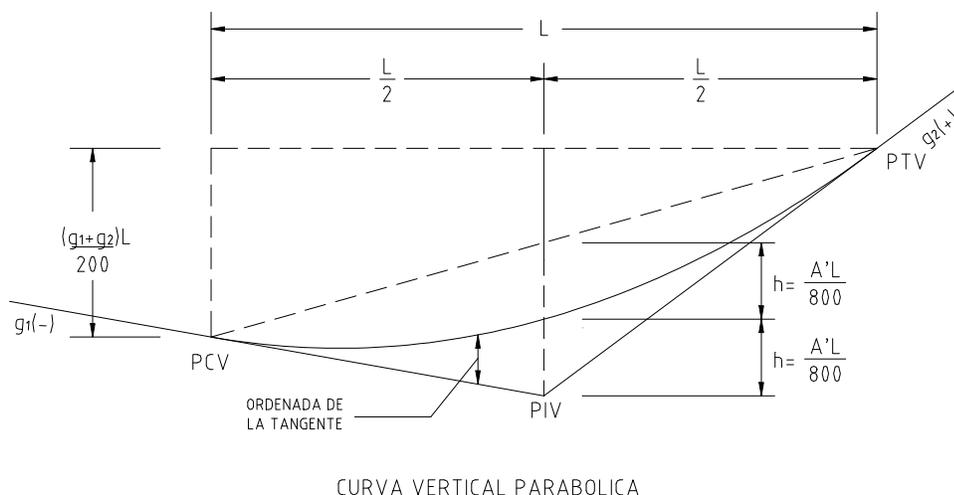


FIGURA 18: ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL PARABÓLICA SIMÉTRICA EN COLUMPIO.

Se presentan dos casos a considerar en el primer criterio, dependiendo si la distancia iluminada por los faros del vehículo es mayor o no que la longitud de la curva. Cuando la longitud de curva, L , es mayor que la distancia de visibilidad iluminada, S , se utiliza la ecuación siguiente:

$$L_{\text{mín}} = \frac{A' S^2}{120 + 3.5S} \quad \text{(Ecuación 18)}$$

Donde:

L : Longitud mínima de curva vertical en columpio, en metros.

S : Distancia de visibilidad iluminada por los faroles del vehículo, en metros.

A': Diferencia algebraica entre pendientes de las tangentes que contienen a la curva vertical, en %.

cuando L es menor que S la fórmula utilizada es la siguiente:

$$L_{\text{mín}} = 2S - \frac{120 + 3.5S}{A'} \quad \text{(Ecuación 19)}$$

estos términos tienen igual significado que los descritos en la ecuación 18.

Se considera que la altura de los faroles es de 0.6 metros y un ángulo de 1° de divergencia de los rayos de luz. En el desarrollo de las ecuaciones 18 y 19 de este criterio y para su aplicación en diseño, se recomienda utilizar los rangos de distancias de visibilidad de parada, que sean aproximadamente iguales a la distancia iluminada por los faroles de los vehículos cuando viajan a la velocidad de diseño establecida para cada proyecto.

El segundo criterio basado en el confort en la circulación tiene su fundamento en que los ocupantes de un vehículo que circula sobre una curva vertical están sujetos a una aceleración centrífuga que es función de la velocidad del vehículo y de la curvatura de dicha curva. La disminución del confort que provoca tal aceleración es de muy difícil evaluación ya que son numerosas las variables que intervienen en su generación (suspensión del vehículo y de los asientos, flexibilidad de los neumáticos, peso transportado, etc.). Estudios experimentales realizados por diversos investigadores¹⁴ permiten estimar que aceleraciones del orden de 0.30 m/s^2 no afectan la comodidad de circulación.

Tomando como límite este valor de 0.30 m/s^2 puede expresarse la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{V}{3.6} \right)^2 = 0.30p \quad \text{(Ecuación 20)}$$

Siendo:

V : velocidad del vehículo, en km/h.

p : parámetro de la parábola (radio del círculo osculador¹⁵), en metros.

¹⁴ Curso Teórico de Especialización, "Diseño Planimétrico", Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, pág. 56. SIECA, pág. 4-43.

¹⁵ Osculador, -tríz: dícese del plano y de ciertas curvas o superficies que en uno de sus puntos presenta un contacto de orden elevado con otra superficie.

$$p = \frac{100L}{A'} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Siendo:

A' : diferencia algebraica entre pendientes de las tangentes que contienen a la curva vertical, en %.

Sustituyendo p de la ecuación 21 en la ecuación 20 se obtiene:

$$L_{\min} = \frac{A' V^2}{390} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Las longitudes de curvas calculadas utilizando este criterio equivalen al 50% de las longitudes obtenidas con el primer criterio.

El tercer criterio persigue la satisfacción de las necesidades del drenaje en las curvas en columpio. Un criterio recomendado para el diseño consiste en dotar una pendiente de 0.3 por ciento dentro de los 15 metros del punto a nivel del terreno, sus resultados son muy similares a los obtenidos de la fórmula $L = KA'$ (ecuación 15), cuando $K = 51$ y la velocidad de diseño es de 100 kilómetros por hora (tabla 16). Hay que aclarar, que las longitudes calculadas para efecto de drenaje son máximas hasta 100 kilómetros por hora y no mínimas, como en los demás criterios de diseño de curvas verticales. Después de 100 Km/h hasta 120 Kilómetros por hora, las longitudes son mínimas, al igual que los otros criterios.

Cuando se trata de tomar en cuenta aspectos de estética en estas curvas, existe la fórmula empírica $L_{\min} = 30A'$ (Ecuación 23), siendo L_{\min} la longitud mínima y A' la diferencia algebraica de pendientes. Los resultados obtenidos son similares a los que corresponden al criterio de la distancia iluminada por los faroles de vehículos para velocidades de 70 Km/h a 80 Km/h.

En atención a la diferencia de longitudes de curva que se obtienen aplicando los criterios mencionados, se recomienda diseñar curvas verticales en columpio utilizando el primer criterio descrito, dando especial consideración al drenaje cuando K es mayor que 51.

Como se ha indicado en la descripción del primer criterio, la distancia de visibilidad de parada (tabla 13) es la que controla la recomendación de longitudes mínimas para curvas en columpio, considerando valores menores y mayores de este parámetro. De igual manera en que fueron calculados los valores de diseño de las curvas en cresta, también es conveniente expresar los controles de diseño de las curvas en columpio en términos de K para todos los valores de A' . Con estas bases, se ha preparado la tabla 16 como sigue.

TABLA 16: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO BASADOS EN LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA, DVP.

Velocidad de diseño Km/h	Rango de velocidad de marcha Km/h	Coeficiente de fricción	Valores DVP (m)		Factor K de diseño *
			Menores	Mayores	
30	30-30	0.40	30	30	4-4
40	40-40	0.38	45	45	8-8
50	47-50	0.35	60	65	11-12
60	55-60	0.33	75	85	15-18
70	63-70	0.31	95	110	20-25
80	70-80	0.30	115	140	25-32
90	77-90	0.30	130	170	30-40
100	85-100	0.29	160	205	37-51
110	91-110	0.28	180	245	43-62

* Cifras redondeadas.

Fuente: Cap. 4 Cuadro 4.22, pág. 4-74 SIECA

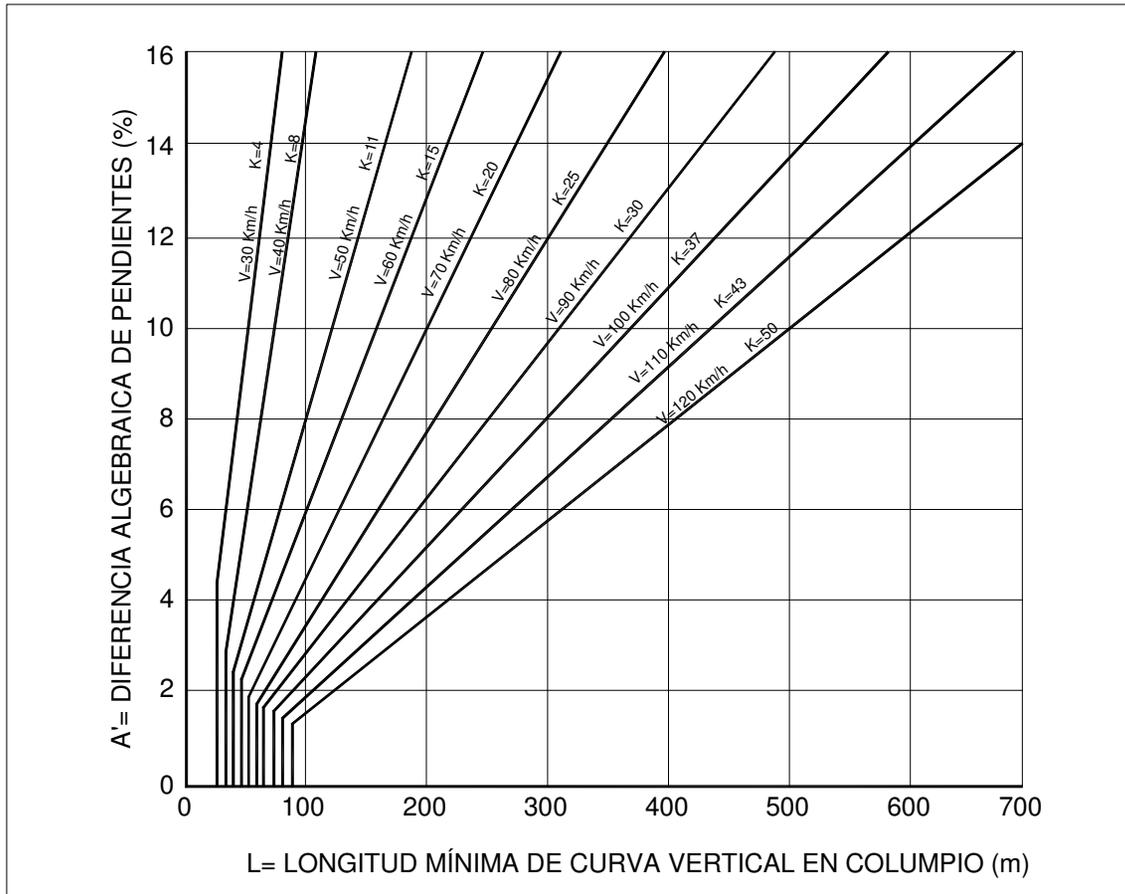


FIGURA 19: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS EN COLUMPIO – RANGO INFERIOR.

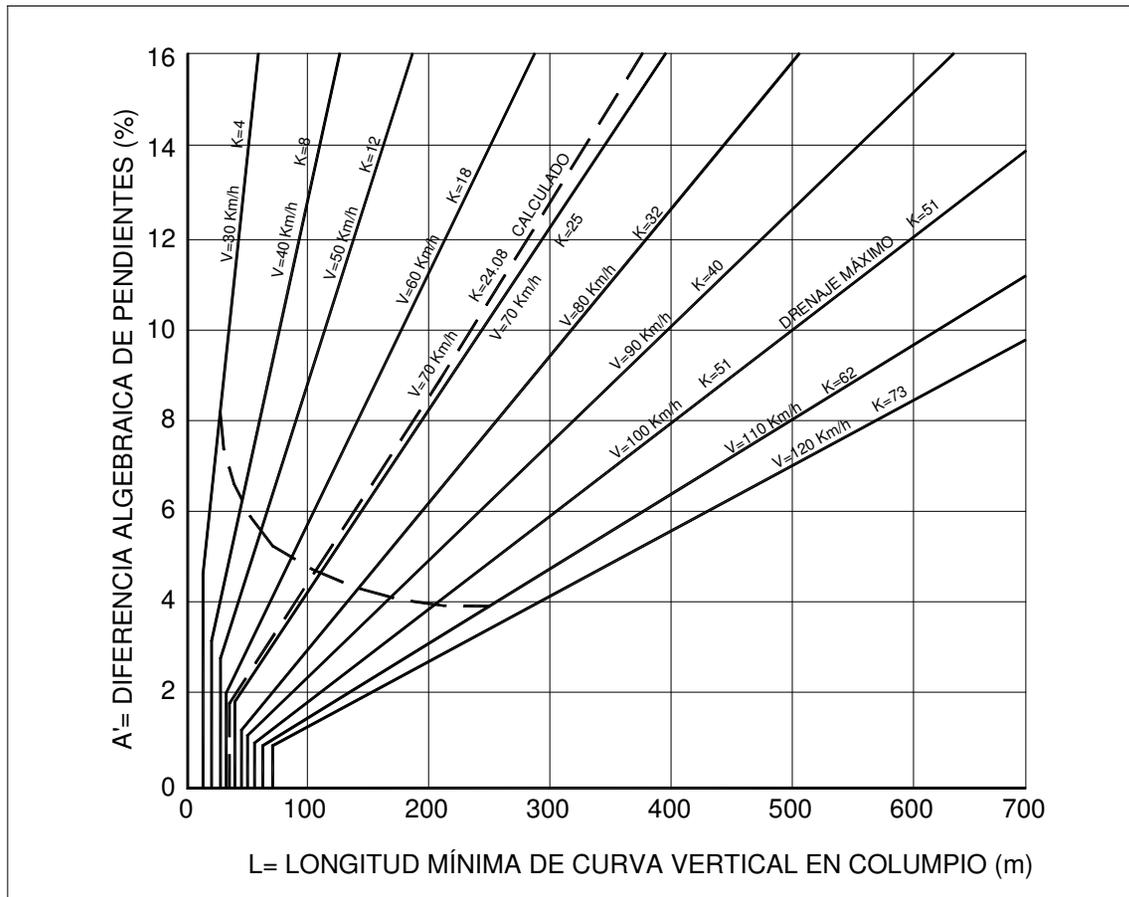


FIGURA 20: CONTROLES DE DISEÑO DE CURVAS EN COLUMPIO – RANGO SUPERIOR.

2.3.3.3 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL ALINEAMIENTO VERTICAL

La AASHTO recomienda los siguientes criterios para el diseño del alineamiento vertical:

- Evitar curvas verticales en columpio en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.
- En pendientes de gran longitud, es conveniente colocar las pendientes mayores al pie de la pendiente y aliviarlas hacia el final o, alternativamente, intercalar pendientes suaves en cortas distancias para facilitar el ascenso.
- En tangente, evitar, particularmente, curvas verticales en columpio donde la visión de la carretera pueda ser desagradable al usuario.
- Los alineamientos ondulados, que involucran longitudes sustanciales con pendientes que generan momentum, son indeseables en el caso de vehículos pesados, ya que incrementan excesivamente su velocidad, sobre todo, cuando una pendiente positiva adelante no contribuye a la moderación de tal velocidad.

- Hay que evitar el “efecto de montaña rusa”, que ocurre en alineamientos relativamente rectos, donde el perfil longitudinal de la rasante se ajusta a las suaves irregularidades de un terreno ligeramente ondulado.

2.3.4 ALINEAMIENTOS HORIZONTAL Y VERTICAL COMBINADOS

Los alineamientos horizontal y vertical no deben diseñarse de forma independiente. La combinación debe realizarse para obtener seguridad, velocidad uniforme, apariencia agradable, y eficiencia en la operación del tráfico. Una buena combinación puede lograrse graficando la ubicación de las curvas horizontales en el perfil de trabajo para visualizar la carretera en sus tres dimensiones. Las gráficas de perspectivas también dan una visión del alineamiento propuesto. Las figuras 21, 22 y 23 muestran los bosquejos de combinaciones de alineamientos horizontal y vertical, deseables y no deseables.

Algunas guías a seguir para la buena combinación de los alineamientos vertical y horizontal son las siguientes:

- Balancear curvatura y pendiente. Utilizar pendientes adecuadas (4% - 6%) para lograr tangentes moderadamente largas y curvas de sensación plana,

o curvatura extendida para tangentes con pendientes pequeñas; estas son combinaciones pobres de diseño.

- La curvatura vertical superimpuesta en la curvatura horizontal generalmente resulta en una configuración más agradable. Cambios sucesivos en el perfil sin considerar la curvatura horizontal puede resultar en una serie de discontinuidades no visibles para el conductor.
- No debe iniciar ni terminarse una curva horizontal en o cerca de la cresta de una curva vertical. Esta condición puede resultar insegura, especialmente durante la noche, si el conductor no reconoce el comienzo o final de la curva horizontal. La seguridad se mejora si la curva horizontal precede a la curva vertical, esto es, la curva horizontal se construye más larga que la curva vertical, en ambas direcciones.
- Para mantener el drenaje, el diseño de las curvas verticales y horizontales debe ser tal que el perfil de la curvatura vertical no quede colocado cerca de una intersección plana en la transición de la superelevación.
- No introducir una curva horizontal cerrada en o cerca de un punto bajo de una curva vertical pronunciada. La visibilidad de lo que sigue es acortada y

cualquier curva horizontal que no sea plana toma una forma indeseable de apariencia distorsionada.

- En carreteras de dos carriles, la necesidad de mantener seguros a los pasajeros, usualmente se impone a la regla general de hacer una combinación deseable de los alineamientos vertical y horizontal. En lo posible, mantener tangentes lo suficientemente largas para asegurar suficiente distancia de visibilidad para sobrepasar.
- En carreteras con separador central, considerar las variaciones en el ancho de la media y utilizar alineamientos independientes para derivar el diseño y ventajas operacionales de la carretera.
- Definir la curvatura horizontal y el perfil lo más plano que se pueda en las intersecciones donde la distancia de visibilidad a lo largo de ambos caminos es importante y los vehículos pueden que tengan que desacelerar o parar.
- En áreas residenciales, diseñar el alineamiento para minimizar las incomodidades a generar en los vecindarios. Generalmente, una configuración más baja hace que la carretera sea menos visible y menos ruidosa para los residentes adyacentes a ella. Ajustes menores en el

alineamiento horizontal pueden hacer, en muchas, ocasiones que el espacio entre las casas y la carretera se incremente.

- Diseñar el alineamiento para mejorar las vistas panorámicas o atractivas de la naturaleza o del ambiente modificado por el hombre, como ríos, formaciones de roca, parques y edificios impresionantes.

- Cuando las curvas verticales y horizontales se encuentran en una combinación armoniosa, graficar los perfiles de las orillas del pavimento para asegurar transiciones suaves.

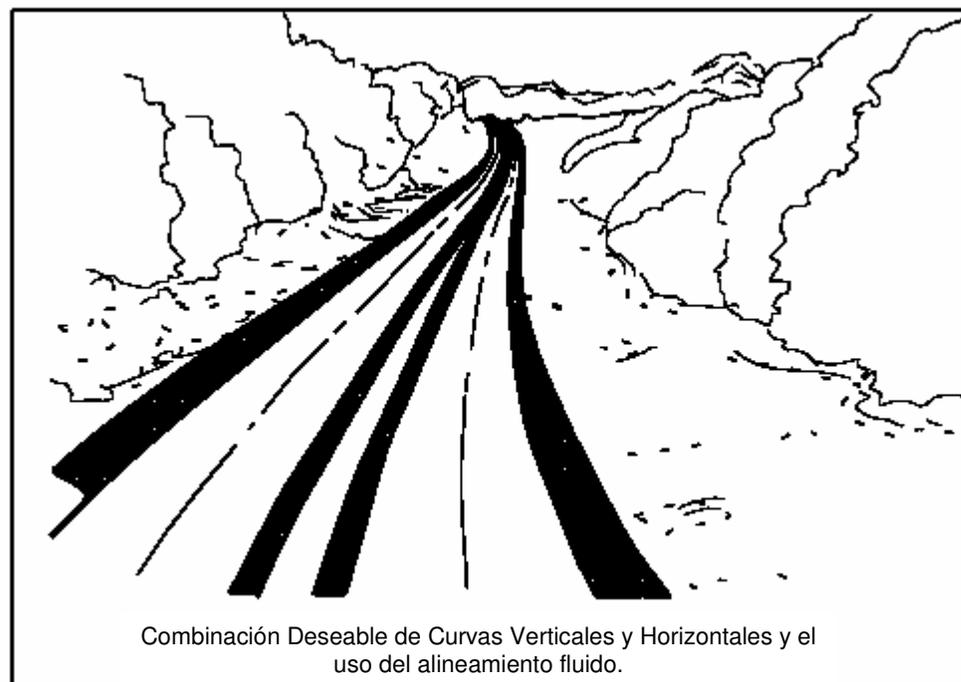
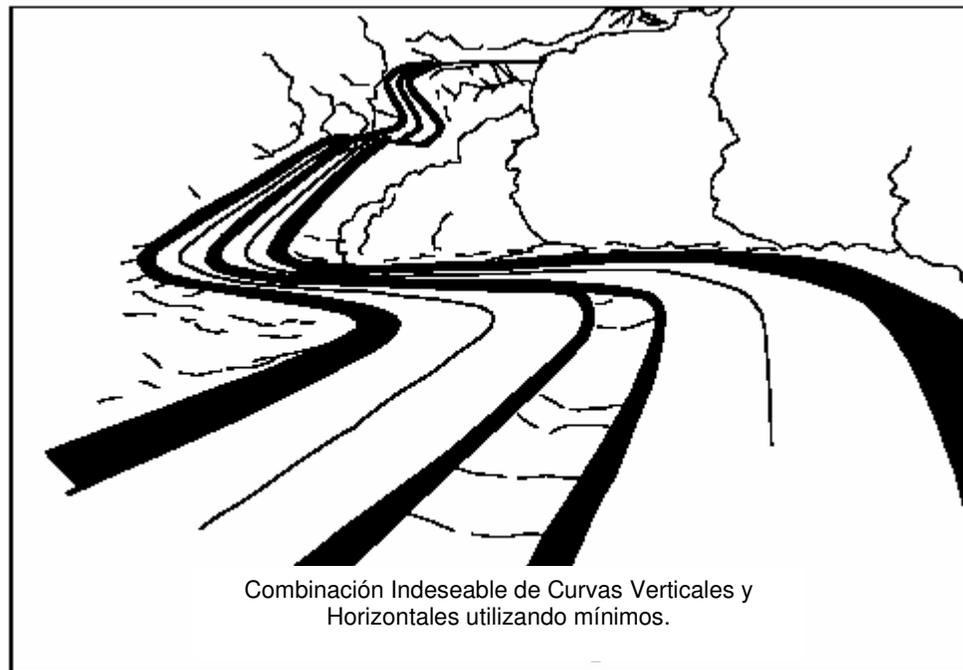


FIGURA 21: COMPARACIÓN DE UN TRAMO DE CARRETERA BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE DISEÑO.

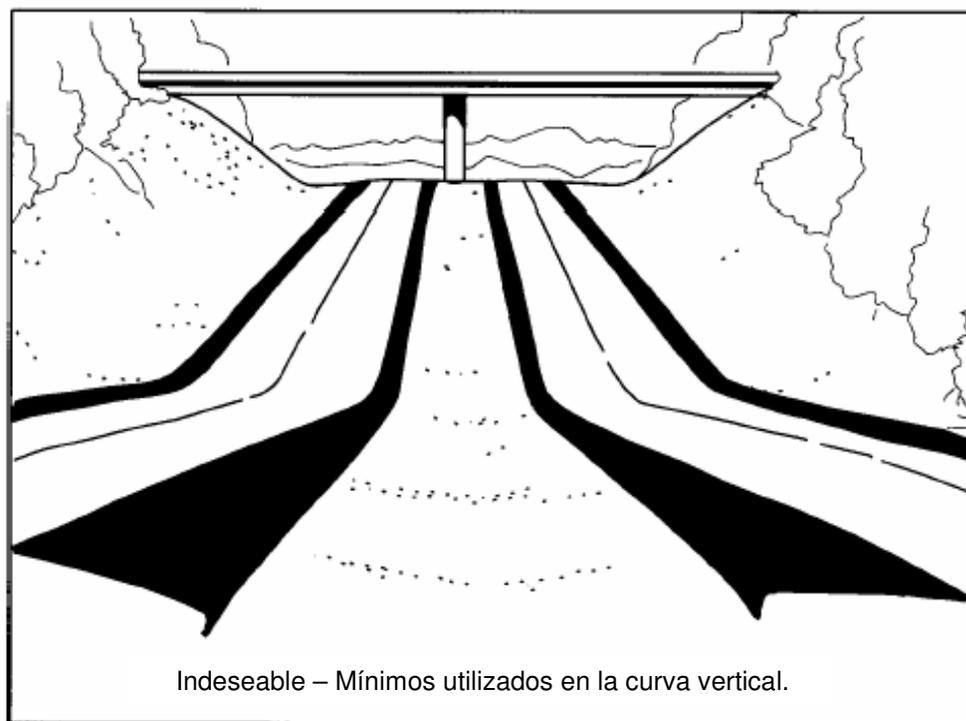
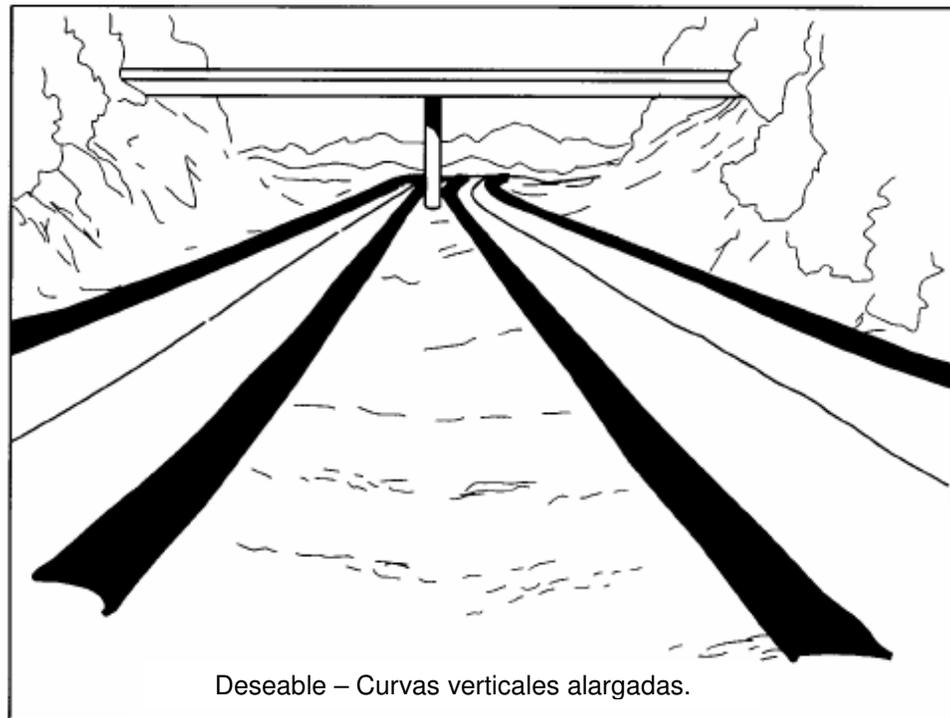


FIGURA 22: COMPARACIÓN DE UN TRAMO DE CARRETERA BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE DISEÑO.

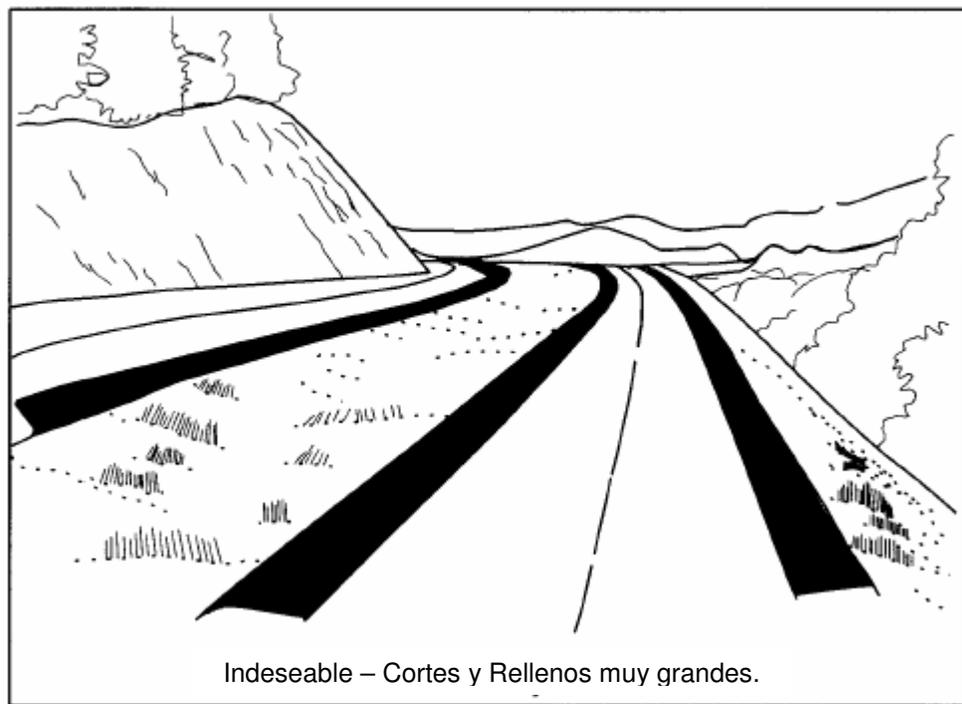
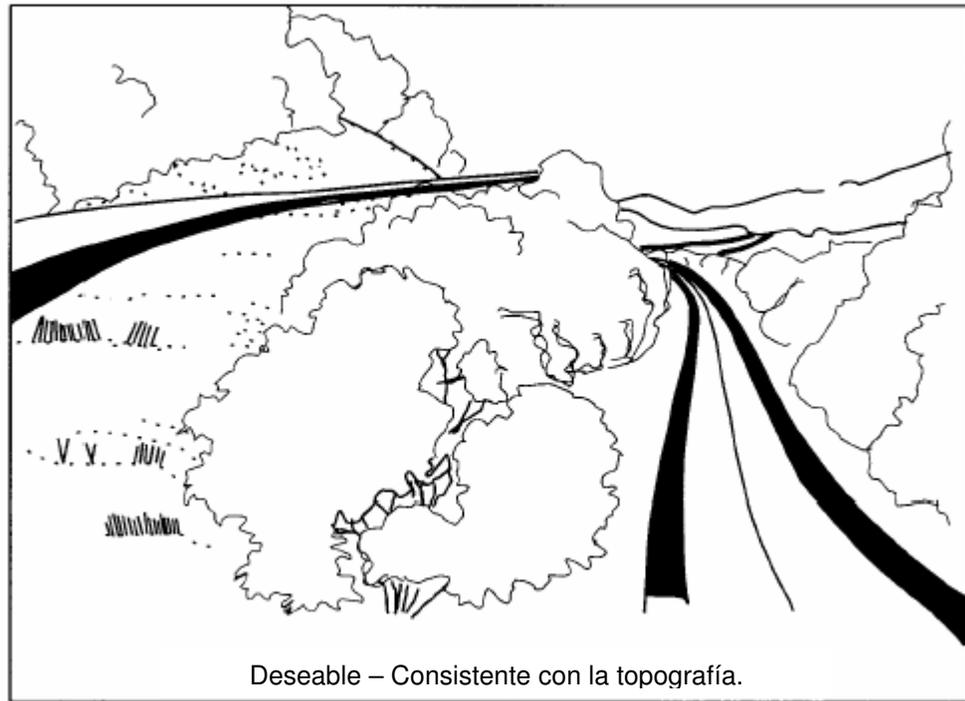


FIGURA 23: COMPARACIÓN DE UN TRAMO DE CARRETERA BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE DISEÑO.

2.4 RASANTE

La rasante es la línea que define la posición que un determinado eje de la obra ha de tener en el espacio, una vez construido. La rasante se encuentra en el mismo plano vertical que contiene la traza y la planta; por tanto, las coordenadas planimétricas son las mismas pero las coordenadas altimétricas varían.

La traza de un proyecto, es el resultado de la intersección de un terreno con los planos verticales determinados por su planta; las coordenadas planimétricas son las mismas que en la planta y las altimétricas también porque la traza está sobre el terreno.

2.5 SECCIÓN TRANSVERSAL

Los elementos de la sección transversal¹⁶ de un camino incluyen la superficie de rodamiento (pavimento), los acotamientos, el bombeo o la pendiente transversal (peralte o sobreelevación), los taludes, y donde son aplicables, las fajas centrales (medianas), barreras, barras de protección y las cunetas. En las zonas urbanas, también pueden estar presentes otros

¹⁶ Ver figura 24, sección típica del tramo de estudio y figura 25 la variación típica de un camino.

elementos tales como paredes de retención, bordes, canalones, zonas de estacionamiento, alumbrado y señalización para la vía de tráfico, las aceras y arriates.

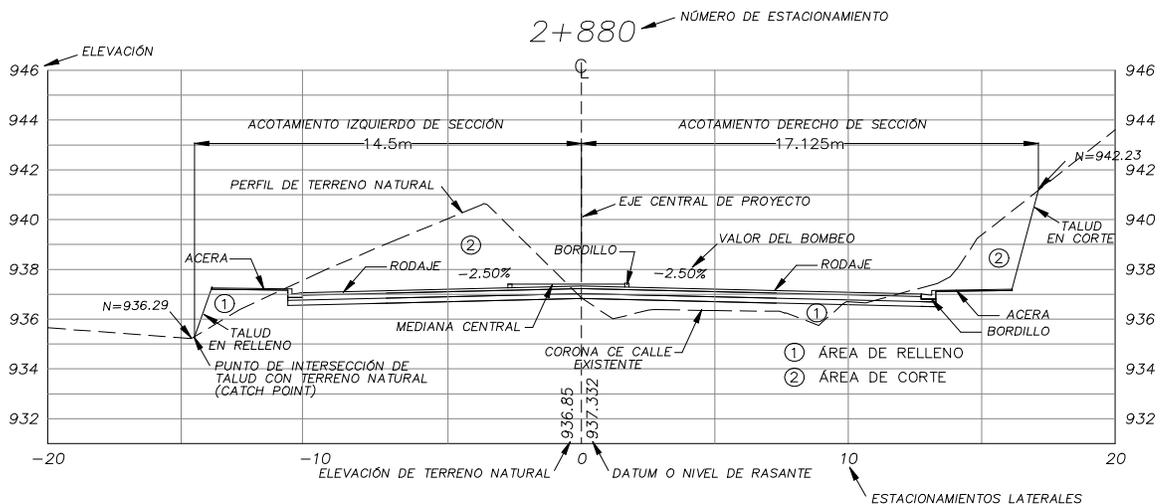


FIGURA 24: DIBUJO DE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA AMPLIACIÓN CALLE A HUIZUCAR.

2.5.1 CORONA

El ancho de la corona de una carretera, o sea la sumatoria de los carriles y los hombros es uno de los elementos más importantes a considerar en relación a la seguridad vial. La posibilidad de incrementar tales elementos en beneficio de la seguridad y la reducción de accidentes, reporta mejores resultados si el esfuerzo se concentra en el mejoramiento de los carriles que en los hombros. De tal forma que en un ancho de corona de 9.0 m, resulta más beneficioso

pensar en que esto corresponde a dos carriles de 3.60 m con hombros de 0.90 metros, que en carriles de 3.30 m con hombros ligeramente más amplios.

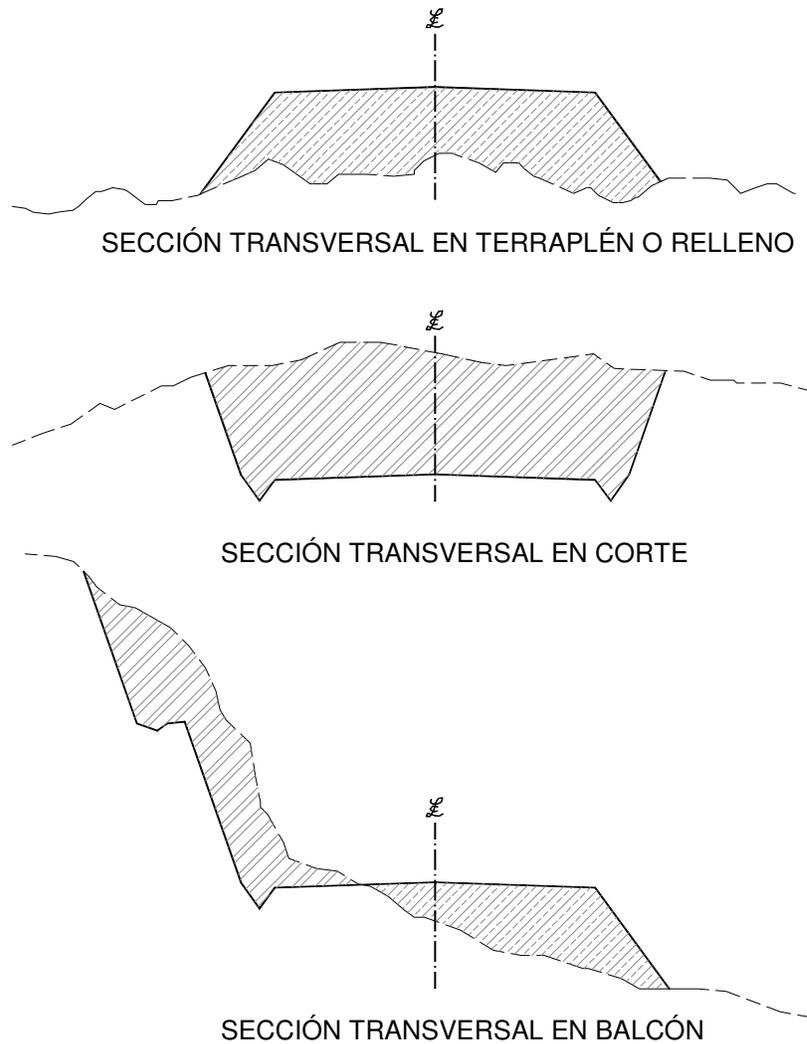


FIGURA 25: ESQUEMA DE SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS.

2.5.2 RODAJE

Las autopistas deben tener un mínimo de dos carriles de circulación por sentido, con un ancho exigible de 3.60 m por carril (figura 26). El pavimento debe ser de alta calidad, disponer de una superficie de rodaje resistente al deslizamiento y capacidad estructural adecuada.

Los carriles deben tener una pendiente transversal (bombeo) de 1.5% a 2.0% en los tramos en tangente, los cuales están constituidos en dos líneas en cada dirección con una corona en el centro de la línea del pavimento. En áreas de constantes o intensas lluvias, se recomienda que la pendiente transversal del pavimento sea 2.5%, para garantizar un adecuado drenaje.

2.5.3 HOMBROS

La disponibilidad de derecho de vía, lo constituyen el grado del desarrollo frontal de la carretera, la necesidad de estacionamientos o aceras, la frecuencia de los puntos de acceso y consideraciones relacionadas con el drenaje de la vía. La autopista debe contar con hombros pavimentados en ambos lados, tanto a la izquierda como a la derecha. Para las autopistas regionales, se recomienda que el ancho del pavimento del hombro de la derecha tenga 2.5 metros como

mínimo, pero donde el movimiento de camiones exceda los 250 vehículos por hora de diseño, se recomienda que este hombro sea incrementado hasta un ancho de 3.6 metros. En autopistas regionales de cuatro carriles, es deseable que el hombro de la mediana o el hombro interior por lo menos tenga 1.5 metros de ancho, pudiendo reducirse a un mínimo de 1.0 metro. El hombro interior, debe ser mayor o igual que 1.0 metro a lo largo de la superficie de rodamiento, debe ser asfaltado y con espesores suficientes de pavimento, de acuerdo con el diseño, basado en el tipo de vehículos que transitan en la vía. El resto de la superficie puede ser revestida hasta cierta extensión (de 1.50 m a 2.0 m). El color o la textura del hombro deben ser diferentes que el de los carriles. La diferencia entre las vías y los hombros es a menudo acentuada por franjas señalizadoras y marcas en el pavimento o introduciendo irregularidades en la textura de la superficie de rodamiento. La pendiente transversal en tangente de los hombros debe variar entre 2% y 6%, con un mínimo de 1% más que la pendiente de la calzada en su extremo exterior, para facilitar el drenaje.

2.6 DERECHO DE VÍA

El derecho de vía para el camino debe ser tan amplio como sea posible, compatible con la localización y el costo. En cada caso, el derecho de vía, sin embargo, no debe ser menor que lo requerido para todos los elementos de la

sección transversal de diseño y las áreas de límite apropiadas. Tales áreas de límite pueden variar dependiendo de la ubicación del proyecto tanto en zonas altamente desarrolladas como en zonas rurales. El derecho de vía, es la franja de terreno que adquiere el dueño de una carretera, normalmente el Estado, para la construcción de la misma, incluyendo dentro de sus límites el diseño bien balanceado de: la(s) calzada(s) con sus carriles proyectados, los hombros interiores y exteriores, las medianas y todos los demás elementos que conforman normalmente la sección transversal típica de este tipo de instalaciones, conforme su clasificación funcional.

No obstante, la conveniencia de contar con una franja de terreno de ancho uniforme para cada tipo de carretera, en la práctica, la franja es variable y determinada ad-hoc en función de cada proyecto en particular. Se requieren ampliaciones cuando el pie de los taludes excede los límites normales de la franja de terreno, cuando se desea diseñar para mayores distancias de visibilidad, cuando se aplican determinadas exigencias para aislar el ruido y otros contaminantes ambientales y, en las intersecciones con otras carreteras que por si mismas pueden plantear exigencias considerables de espacio físico, como en el caso de la construcción de intercambios o distribuidores de tránsito, que ocupan una o varias hectáreas según el diseño geométrico que se seleccione.

La determinación del ancho del derecho de vía de una carretera conlleva, por consiguiente, a la determinación del ancho óptimo de los componentes de la sección transversal típica que, para el término del período de diseño de alrededor de veinte años, se requiere acomodar con la amplitud necesaria y suficiente dentro de la franja de terreno adquirida para la obra vial y sus detalles conexos. Esta es la opción para determinar el ancho de derecho de vía que podría calificarse como mínima, por corresponder a soluciones desarrolladas en condiciones restrictivas, como sucedería en zonas urbanas y suburbanas donde el valor del suelo es elevado, como también es elevado el costo de las propiedades colindantes que se precisa expropiar. En casos extremos de esa naturaleza, se llega en ocasiones a sacrificar el diseño y optar por soluciones de dimensiones restringidas a un mínimo funcional y de sentido práctico, donde lo primero que se limita son los anchos de hombros y las dimensiones de la mediana o franja divisoria central.

Para las carreteras colectoras, ubicadas en el rango inferior de la clasificación funcional de la red de carreteras regionales, se considera suficiente disponer de un derecho de vía de 20.0 metros de ancho, que puede ampliarse hasta 30.0 metros de ancho para disponer de una solución más holgada. Esta franja deberá ampliarse según se requiera para acomodarse a requerimientos especiales del diseño o para facilitar el diseño de las intersecciones con otras vías de similares o con mayores exigencias. Las carreteras colectoras están

provistas de una calzada de dos carriles, que drenan hacia los lados a partir de la línea central, excepto, cuando debido a la sobreelevación requerida por el alineamiento en curva, deben drenar hacia un solo lado. A los 6.6 m ó 7.2 metros del ancho recomendado de la calzada, se suman hombros que varían de 1.2 metros a 1.5 metros, para un ancho de corona que varía de 7.8 metros hasta 8.7 metros. Dentro de los 20.0 metros del derecho de vía de las carreteras colectoras hay ancho suficiente, en el caso de terrenos planos o ligeramente ondulados, para el drenaje longitudinal, la instalación de dispositivos para el control del tránsito, la construcción de instalaciones de servicio público y, de manera especial, para proveer taludes suaves que sirvan como zona despejada para facilitar la maniobra de recuperación de los vehículos fuera de curso. A mayor altura del corte o profundidad del terraplén, menor será la disponibilidad de área para operar como zona despejada. La figura 26 muestra la sección típica que se logra dentro del derecho de vía recomendado.

Para las carreteras troncales del sistema regional, el ancho recomendable del derecho de vía se incrementa hasta los 40.0 metros, con un óptimo recomendable por exceso de 50.0 metros. Con una mediana que puede alcanzar de 6 metros a 10 metros, según se trate de la alternativa rural o suburbana, pero que será suficiente para la construcción de carriles de giro izquierdo o la realización de maniobras de retorno; habrá dentro de la franja de

terreno disponible, espacio suficiente para la construcción de dos calzadas paralelas de 7.2 metros de ancho cada una, con dos carriles por sentido, hombros exteriores de 2.5 metros de ancho y hombros interiores de 1.5 metros, quedando espacio suficiente para acomodar una zona despejada de suficiente amplitud para la recuperación de vehículos extraviados, además de servir las otras funciones mencionadas al final del párrafo inmediato anterior. En una eventual necesidad de mayor capacidad para la sección típica, puede ampliarse la calzada de dos a tres carriles, sacrificando parte de la mediana de 10.0 metros de ancho, que quedaría reducida a 2.8 metros o construyendo los carriles adicionales del lado exterior de cada calzada, para dejar en su función la mediana reducida a 6.0 metros de ancho.

El ancho de la franja del derecho de vía varía desde un límite inferior de 20 metros, hasta un máximo de 60 metros, excluyendo desde luego de ese tratamiento por sus particulares requisitos, a las autopistas de todo tipo.

NORMAS DE DISEÑO
SECCIONES TÍPICAS
CLASIFICACIÓN AUTOPISTAS

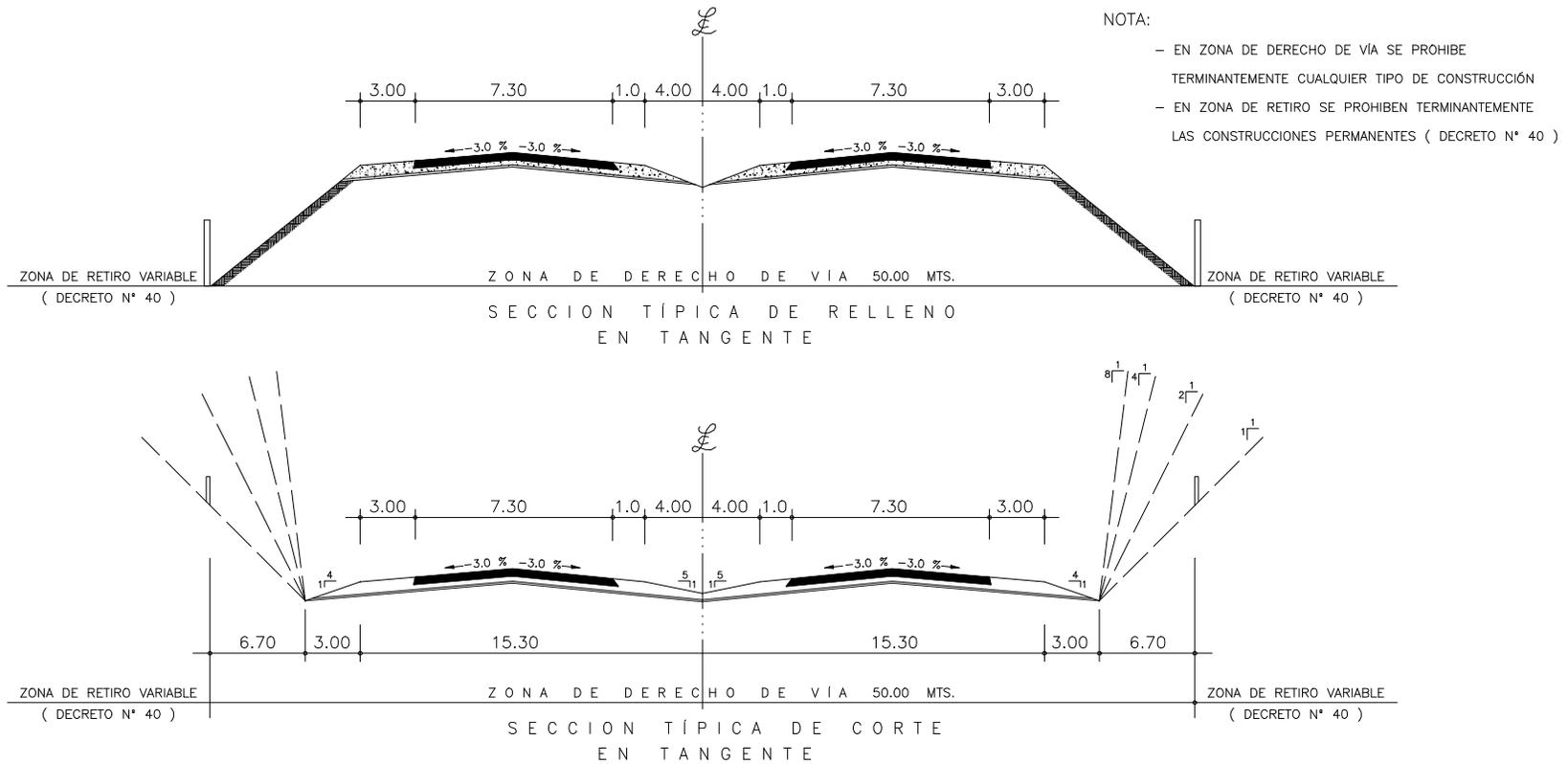


FIGURA 26: SECCIÓN TÍPICA DE CARRETERA EN TERRAPLÉN (RELLENO) Y CORTE RECOMENDADAS POR LA DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS.

2.7 CONCLUSIONES

- El diseño de curvas horizontales y verticales se basa en criterios tomados del Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de las Carreteras Regionales, establecidos por los reglamentos de la SIECA recientemente adoptados por el MOPVTDU.
- El alineamiento vertical de una carretera depende de la configuración topográfica del terreno, con tangentes verticales, tangentes y curvas parabólicas adaptadas, de la mejor manera, al perfil natural del terreno, equilibrando cortes y rellenos según sea necesario.
- En el caso de calles urbanas que se amplían para mejorar su capacidad vehicular (como la calle a Huizucar), el diseño es afectado al no poder cumplir con la sección transversal típica de diseño en toda la longitud del proyecto, debido a estructuras como muros, edificaciones de importancia social e histórica que no lo permiten porque se construyeron infringiendo su línea de construcción.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN DE LOS ELEMENTOS

DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de una carretera debe ser consistente, esto es, evitar los cambios abruptos en las características geométricas de un segmento recto o curvilíneo, manteniendo la coherencia de todos los elementos y que cumpla con las normas y especificaciones de geometría, así como de las expectativas del conductor que transita en la carretera.

Es en esta etapa de cálculo del trazado en planta y elevación del diseño, se trabaja el eje, la rasante en el perfil y la sección transversal, garantizando la funcionalidad de la vía, propiamente; esta se concibe como el proceso de correlación entre los elementos físicos y las características de operación de los vehículos automotores. Así, una carretera quedará entonces definida geométricamente por el proyecto de su eje en planta o alineamiento horizontal, por su rasante o alineamiento vertical y por el proyecto de los elementos integrantes de sus secciones transversales típicas.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto de estudio se ubica entre los municipios de Antiguo Cuscatlán (departamento de La Libertad) y San Salvador (departamento de San Salvador). Consiste en el diseño y construcción de una vía pavimentada, con concreto hidráulico, que inicia en el Est. 2+877.47, coincidiendo con el final del proyecto “Prolongación Boulevard Orden de Malta y Ampliación Calle a Huizucar, Tramo I” y culmina en la intersección que forma la Calle a Huizucar con la Autopista Comalapa (Est. 5+846.28), incluyendo la ampliación de ésta de acuerdo con el diseño conceptual (figura 27).

El proyecto comprende en sus alcances, pero sin limitarse, los trabajos de diseño final del proyecto, la ingeniería para la adquisición de los derechos de vía, trabajos de terracería, drenaje mayor, drenaje menor, pavimentos, obras complementarias, trabajos de seguridad ocupacional, control de calidad, así como la señalización, barreras, dispositivos de control de tráfico y control de tráfico durante la construcción.

Partiendo del inicio del proyecto, en la Estación 2+877.47 el trazado prosigue hacia el Norte, ampliando y mejorando la calle existente, para lo que algunas viviendas aledañas deberán ser afectadas. En algunos casos, se han proyectado muros de contención para evitar estas afectaciones. Existe una

curva pronunciada en estación 3+300 que se convierte en un retorno en el diseño de la nueva vía. En esta zona, se abandona la rasante existente. De este punto, el alineamiento prosigue en la zona urbana, entre las colonias Cima I, La Constancia y El Carmelo. El trazado en ampliación, va siguiendo sensiblemente el alineamiento existente, bordeando la urbanización Lomas de Altamira, hasta llegar a la estación 5+300, donde se ha proyectado un segundo retorno. El alineamiento llega hasta la intersección de la Autopista Comalapa con la Calle a Huizucar y Avenida Vista Hermosa, siguiendo la vía existente (5+806.81). El proyecto también comprende el diseño y construcción de esta intersección la cual ha sido concebida como una intersección semaforizada a nivel, la cual implicaría la ampliación de la Autopista Comalapa.

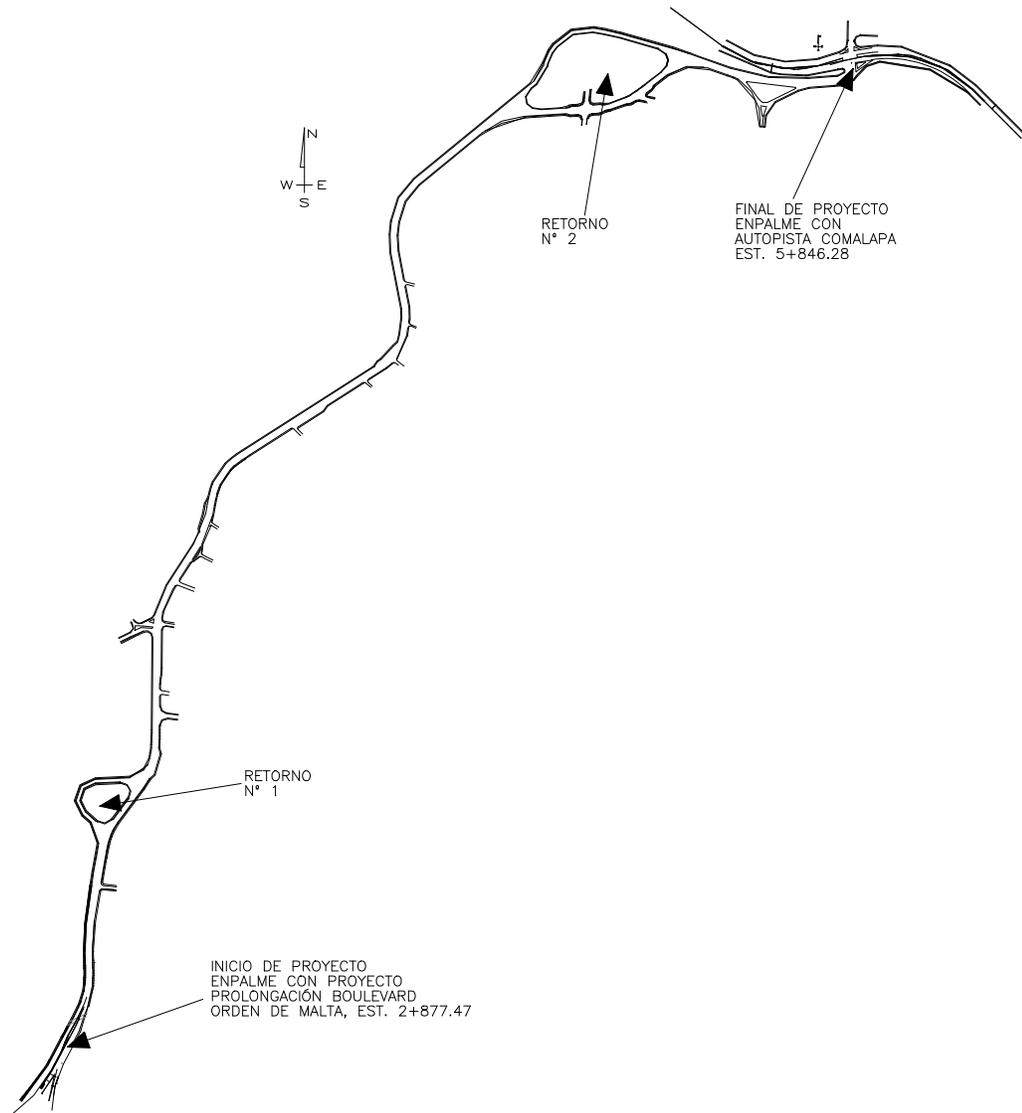


FIGURA 27: PLANTA DE CONJUNTO DE PROYECTO "PROLONGACIÓN BOULEVARD ORDEN DE MALTA Y AMPLIACIÓN CALLE A HUIZUCAR, TRAMO II".

3.3 REQUISITOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO ESTABLECIDOS POR EL MOP

Todo trabajo de diseño geométrico que se elabore o complemente a este, se somete a la aprobación del Supervisor del proyecto, quien a su vez hace del conocimiento a la Gerencia de Estudios y Diseños Viales de la Unidad de Planificación Vial del Viceministerio de Obras Públicas.

Para optimizar el tiempo contractual del proyecto, se puede sectorizar el diseño, para que según se vaya terminando cada sector, este sea revisado por el MOP y dado su visto bueno permita el inicio de su fase constructiva en el menor tiempo posible.

El diseño debe especificar la utilización de materiales y procesos constructivos que cumplan con normas y estándares generalmente aceptados localmente para este tipo de obras, tales como el Reglamento para la Seguridad Estructural de las Construcciones de la República de El Salvador, el manual Centroamericano de la SIECA, normas y manuales de la AASHTO, ASTM, ACI, los cuales serán establecidos en las especificaciones técnicas a elaborar por el Contratista y que serán las que regirán la construcción de todas las obras a ejecutar por el mismo.

DISEÑO GEOMÉTRICO

Se tomará como base el alineamiento presentado en el diseño conceptual, sin embargo, los ajustes realizados no podrán disminuir la funcionalidad de la vía, el nivel de servicio, la seguridad del usuario, la velocidad de proyecto o los parámetros de diseño geométrico.

Los niveles de servicio de la vía, de los intercambiadores e intersecciones a nivel que se rediseñen, no podrán ser inferiores a los correspondientes de las soluciones presentadas en el diseño conceptual. Asimismo, las dimensiones de la sección transversal de la vía, de todos los ramales de los intercambiadores y pasos a desnivel, no deberán ser inferiores a las presentadas en el diseño conceptual.

Para toda variación del tronco y de los ramales y rampas de intercambiadores, superiores a 1.00 m en alineamiento horizontal y 0.50 m en alineamiento vertical, deberá obtenerse la conformidad de la Supervisión, quien a su vez deberá obtener la no objeción por parte de la Gerencia de Estudios y Diseños Viales del VMOP. Sin embargo, en el informe de diseño correspondiente deberán especificarse claramente las variaciones realizadas con respecto al diseño conceptual.

La definición de alineamiento incluirá los siguientes datos generales:

- Grupo de características geométricas.
- Radios en planta, máximos y mínimos.
- Parámetros de clotoide, máximos y mínimos.
- Pendientes, máximas y mínimas.
- Parámetros de curva vertical (K), máximos y mínimos.
- Distancias de visibilidad.
- Secciones transversales típicas.
- Gálibos.
- Definición de sobreanchos y sobreelevaciones.

En el perfil de cada alineamiento, se realizará un cálculo de la terracería, representándolo mediante un diagrama de masas.

La normativa de diseño aceptada será la norma AASHTO, última edición, y los criterios mínimos se enumeran en la tabla 17.

TABLA 17: PARÁMETROS DE DISEÑO PARA PROYECTO “PROLONGACIÓN BOULEVARD ORDEN DE MALTA Y AMPLIACIÓN CALLE A HUIZUCAR, TRAMO II”.

Parámetros	Ampliación Calle a Huizucar
Clasificación	Colector
Velocidad de proyecto (Km\h)	50
Radio mínimo (m)	60
Distancia de Visibilidad de Parada (m)	65
Parámetro K (en cresta)	10
Parámetro K (en columpio)	10
Pendiente máxima (%)	12.5
Pendiente mínima en corte (%)	0.5
Sobreelevación máxima (%)	8
Uso de espirales	Sí
Parámetro mínimo de la espiral (A)	75
Gálibo para vehículos (m)	5.00
Vehículo de proyecto (AASHTO tabla II-1)	Combinación T3S2-Bus

Valores proporcionados por el MOP.

BAHÍAS PARA AUTOBUSES

Considerar la construcción de bahías para autobuses, en función de la demanda de los usuarios y líneas de buses existentes y proyectadas. En el diseño de bahías, es recomendable incluir los siguientes aspectos:

- El ancho mínimo de la bahía debe ser de 5.0 m.
- El estacionamiento adyacente en estas bahías debe ser prohibido.
- La salida y entrada de la unidad deben ser realizadas con facilidad.
- Es recomendable que en el área ocupada por una bahía el color y/o textura del pavimento contraste con el de la vialidad o calzada principal.

También, en la señalización horizontal deberá incluirse una línea blanca separadora continua de 15 cm a 20 cm de ancho. La señalización vertical mínima deberá incluir la prohibición de estacionamiento dentro de la bahía así como la ubicación del punto de parada.

El número de bahías proyectadas estará sujeto a la emisión del dictamen de conformidad del supervisor, quien a su vez deberá obtener la opinión favorable por parte de la Gerencia de Estudios y Diseños Viales del VMT.

TABLA 18: DIMENSIONES TÍPICAS DE LAS BAHÍAS PARA EL REFUGIO DE AUTOBUSES

Diseño	Entrada (m)	Parada (m)	Salida (m)	Ancho (m)	Long. Total (m)
Para un bus	10	15	15	3-4	40
Para dos buses	10	30	15	3-4	55
Para tres buses	15	45	15	3-4	75

Fuente: Cuadro 4.5, Cap. 4, página 4-18 norma de la SIECA.

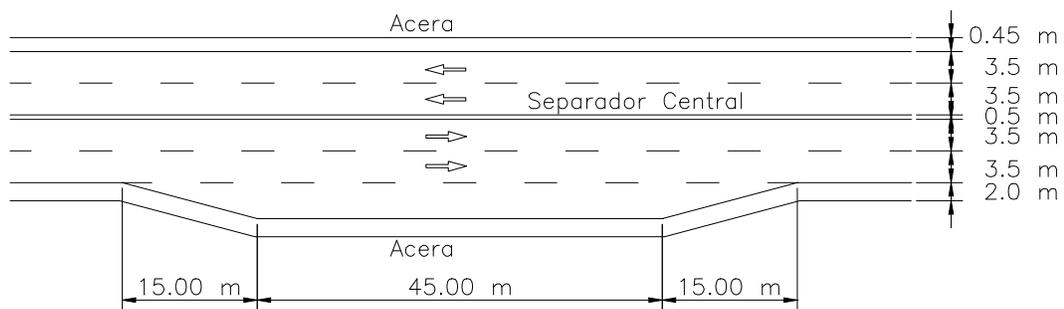


FIGURA 28: BAHÍA CON CAPACIDAD PARA TRES AUTOBUSES.

3.4 ANÁLISIS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL

El análisis geométrico del alineamiento horizontal se hace en base al diseño conceptual, en los planos conceptuales, donde se observa, que se utilizan muchas curvas de transición, y se establecerá cuáles de estas cumplen, de acuerdo con el alineamiento horizontal que se necesita según las normas y los requisitos antes establecidos.

La carretera actual, hacia Huizucar, era demasiado sinuosa, y para los propósitos de ampliación se necesita mejorar el alineamiento horizontal; es decir cambiar este alineamiento; un cambio de línea puede darse por factores tales como: no afectar parques ecológicos, no dañar propiedades de gran importancia como escuelas, por adquisición de derecho de vía innecesaria, y a veces, por los intereses que puedan tener algunas personas que no quieren ser afectadas en su propiedad.

Al hacer un análisis exhaustivo del alineamiento horizontal, los cambios hechos se describen y detallan a continuación.

- a) al inicio del tramo (Est. 2+877.47), el eje se mantiene sin hacerle ninguna modificación, ya que este es el empalme con la prolongación Boulevard

Orden de Malta y se tiene que partir de ese lugar obligatoriamente (figura 29).

- b) Adelante, en las estaciones 2+920 – 3+440 se desvía el eje hacia la derecha, para no afectar en el lateral izquierdo el tanque de ANDA que se encuentra exactamente en la estación 3+120 (figura 30); donde inicia la tangente, eso significa que para no afectar el tanque, esta tangente se mueve paralelamente al eje 5.00 m para poder desarrollar las curvas anteriores con las mismas características (radio, LC, etc.), pero con distinto rumbo. Siguiendo siempre en el lateral izquierdo, este cambio de línea sirve también para alejarse de las viviendas que se encuentran exactamente entre las estaciones, 3+200 a 3+280, ya que estas tienen una diferencia de nivel de 20.05 m, y como se verá más adelante, la rasante en este tramo baja 5.00 m, aunque se coloque el muro soil nailing proyectado no sería suficiente, para tal altura, lo cual da la sensación de un alto grado de inseguridad al transitar por ese lugar. En el lateral derecho, al realizar este cambio se afectará más derecho de vía, y en el tramo 3+200 a 3+340 se podrá observar una diferencia de niveles de 24.00 m, pero en este caso se tiene proyectado talud, en el cual, según la norma de la SIECA las bermas se harán a 8.00 m de altura con 3.00 m de ancho mínimo y una pendiente hacia adentro del 3.00%, como se puede apreciar en la sección 3+240 (figura 33).

- c) En el tramo 3+500 a 3+840 el alineamiento sigue tendiéndose a la derecha esto con el fin de no tocar la infraestructura del centro escolar “José Mejía” (figura 32), y evitar problemas para los estudiantes, el procedimiento de cambio de línea es como sigue: se toma el rumbo de la línea del tapial de la escuela como el final de la sección, es decir, final de acera y se traslada paralelamente al eje una distancia de 9.20 m, según sección tipo de este tramo; y así se obtiene la tangente del eje. En este mismo tramo, se cambia la curva de transición por una circular con el fin de aminorar la sinuosidad que se presenta en el siguiente tramo para disminuir el peralte necesario que tiene la curva, puesto que es una intersección y según la teoría sobre el peralte necesario en la página 43, a mayor radio menor peralte.
- d) En el tramo 3+830 a 3+926 se trató de disminuir la sinuosidad que se tenía por tantas curvas que estaban proyectadas, además, se movió el eje al lado izquierdo para aprovechar al máximo la calle existente; en la estación 3+980 el eje empalma con el proyectado en el diseño conceptual, ya que ahí se encuentra en el lateral derecho una gasolinera (figura 34); por eso, se respeta el eje original hasta llegar a la estación 4+160, que es donde termina la curva e inicia la tangente, la cual tiene un cambio de dirección hacia la derecha girándose 0.425° , con el objetivo de no tocar las propiedades de la colonia Lomas de Altamira, ya que según los linderos de

esta colonia, los cuales se obtuvieron en el CNR, indicaba los límites de derecho de vía, y como según el diseño conceptual se tocaban estas propiedades; se optó por pasar justo en la línea del derecho de vía (figura 35).

- e) Siguiendo adelante con el tramo entre las estaciones 4+500 y 4+600, se tiene un desplazamiento del eje para evitar afectar el parque ecológico ubicado en esta zona (figura 36).
- f) Luego a partir de la Est. 4+620 en adelante, se realiza un cambio de eje hacia el lateral izquierdo, con el objetivo de aprovechar la línea del derecho de vía que se tiene en ese lugar, ya que el eje del diseño conceptual se desplaza hacia la derecha del eje existente, adquiriendo más terreno, lo cual es un gasto que se puede aminorar haciendo este cambio (figura 36).
- g) El cambio horizontal más significativo en el proyecto puede observarse en el retorno N° 2 ya que el eje se desvía en la Est. 5+060; esto se debe a que la corporación SIMAN, dueña de esta porción afectada de terreno, donó una franja para el derecho de vía que cruza el costado sur de su propiedad para la construcción de la carretera, ya que en un tiempo corto tienen previsto urbanizarla (figura 37).

- h) El eje original se vuelve a encontrar en la Est. 5+520, pero desplazado hacia la derecha; este cambio se debe a que en el diseño conceptual la orilla de la acera izquierda quedaba en la barranca, y como se verá más adelante, según la rasante conceptual, en este tramo se necesitaría hacer muros demasiado grandes, ya que a lo largo del pie de este talud se localiza la Autopista Comalapa (figura 38).

- i) Antes de llegar al final del proyecto, el cual es la intersección con la Autopista Comalapa, el eje se debe proyectar de la misma forma que el conceptual para empalmar debidamente con la autopista. No habrán cambios significativos o de relevancia ya que es aquí donde finaliza el proyecto (figura 38).

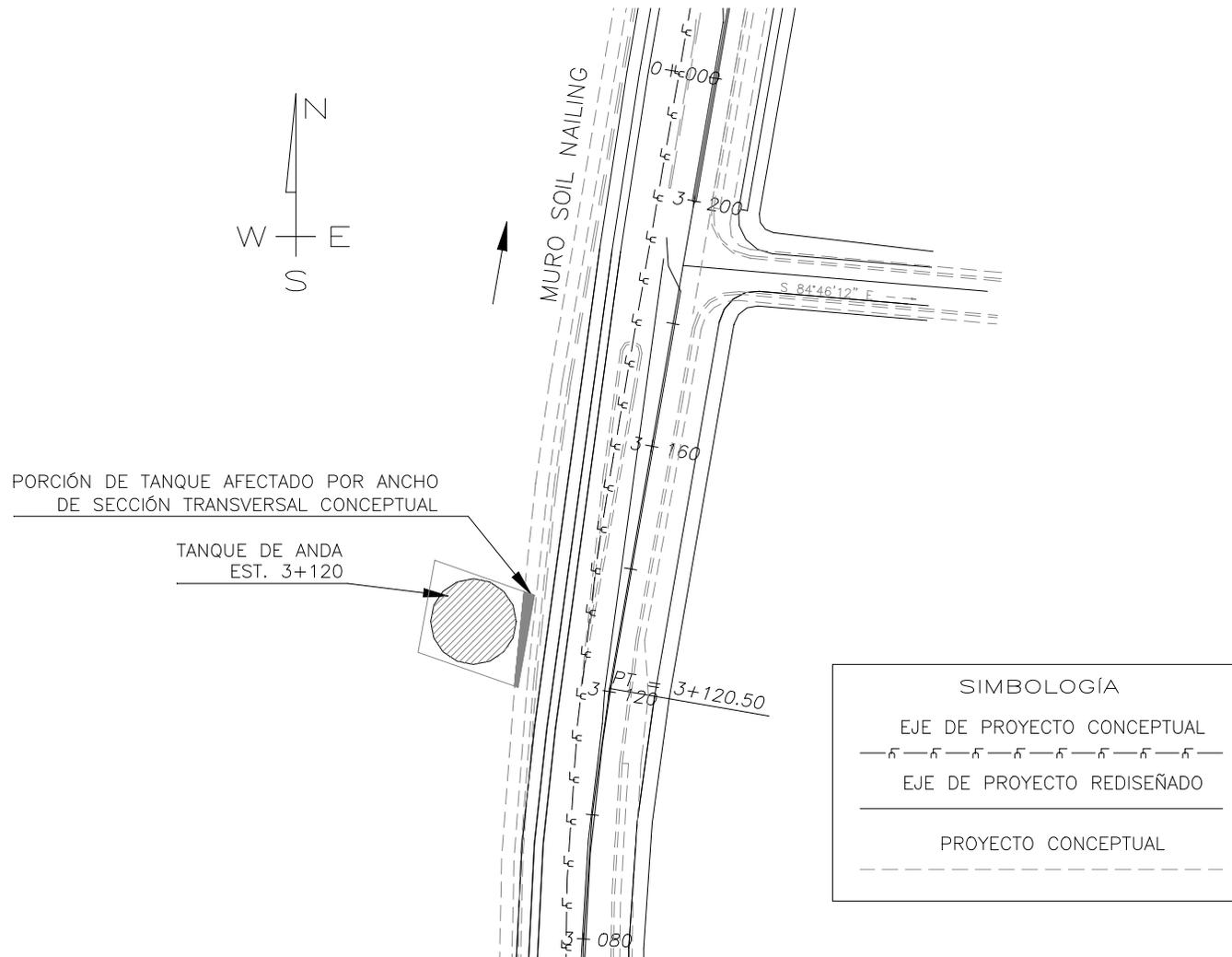


FIGURA 30: PLANTA DE AFECTACIÓN DE TANQUE DE ANDA (ÁREA ACHURADA) CON EL DISEÑO CONCEPTUAL.

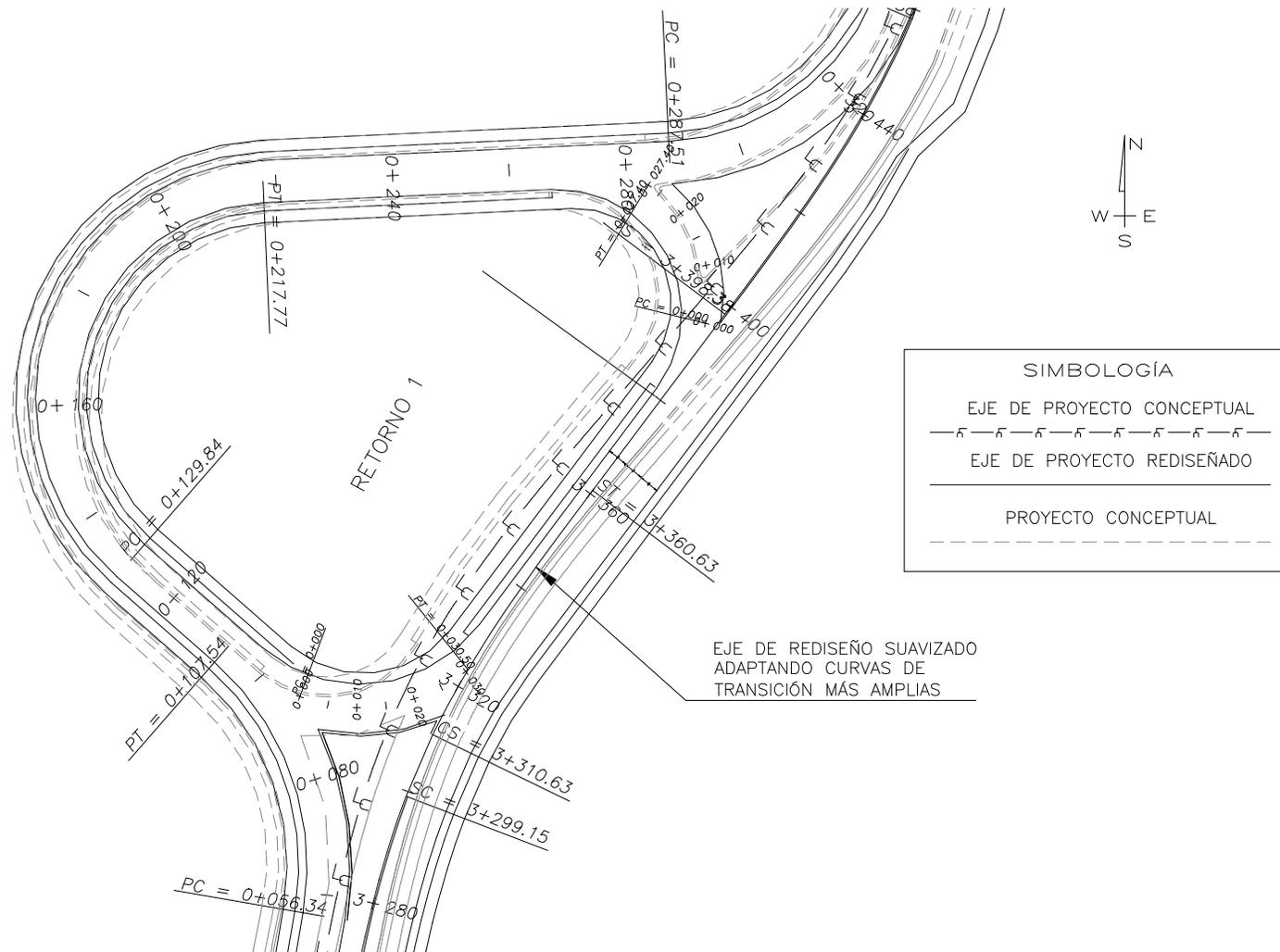


FIGURA 31: PLANTA DE RETORNO Nº 1 DONDE SE APRECIA EL CAMBIO DE LA CURVA CONCEPTUAL DE MAYOR CURVATURA A UNA MÁS SUAVE EN EL REDISEÑO.

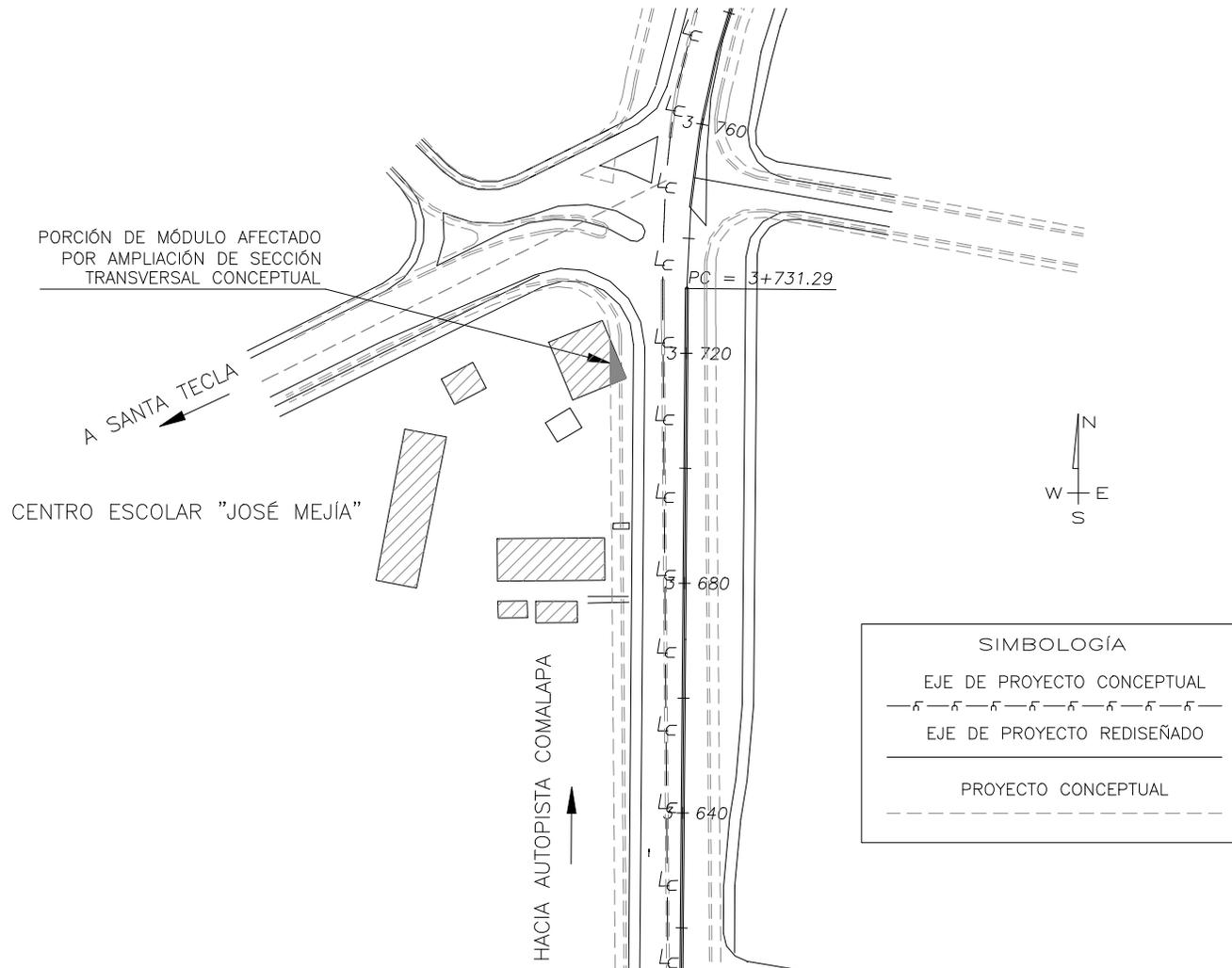


FIGURA 32: CAMBIO DE RUMBO HACIA LA DERECHA DEL EJE DE REDISEÑO PARA EVITAR AFECTACIÓN DE CENTRO ESCOLAR "JOSÉ MEJÍA", EST. 3+500 A EST. 3+840.

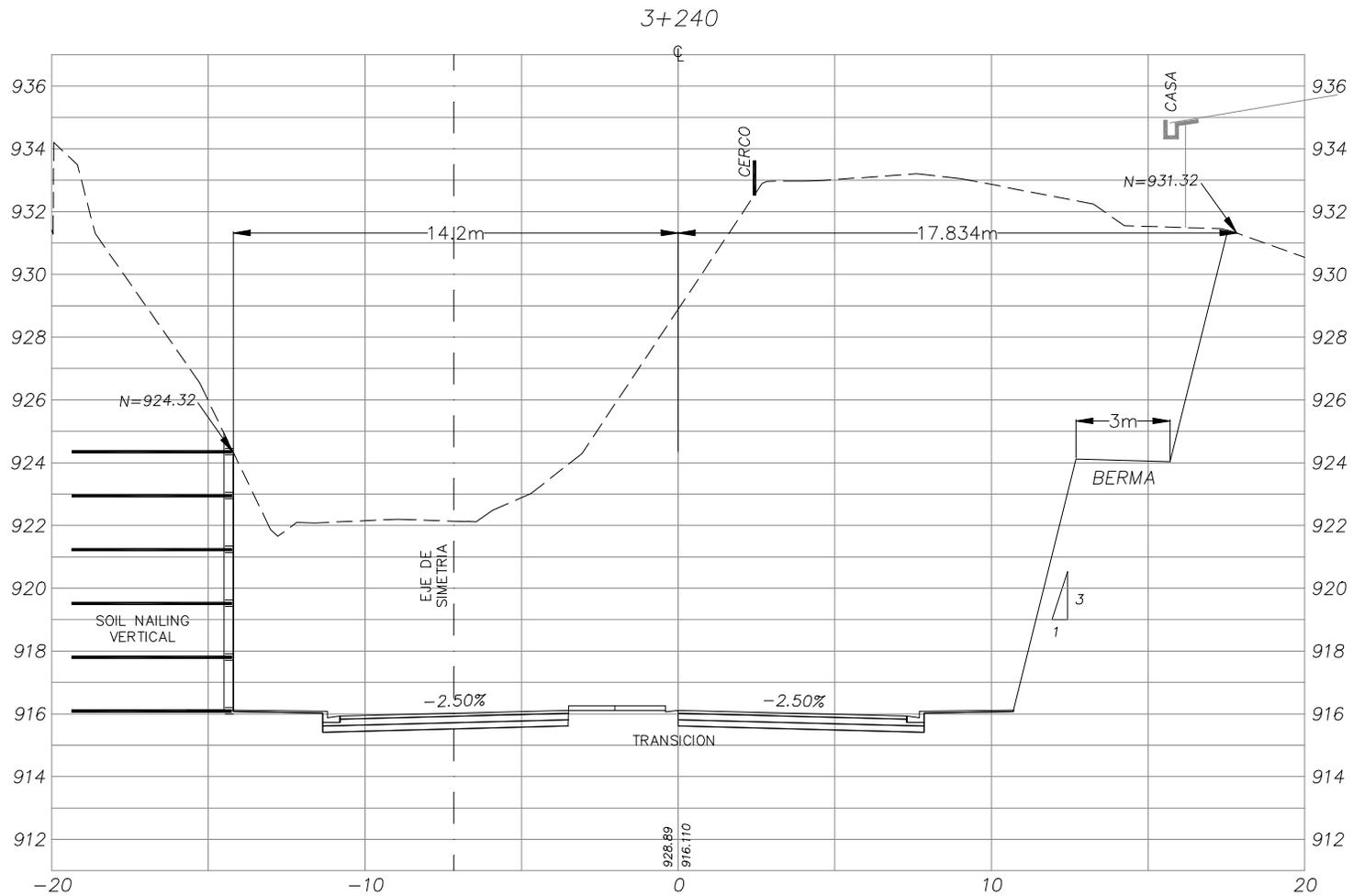


FIGURA 33: SECCIÓN TRANSVERSAL DEL EST. 3+240.

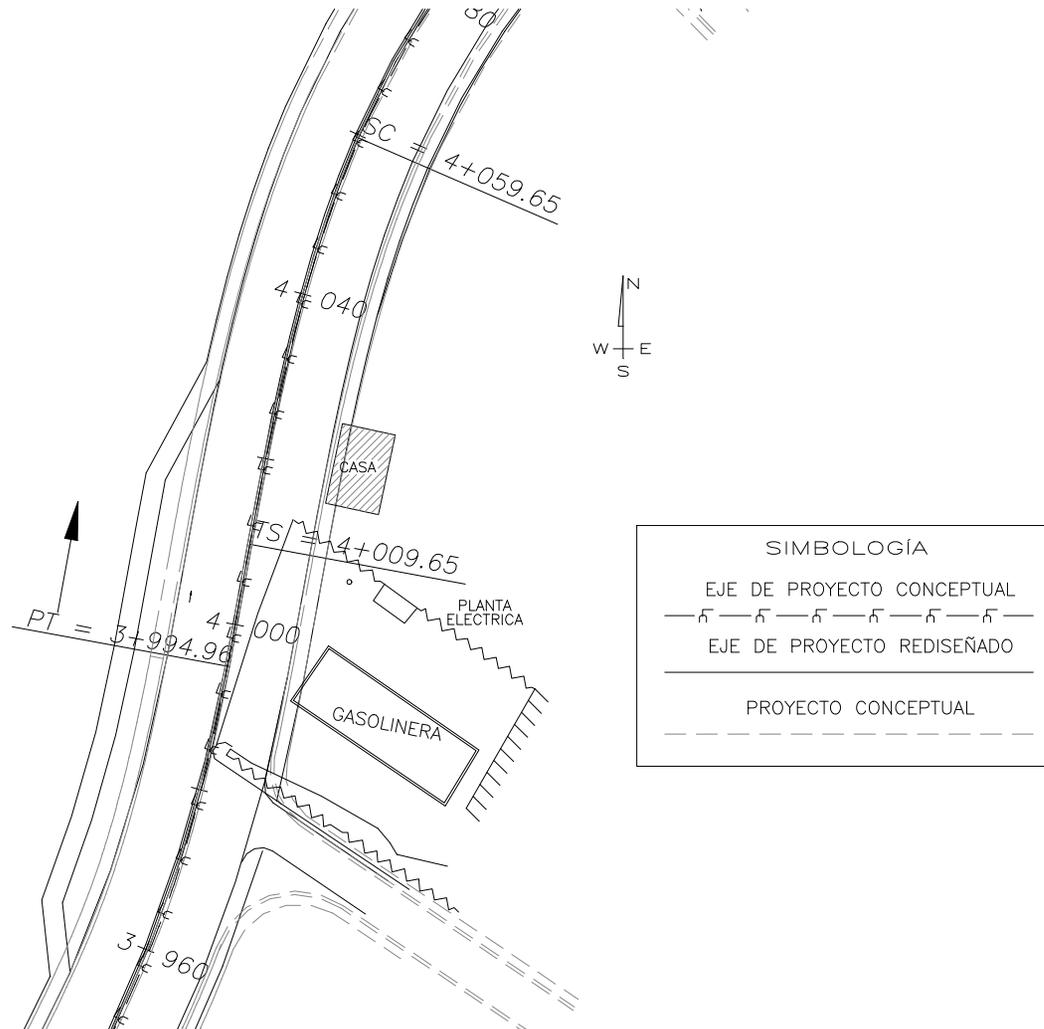


FIGURA 34: AFECTACIÓN DE GASOLINERA EN EL PROYECTO ADAPTANDO EL EJE PROYECTADO AL EJE EXISTENTE.

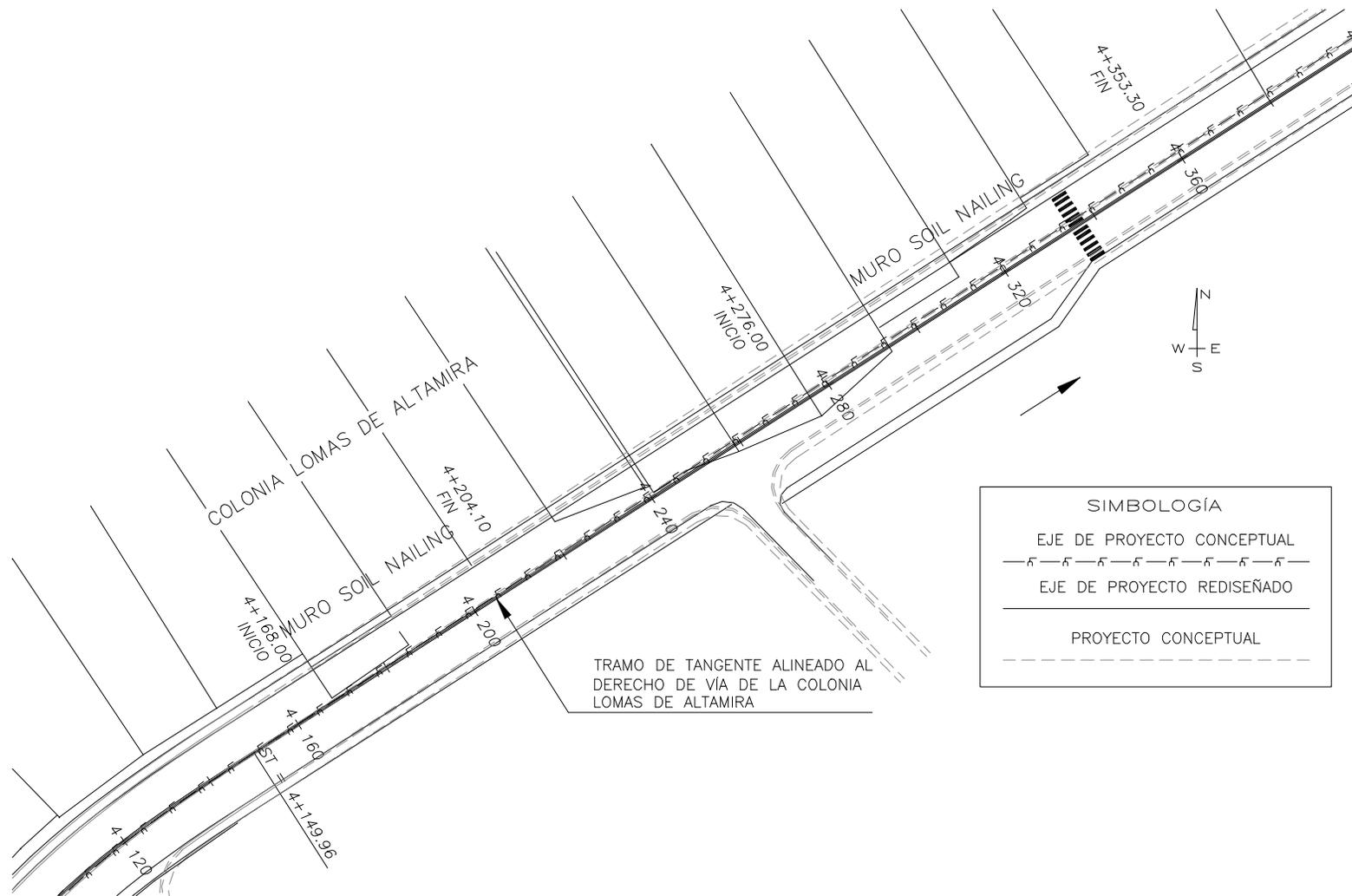


FIGURA 35: CAMBIO EN EL RUMBO DE LA TANGENTE QUE ABARCA EL LINDERO SUR DE COLONIA LOMAS DE ALTAMIRA.

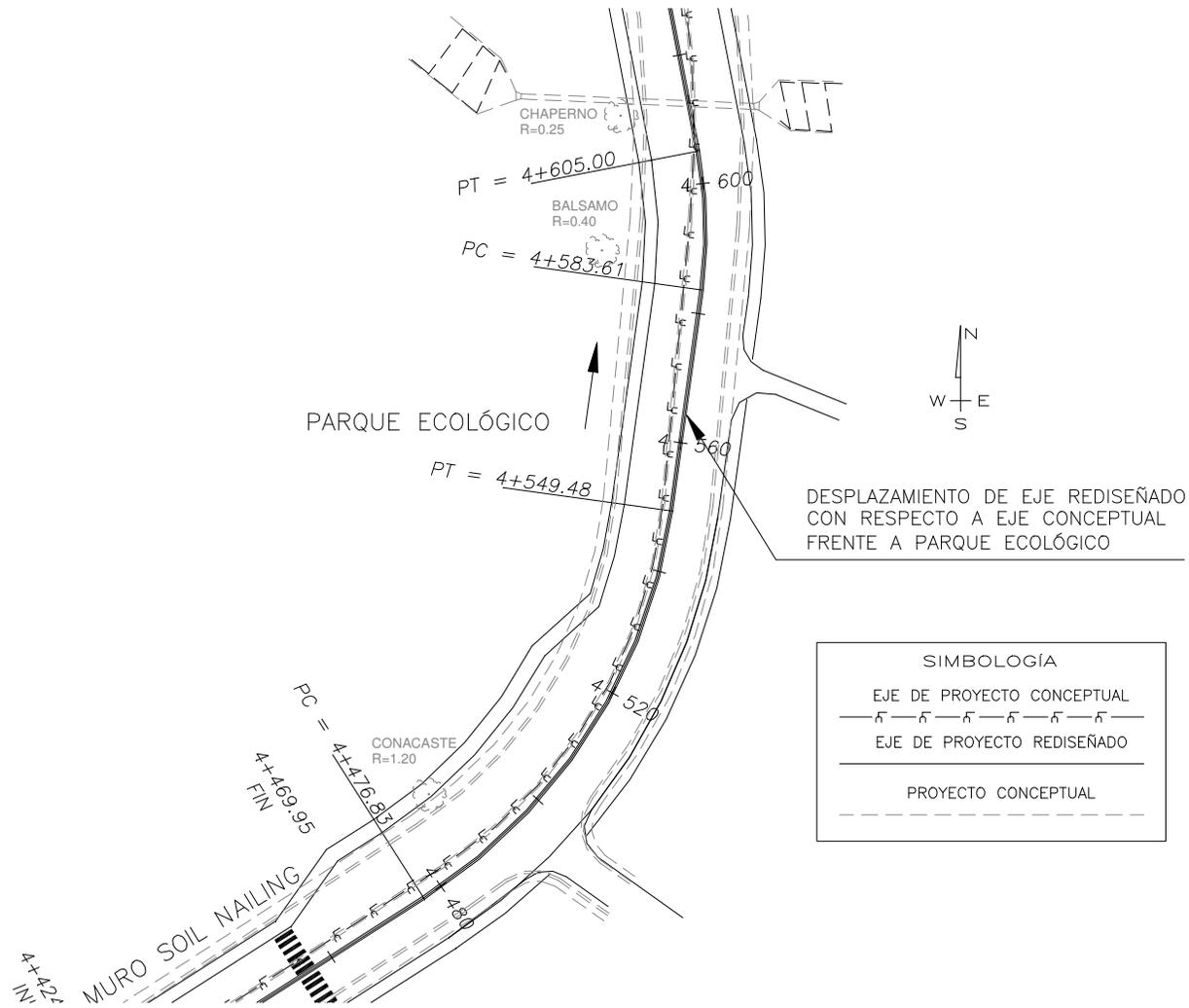


FIGURA 36: CAMBIO EN EL RUMBO DE LA TANGENTE PARA NO AFECTAR PARQUE ECOLÓGICO.

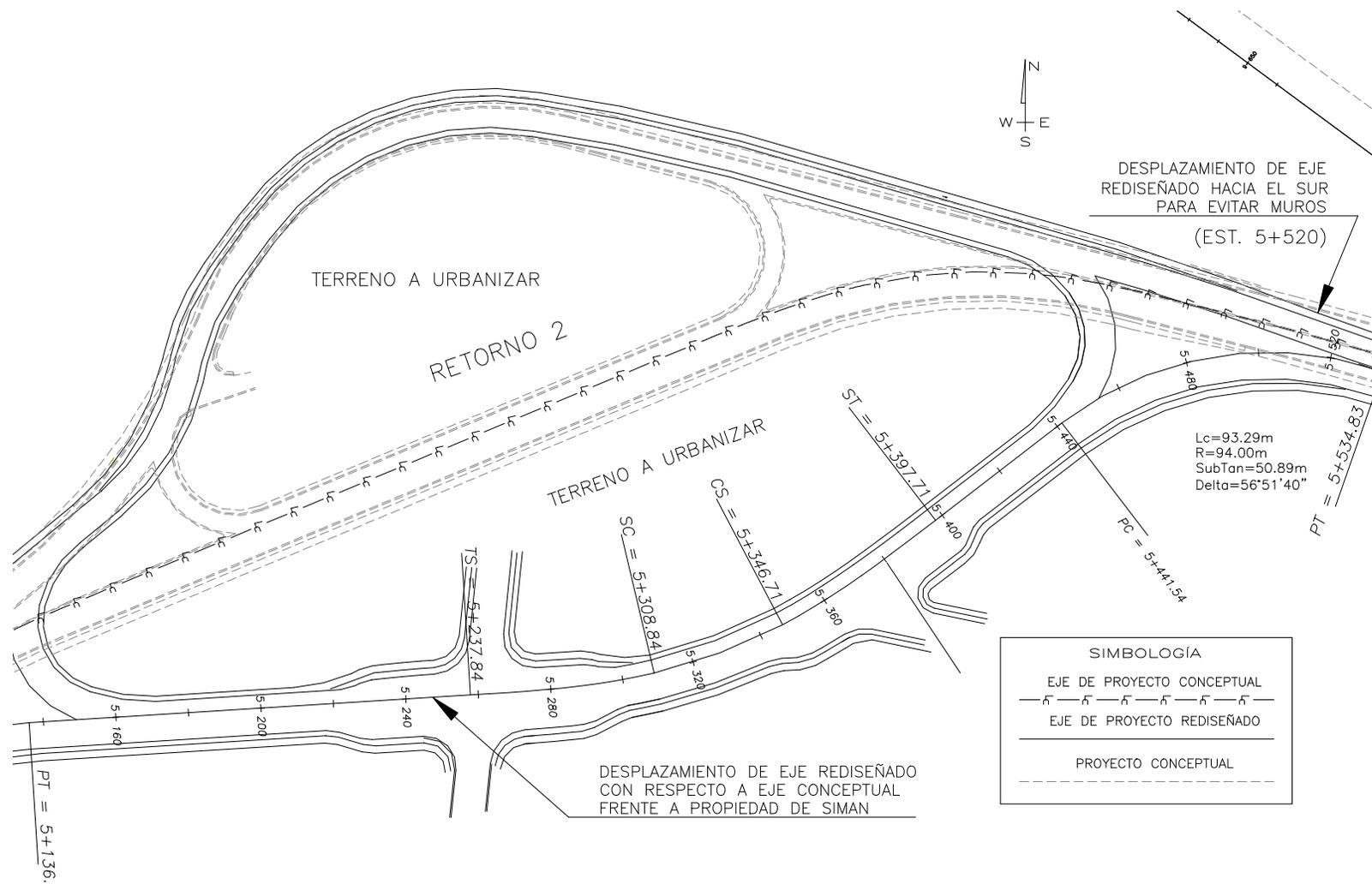


FIGURA 37: DESPLAZAMIENTO DE LÍNEA HACIA EL SUR EN RETORNO Nº 2.

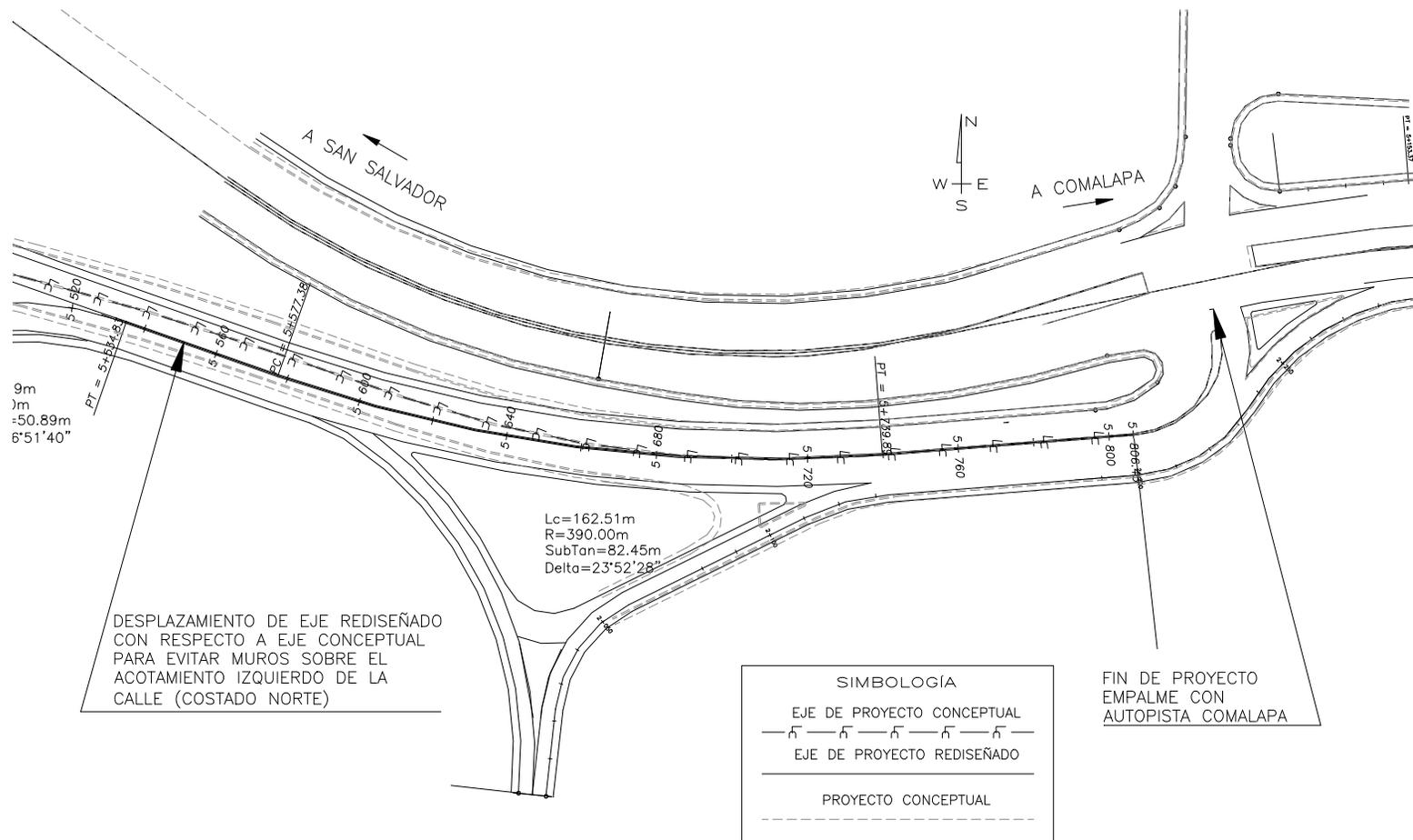


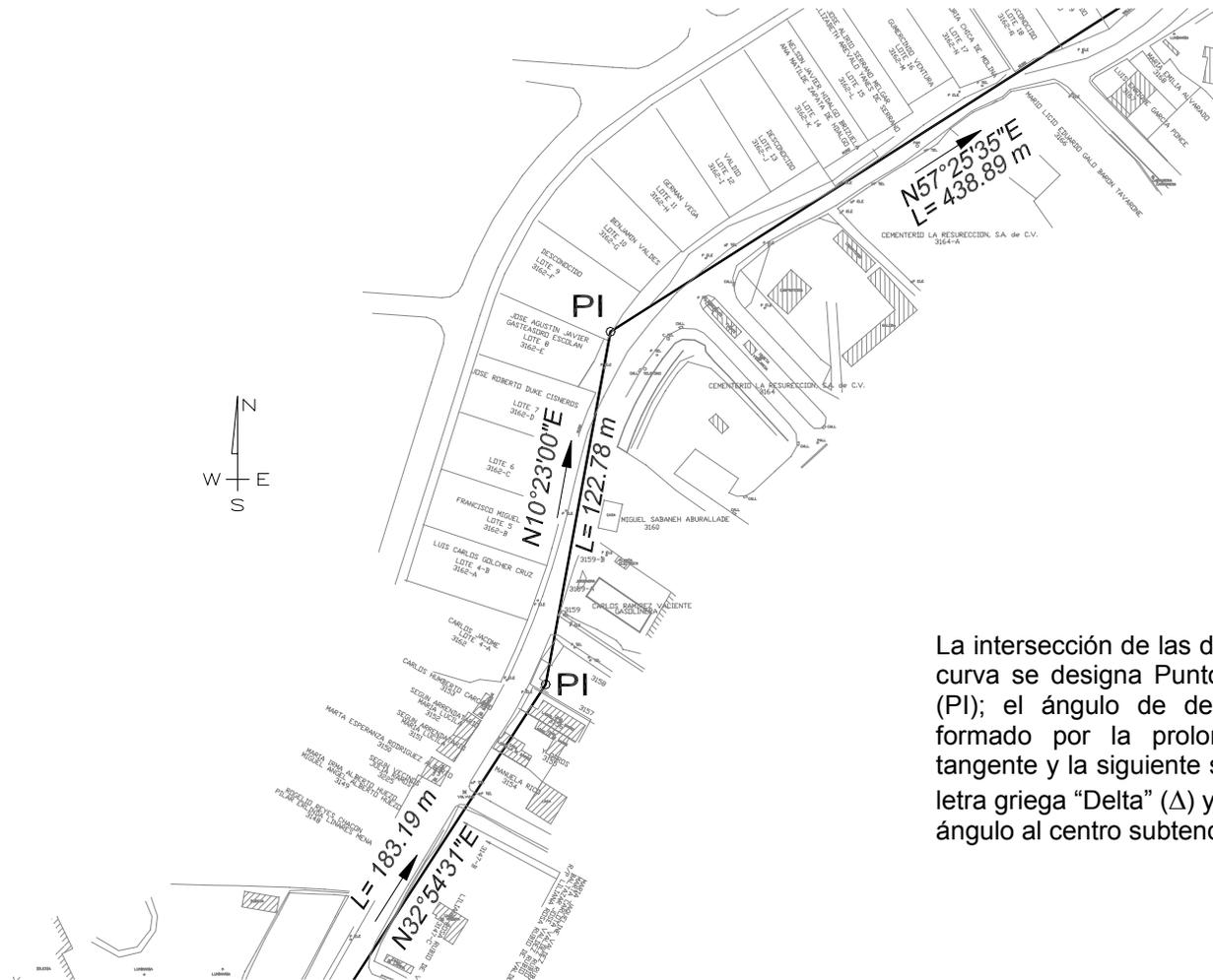
FIGURA 38: CAMBIO HACIA EL SUR DE LÍNEA REDISEÑADA ENTRE EST. 5+500 Y EST. 5+720. FINAL DE PROYECTO CON EJE DE DISEÑO IGUAL A EJE CONCEPTUAL EN EMPALME CON AUTOPISTA COMALAPA.

3.4.1 DISEÑO DE TANGENTES Y CURVAS HORIZONTALES

En su forma más simplificada, el alineamiento en planta de una carretera consiste en una serie de tramos rectos (tangentes) conectados por curvas circulares. Las curvas circulares, son entonces, los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas.

Cuando dos tangentes son enlazadas por una sola curva, ésta generalmente es una curva circular simple, que puede doblar hacia la derecha o hacia la izquierda, refiriéndolas así, a lo largo de todo el alineamiento de la vía. Cuando dos o más curvas circulares contiguas, de diferente radio, cruzan hacia el mismo lado, reciben el nombre de curvas compuestas, en tanto que cuando cruzan en sentido opuesto y tienen un punto de tangencia común, y siendo sus radios iguales o diferentes, reciben el nombre de curvas circulares revertidas.

El eje de la carretera se traza como una sucesión de líneas rectas con sus respectivos rumbos y distancias (en proyección horizontal), es decir, dándole a cada tramo una dirección u orientación (figura 39). A cada vértice o empalme entre líneas se le denomina PI (Punto de Intersección).



La intersección de las dos tangentes a la curva se designa Punto de Intersección (PI); el ángulo de deflexión en el PI formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se designa con la letra griega "Delta" (Δ) y tiene por valor el ángulo al centro subtendido por la curva.

FIGURA 39: TRAZO DE TANGENTES.

Una vez trazado el eje de proyecto se procede al diseño de las curvas que unirán las tangentes. El procedimiento de cálculo de los elementos que componen a la curva circular simple (figura 4), se basa en los siguientes parámetros y datos: subtangente (ST), cuerda larga (CL), externa (E), ordenada media (M), longitud de la curva (LC), grado de curvatura (Gc), radio (R) y deflexión o delta (Δ), se realiza con las ecuaciones siguientes:

Subtangente:

$$ST = R \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad \text{(Ecuación 24)}$$

Cuerda Larga:

$$CL = 2R \operatorname{sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad \text{(Ecuación 25)}$$

Externa:

$$E = R \left[\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1 \right] \quad \text{(Ecuación 26)}$$

Ordenada Media:

$$M = R \left[1 - \cos\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right] \quad \text{(Ecuación 27)}$$

Longitud:

$$L_C = \frac{(\pi R \Delta)}{180} \quad \text{(Ecuación 28)}$$

Grado de curvatura:

$$G_C = \frac{1145.92}{R} \quad \text{(Ecuación 29)}$$

Como se puede observar, los únicos datos necesarios son el radio de la curva (R), y el ángulo de deflexión (Δ), formada por cada dos tangentes que se intersecan. En donde el valor del delta se determina como el valor absoluto de la suma algebraica de los rumbos de la tangente de entrada y la tangente de salida, como se detalla en el siguiente ejemplo y tomando los datos de la figura 39, como sigue:

Rumbo de entrada = $N32^\circ 54' 31''E$

Rumbo de salida = $N10^\circ 23' 00''E$

Deflexión = $|(32^\circ 54' 31'') - (10^\circ 23' 00'')| = 22^\circ 31' 31'' = 22.52527^\circ$

El radio se elige de acuerdo a los parámetros del radio mínimo según establece la tabla del MOP. Elegir que: $R = 175 \text{ m} > R_{\text{mín}} = 60 \text{ m}$, ya que

cumple, siendo éste mayor que el radio mínimo establecido. Una vez esto proceder a calcular los datos de la curva, y sustituyendo en las ecuaciones anteriores, entonces:

Subtangente:

$$T = R \tan(\Delta/2)$$

$$(\Delta/2) = 22.52527^\circ / 2 = 11.262635^\circ$$

$$T = 175 \tan(11.262635^\circ)$$

$$T = 34.85 \text{ m}$$

Cuerda Larga:

$$CL = 2R \text{ sen}(\Delta/2)$$

$$CL = 2 (175) \text{ sen}(11.262635^\circ)$$

$$CL = 65.357 \text{ m}$$

Externa:

$$E = R [\text{sec}(\Delta/2) - 1]$$

$$E = 175 [\text{sec}(11.262635^\circ) - 1]$$

$$E = 175 (1.01964 - 1)$$

$$E = 175 (0.01964)$$

$$E = 3.44 \text{ m}$$

Ordenada media:

$$M = R [1 - \cos(\Delta/2)]$$

$$M = 175 [1 - \cos(11.262635^\circ)]$$

$$M = 175 [1 - 0.98074]$$

$$M = 175 [0.01926]$$

$$M = 3.37 \text{ m}$$

Longitud:

$$L_c = (\pi R \Delta) / 180^\circ$$

$$L_c = [(3.1416) (175) (22.52527^\circ)] / 180^\circ$$

$$L_c = 68.80 \text{ m}$$

Grado de curvatura:

$$G_c = 1145.92 / R$$

$$G_c = 1145.92 / 175$$

$$G_c = 4.98^\circ$$

Una vez establecidos estos datos se procede a dibujar la curva.

Con la aplicación de programas de ayuda para diseño por computadora, por ejemplo, se pueden realizar estos cálculos al instante (dependiendo de la capacidad de la computadora en la que esté instalado el programa), sin

embargo, es necesario saber de dónde se obtienen los valores que el programa da. Su algoritmo de cálculo se basa en resolver las mismas ecuaciones que el ejemplo anterior. En estos programas se puede hacer el diseño de una curva horizontal de manera tan sencilla como introducir los parámetros requeridos, por ejemplo: radio deseado, longitud de curva, longitud de cuerda, por mencionar los más utilizados.

En la figura 39 se observa cómo estos datos se van colocando para ser luego presentados en los planos finales, como se muestra al final de este trabajo. Además, en esta figura 40 se ha tomado un tramo del proyecto para ilustrar tanto el cálculo de las curvas circulares simples y las de transición como las espirales.

CURVAS DE TRANSICIÓN – CLOTOIDE

En las carreteras modernas, la transición es un elemento de tanta importancia como el círculo y la recta. Su uso se hace obligatorio para evitar ópticas desagradables de los bordes de la vía, a la vez, de la necesidad de adaptar el trazado a la configuración del terreno y al comportamiento usual de la mayoría de los conductores que induce a su empleo.

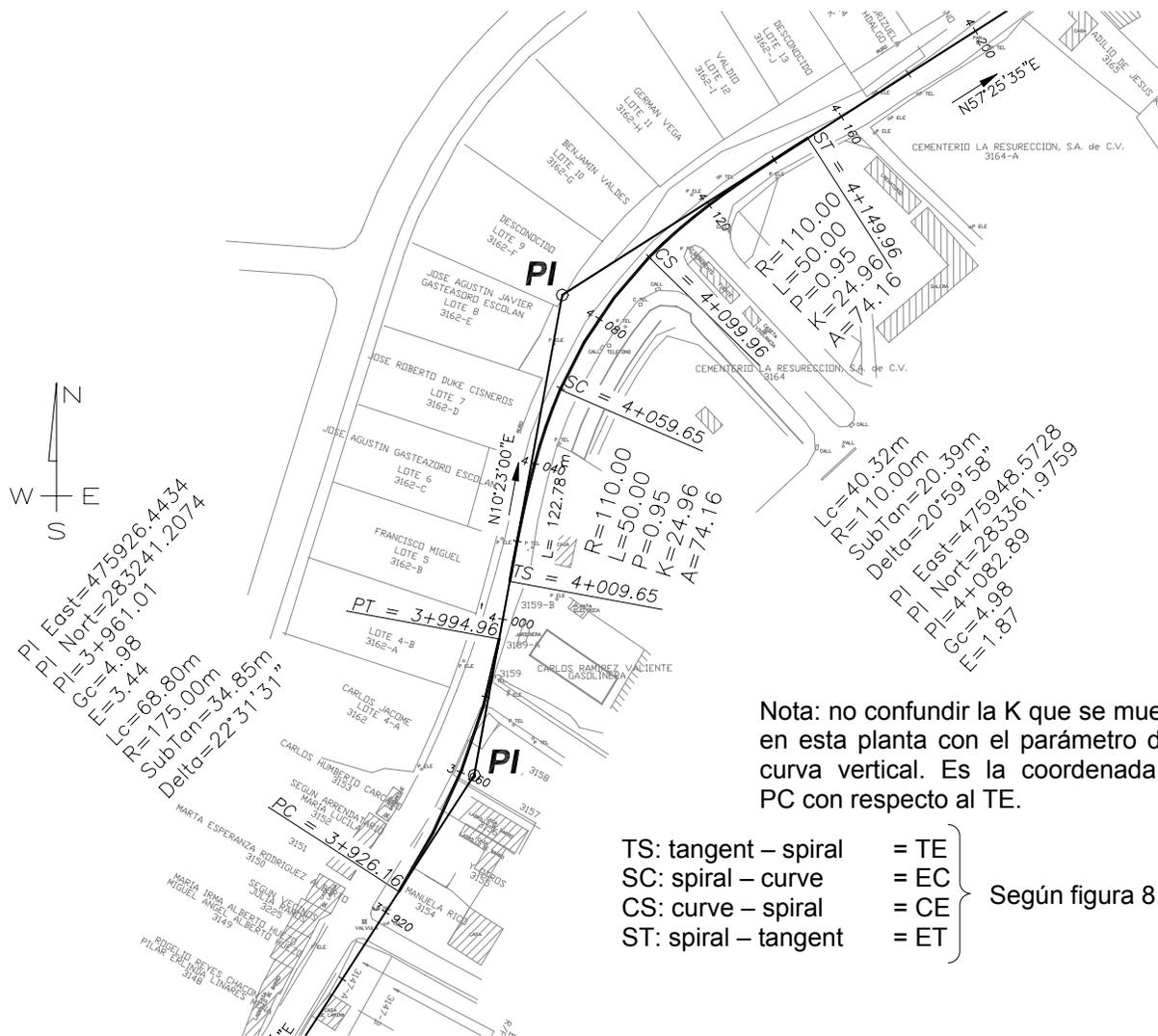


FIGURA 40: DISEÑO DE CURVAS HORIZONTALES (CIRCULAR SIMPLE Y DE TRANSICIÓN).

Así, el enlace de dos alineamientos rectos se puede realizar mediante el uso de arcos de círculo de radio R , precedido y seguido por una curva de transición de radio variable, o utilizando las curvas de transición sin arco de círculos intermedios. Entre las curvas de transición más frecuentemente empleadas pueden citarse la espiral de Cornu o Clotoide, el óvalo, la lemniscata de Bernoulli, la parábola cúbica, etc. De todas estas, la más ampliamente utilizada en carreteras es la Clotoide; su forma se ajusta a la de la trayectoria recorrida por un vehículo que viaja a velocidad constante y cuyo volante es accionado en forma uniforme.

Con los parámetros de diseño de la tabla 7, se elige el peralte y velocidad de diseño, y luego, encontrar la longitud mínima de transición igual a 45.0 m, entonces tomar $R = 110.0 \text{ m} \geq R_{\text{mín}} = 60.0 \text{ m}$, y $Le = 50.0 \text{ m} \geq Le_{\text{mín}} = 45.0 \text{ m}$, con estos valores se verifica el parámetro A utilizando la ecuación $A = \sqrt{LeR}$ (ecuación 30).

TABLA 7

Peralte	Long. de Trans. y Veloc. de Diseño		
	40	50	60
	Carriles de 3.60 m		
0.02	25	30	35
0.04	25	30	35
0.06	35	35	40
0.08	45	45	50
0.10	55	55	60
0.12	65	65	75

$$A = \sqrt{LeR}$$

$$A = \sqrt{50(100)}$$

$$A = 74.16 \text{ m}$$

Aunque no se logra alcanzar el valor de $A=75$ de la tabla 17, el MOP determinó como aceptable el valor calculado dadas las restricciones en derecho de vía de este tramo.

Rumbo de entrada: N10°23'00"E

Rumbo de salida: N57°25'35"E

Deflexión $\Delta = |(10^\circ 23' 00") - (57^\circ 25' 35")| = 47^\circ 02' 35" = 47.04305^\circ$

Entonces, con los valores de $R = 110.0$ m, $L_e = 50.0$ m y deflexión Δ , proceder a calcular los elementos de la curva de transición (figura 8). Las ecuaciones para el cálculo de las curvas de transición son:

Ángulo entre las tangentes a los extremos de la espiral:

$$\theta_e = \frac{L_e}{2R} \quad \text{(Ecuación 31)}$$

$$\theta_e = \frac{50}{2(110)} = 0.22727 \text{ rad}$$

Ángulo al centro del segmento LC de la curva circular:

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_e \quad \text{(Ecuación 32)}$$

$$\Delta_c = 47.04305^\circ - 2 \left(\frac{180^\circ}{\pi} \right) (0.22727) = 20.99951^\circ = 20^\circ 59' 58"$$

Coordenadas del punto EC respecto a TE:

$$X_c = L_e \left(1 - \frac{\theta_e^2}{10} \right) \quad \text{(Ecuación 33)}$$

$$X_c = 50.0 \left(1 - \frac{0.22727^2}{10} \right) = 49.742\text{m}$$

$$Y_c = Le \left(\frac{\emptyset e}{3} - \frac{5\emptyset e}{1320} \right) \quad \text{(Ecuación 34)}$$

$$Y_c = 50.0 \left(\frac{0.22727}{3} - \frac{5(0.22727)}{1320} \right) = 3.745\text{m}$$

Coordenadas de PC con respecto a TE:

$$k = \frac{Le}{2} \quad \text{(Ecuación 35)}$$

$$k = \frac{50}{2} = 25.000 \text{ m}$$

$$p = \frac{Le^2}{24R} \quad \text{(Ecuación 36)}$$

$$p = \frac{(50)^2}{24(110)} = 0.947\text{m}$$

Longitud de la tangente larga de la espiral:

$$TL = X_c - \frac{Y_c}{\text{Tan}(\emptyset e)} \quad \text{(Ecuación 37)}$$

$$TL = 49.742 - \frac{3.745}{\text{Tan}(0.22727)} = 33.570\text{m}$$

Longitud de la tangente corta de la espiral:

$$TC = \frac{Yc}{\text{sen}(\theta_e)} \quad \text{(Ecuación 38)}$$

$$TC = \frac{3.745}{\text{sen}(0.22727)} = 16.621\text{m}$$

Cuerda de la espiral entre TE y EC:

$$CL = \sqrt{Xc^2 + Yc^2} \quad \text{(Ecuación 39)}$$

$$CL = \sqrt{49.742^2 + 3.745^2} = 49.882\text{m}$$

Segmento de tangente principal entre TE y TI:

$$Te = K + \left[(R + P) \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \right] \quad \text{(Ecuación 40)}$$

$$Te = 25.00 + \left[(110.00 + 0.947) \tan\left(\frac{47.04305^\circ}{2}\right) \right] = 73.291\text{m}$$

Externa de la curva total:

$$Ee = \left[(R + P) \sec\left(\frac{\Delta}{2} - 1\right) \right] + P \quad \text{(Ecuación 41)}$$

$$Ee = \left[(110.00 + 0.947) \sec\left(\frac{47.04305^\circ}{2} - 1\right) \right] + 0.947 = 52.811\text{m}$$

3.4.2 CÁLCULO DE SOBREELEVACIÓN NECESARIA

Para alcanzar en la curva circular simple el peralte¹⁷ requerido a todo lo largo de ella, debe realizarse una transición desde el bombeo¹⁸ del alineamiento recto hasta el valor del peralte. Este debe satisfacer los requerimientos exigidos por la dinámica del movimiento, la maniobrabilidad del vehículo, el confort del conductor y la geometría del trazado. Para el cálculo de e_{nec} se utilizará la ecuación 2 del capítulo 2 y tomando los datos de la curva anterior se obtiene:

$$e_{nec} = e_{m\acute{a}x} (2R_{m\acute{i}n}/R - R_{m\acute{i}n}^2/R^2)$$

$e_{m\acute{a}x}$: de la tabla 17 de parámetros del MOP = 8%

$$e_{nec} = 8((2(60)/175)-(60)^2/(175)^2)$$

$$e_{nec} = 4.54\%$$

La distribución de este peralte se hace como se indica en la figura 9 del capítulo 2 y se desarrolla para curvas con transición simple de peralte, en esta situación, se recomienda que el peralte se desarrolle 2/3 de la longitud total de transición sobre las tangentes y 1/3 de la longitud total de la curva al principio y final de ella, y sobre el tercio de longitud restante al centro de la curva, el

¹⁷ Inclinación transversal de la vía en las curvas.

¹⁸ Inclinación transversal hacia ambos lados del eje de la vía en la recta.

peralte necesario obtenga su valor máximo, calculado como ejemplo a continuación:

$$P_c = 3+926.16 \qquad P_t = 3+994.96 \qquad L_c = 68.80 \text{ m} \qquad R = 175.00 \text{ m}$$

De la tabla 9 del capítulo 2 entrar con la velocidad de diseño que es de 50.0 Km/h y con el radio de 175.0 m, en la columna de 4 carriles encontrar que esta longitud de transición (L) es de 50.0 m, pero como se especifica en la tabla 7, la longitud de transición obtenida es la mínima recomendable, por lo que siempre que las condiciones topográficas y económicas lo permitan, es aconsejable que estas longitudes sean aumentadas de acuerdo con el criterio del diseñador¹⁹.

TABLA 9: $e_{\text{máx}}=8\%$

R (m)	V=50km/h		
	e (%)	2 Crs	L (m) 4 Crs
500	3	28	42
400	3.6	28	42
300	4.5	28	42
250	5.1	28	42
200	5.8	31	47
175	6.2	33	50
150	6.7	36	54
140	6.9	37	56
130	7.1	38	58
120	7.3	39	59
110	7.6	41	62
100	7.8	42	63

Longitud de
curva circular
 $L_c = 68.80 \text{ m}$

Longitud mínima de
transición (tabla 9)
 $L = 50.00 \text{ m}$

$$L_c/3 = 22.93 \text{ m} \qquad 2L/3 = 33.33 \text{ m}$$

La longitud de transición para diseño será:

$$L_s = L_c/3 + 2L/3 = 22.93 + 33.33 = 56.26 \text{ m}$$

$L_s = 56.26 \text{ m} > 50.0 \text{ m}$ (tabla 9), cumple.

¹⁹ El criterio del diseñador tomará en cuenta los costos de metraje del pavimento para dar una longitud máxima que sea económicamente factible para el constructor, sin sacrificar la seguridad del usuario de la vía.

La estación de inicio de la transición será:

$$P_c - 2L/3 = (3+926.16) - 33.33 \text{ m} = 3+892.83$$

La estación donde inicia el peralte necesario será:

$$P_c + L_c/3 = (3+926.16) + 22.93 \text{ m} = 3+949.09$$

De igual manera obtenemos las estaciones de la salida.

La estación donde finaliza el peralte necesario será:

$$P_t - L_c/3 = (3+994.96) - 22.93 \text{ m} = 3+972.03$$

La estación final de la transición será:

$$P_t + 2L/3 = (3+994.96) + 33.33 \text{ m} = 4+028.29$$

Aunque el tramo en análisis parezca simple, se puede obtener una buena apreciación de lo que es un diseño y las decisiones a tomar, como en el caso donde la estación calculada al final sería la ideal, pero si se observa detenidamente la planta en la figura 40, la longitud de transición calculada traslapa con la otra curva por el hecho de compartir una tangente muy corta. Como la curva siguiente es una espiral y se sabe que la longitud de transición de esta es igual a su longitud (L_e), que en este caso es de 50.00 m, el criterio a utilizar es el siguiente:

Al terminar la tangente se debe obligar la corona a alcanzar un peralte de cero para que pueda pasar a la siguiente transición como en la figura 41.

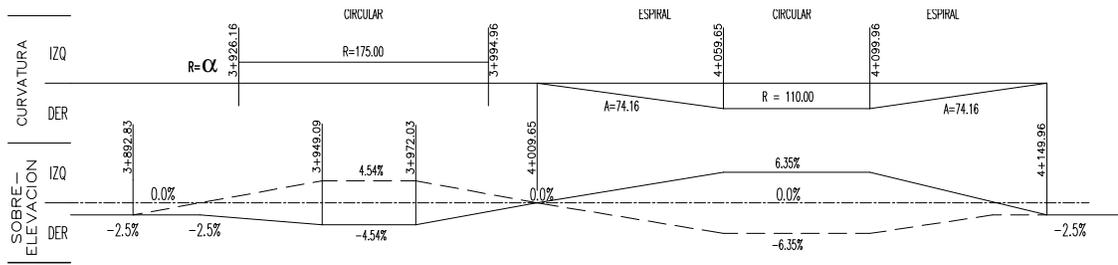


FIGURA 41: ACONDICIONAMIENTO DEL PERALTE EN UN TRAMO DE CARRETERA.

El cálculo de los peraltes para cada estación entera que se traza en campo cada 10 metros, se hace de forma lineal. Obteniendo una fórmula de simple geometría, como se muestra a continuación:

Para conocer el peralte de la estación 3+910, por interpolación, con los datos de la figura 42 se hace lo siguiente:

3+892.83	e =	- 2.50%
3+910.00	e =	?
3+949.09	e =	+4.54%

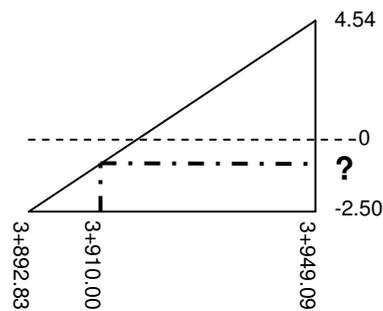


FIGURA 42: INTERPOLACIÓN DEL VALOR DEL PERALTE.

$$e(3+910) = (7.04(17.17))/56.26 = 2.14\%$$

como no es mayor que 2.5%, significa que no ha llegado aún al cero, y su verdadero valor es:

$$e(3+910) = 2.14\% - 2.5\% = -0.36\%$$

En la figura 41, se observa que esta curva es izquierda, debido a que el radio está dibujado en ese lado de la “guitarra”²⁰, entonces, el lado derecho de la corona de esta sección transversal se elevará, con un valor de peralte de 0.36% negativo, es decir, con desnivel desde el eje hacia el lateral derecho; y el lado izquierdo, por su parte, mantendrá un bombeo de 2.5% negativo.

Una vez el bombeo del lado izquierdo sobrepase el valor de -2.5% los datos de peralte en la sección serán:

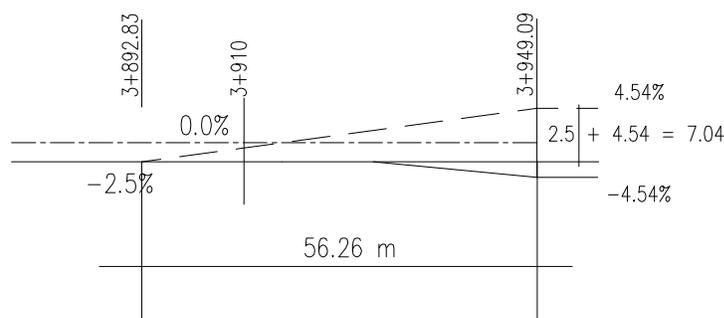
$$e(3+940) = (7.04(47.17))/56.26 = 5.90\%$$

este resultado sobrepasa a 2.5% y su verdadero valor es:

$$e(3+910) = 5.90\% - 2.5\% = +3.40\%$$

En el lado derecho será:

$$e = +3.40\% \text{ y lado izquierdo } e = -3.40\%.$$



Una vez se sobrepasa el valor del bombeo en el lado interno de la curva, la sección gira incrementándose el mismo valor a ambos lados de la corona hasta alcanzar el peralte máximo.

FIGURA 43: ESQUEMA DE LA TRANSICIÓN DEL PERALTE.

²⁰ Se denomina “guitarra” a la gráfica que se incluye al pie de los planos de planta y perfil que contiene el arreglo de los elementos geométricos a lo largo del eje de un proyecto y que permite su fácil visualización y comprensión. Usualmente, se detallan en la “guitarra” el sobreelevado, el peralte o sobre-elevación y radios de curvatura.

3.4.3 CÁLCULO DE SOBREANCHO UTILIZANDO NORMA DE LA SIECA (CAP. 4, SEC. 4.5.6)

El cálculo del sobreancho no es tan complicado como el peralte, ya que la tabla 12 (pág. 68) proporciona datos muy confiables debido a que son obtenidos de las formulas de la AASHTO y se les ha aplicado un factor de seguridad adicional al ser incluidas en las normas de diseño de la SIECA.

Tomando como ilustración la curva del ejemplo anterior de radio igual a 175.0 m, y una longitud de curva de 68.80 m, con velocidad de diseño de 50 Km/h, utilizando la tabla 12 del capítulo 2; se obtiene para $R=175.0$ m un sobreancho $S_a= 0.65$ m; según la SIECA (capítulo 4), este valor se multiplica por 2 por tratarse de una sección de 4 carriles, y el valor así calculado es $S_a= 1.30$ m, esto aplicaría si la carretera no llevara un separador central que divide los carriles de circulación en sentidos opuestos, pero no es el caso ya que la sección transversal de diseño de la calle ampliada a Huizucar sí lo tiene (figura 44), y el Departamento de Planificación Vial del MOP considera aceptable la omisión del sobreancho a las curvas horizontales por la limitante del derecho de vía, no obstante las rampas de los retornos N° 1 y N° 2, de radios de curvatura pequeños (20.0 m a 25.0 m), poseen sobreanchos de 1.00 m en su orilla interna para permitir que los vehículos de carga o autobuses puedan girar fácilmente.

Para poder distribuir el sobreancho, en toda la curva, se toma como base el mismo criterio de distribución que el peralte, iniciando la transición del ancho normal del carril interno (en el caso de las curvas circulares simples), dentro de los dos tercios de la longitud de transición obtenida de tablas, sobre la tangente antes del PC, hasta alcanzar el sobreancho máximo ($S_a=1.30$ m) al final del tercio de longitud de curva después del PC. Si se tratara de una curva espiralada, se tiene la opción de dividir por igual el sobreancho tanto del lado interno como externo de la curva que en este ejemplo es $S_a/2 = 0.65$ m.

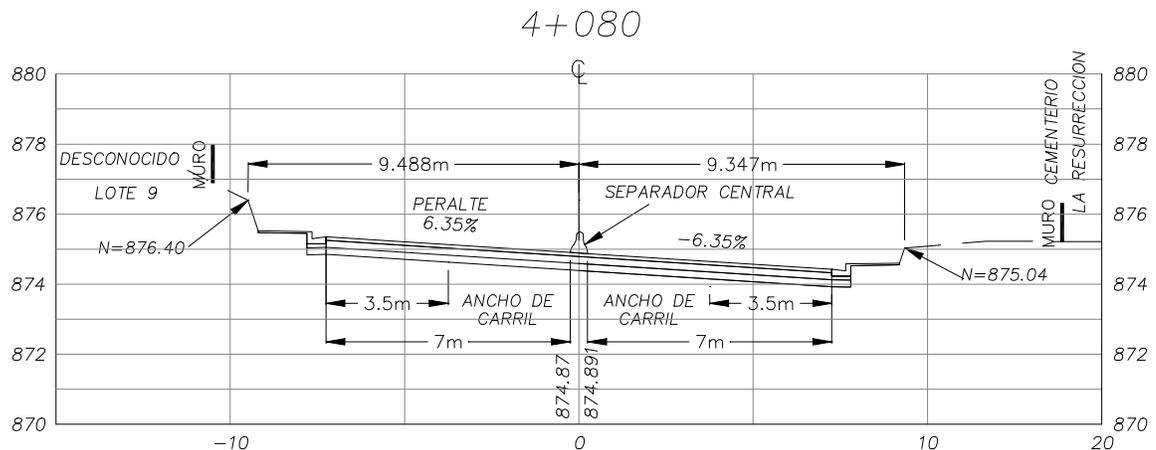


FIGURA 44: SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA EN CURVA SOBRE EJE PRINCIPAL.

3.5 ANÁLISIS DEL ALINEAMIENTO VERTICAL

Este análisis es una comparación entre la rasante del diseño conceptual y la rasante que se va a rediseñar.

Para mejorar la rasante, el criterio utilizado, aparte de cumplir los requisitos técnicos del MOP, es optimizar los movimientos de terracería, minimizando el acarreo que se pueda, para reducir los costos en esta partida; además, como se verá adelante, analizando cuidadosamente las intersecciones en todo el tramo del proyecto, con la ayuda de chequeos topográficos, se verificó que la rasante del diseño conceptual pasa muy por debajo de las intersecciones existentes, por ejemplo en el tramo entre las estaciones 3+720 a 3+750; pero caben las interrogantes ¿Por qué no se deja la rasante del diseño conceptual? y ¿Por qué debe mejorarse? Estas actividades deben realizarse porque la zona está urbanizada, es decir existen viviendas a los costados del proyecto y al proyectar la nueva rasante más abajo o arriba de la existente (por ejemplo con un desnivel de 1.50 m), traerá como consecuencias molestias a las personas que habitan el lugar porque los accesos a sus propiedades quedarán cortados. Otro factor de importancia es la existencia, en estos lugares, de cables bajo el pavimento existente, tales como la fibra óptica de las compañías telefónicas y de televisión, que deben ser reubicadas y esto significa un atraso en la ejecución del proyecto, sin mencionar el volumen de terracería que se

produciría debiendo hacer un desalojo del material inservible, en donde los camiones de volteo forman largas filas esperando ser cargados, provocando así, fuertes congestionamientos de tránsito en el lugar, sobre todo, en las intersecciones y por consiguiente, se disminuye el tiempo de trabajo en las zonas más congestionadas para aliviar el problema. Por estas razones se describen los cambios que se harán como sigue:

- En el tramo inicial entre las estaciones 2+880 a 3+020 la rasante tiende a bajar porque en la estación 2+920 se encuentra la quebrada El Garrobo y un relleno considerable. Esto trae como consecuencia la construcción de grandes taludes o muros para el funcionamiento de la carretera, sin omitir los conflictos que esto traería para las personas que habitan a los costados de la misma.
- Hacia adelante se levanta la rasante entre las estaciones 3+020 a 3+350, la razón de esta decisión es la de no perjudicar a las personas en el lateral derecho, puesto que al hacer este corte de terracería las viviendas quedan demasiado elevadas de la carretera y no tendrían acceso, puesto que es por medio de la calle la única forma de hacerlo. En el lateral izquierdo se evitarán grandes cortes de terracería, logrando que los conductores no tengan temor de transitar por esta carretera, también minimizar los problemas de deslizamiento de tierra que puedan ocurrir en época de

lluvias. Pero, ¿Cómo lograr elevar la rasante en este tramo? Lo más práctico, tomando en cuenta los parámetros de pendiente mínima y máxima que se establecen en la tabla 17 del MOP, es considerar la pendiente máxima del 12.5% para poder lograr una rasante más elevada que la del diseño conceptual.

- El siguiente tramo es lo contrario de lo anterior, aquí lo que se pretende es bajar la rasante para evitar el relleno que se observa entre las estaciones 3+350 a 3+520; cabe decir, que en cada cambio de eje horizontal que se haga, el perfil del terreno natural es distinto, esto ocurre entre alineamientos de eje a eje. El procedimiento es simple, como se describe a continuación, teniendo el perfil del terreno natural y con la ayuda del plano horizontal se identifica qué parte o tramo está coincidiendo con la carretera existente, una vez determinado, se procede a dibujar la tangente que mejor se adapte al terreno, para el caso también tomando en consideración que esta carretera será construida de concreto hidráulico, el cual debe tener un espesor de 23 cm, y la base de suelo cemento con 25 cm de espesor, más la sub-base, se considera de 20 cm a 25 cm de material selecto, y considerando las tuberías de aguas negras existentes en este y otros tramos, es recomendable, por experiencia, levantar la rasante por lo menos 20 cm del pavimento existente, y así garantizar que habrán buenas condiciones de soporte por debajo del pavimento existente,

ya que podría ser que estuviera dañada alguna parte de las capas que lo componen.

- El tramo entre los estacionamientos 3+520 a 5+010; se analizó, habiendo establecido, que debe ser elevada la rasante para aprovechar la carretera existente, esto, en donde lo amerite y cumpla con las especificaciones de diseño. En algunos tramos como el caso desde la Est. 3+120 a 4+340 en donde el perfil del terreno natural se observa mayor que el de la rasante final, eso es así por el hecho de que la carretera existente está a un lado de donde pasa el eje central de la carretera que se está diseñando; en este caso, la metodología a seguir según la experiencia de campo, para poder trazar una rasante paralela a la existente se hace uso de la topografía, en donde se dibujan secciones transversales a lo largo del tramo, anotando las elevaciones del perfil de la carretera existente y luego trasladando esos niveles hacia la nueva rasante del eje central.

- El cambio más considerable del proyecto, entre una rasante y otra, se puede observar en el tramo 5+040 a 5+530 en el cual influye el cambio del eje en planta y las condiciones topográficas que presenta el terreno. En el literal g (página 134) del análisis del alineamiento horizontal se define el motivo por el cual se hace el cambio de alineamiento horizontal y no sólo se pide pasar por el lugar sino que también se deben respetar algunos

niveles, los cuales son: 802.800 m.s.n.m. en la estación 5+260 y 799.500 m.s.n.m. en la estación 5+360, lo cual conlleva a realizar un gran corte de terracería como se puede apreciar en el perfil natural y rasante terminada (figura 45).

- El último tramo el cual finaliza con la intersección con la autopista al aeropuerto de Comalapa, tiene el mismo concepto de aprovechar al máximo la rasante existente de la carretera, y donde sea necesario, mejorarla; no tendrá cambios tan trascendentales como si se tratara de hacer un gran relleno o corte en el lugar cuando éste se pueda minimizar o evitar, haciendo uso de los parámetros establecidos por el MOP (tabla 17).

3.5.1 DISEÑO DE TANGENTES Y CURVAS VERTICALES

Una vez obtenido el eje horizontal de la carretera se procede a dibujar su perfil, y con él se puede comenzar a definir cuál será la rasante final, se inicia trazando líneas rectas con su respectiva pendiente e interceptándolas en un punto en común el cual es conocido como PIV, como muestra la figura 45. Tomando los valores de estos elementos para proceder a su cálculo como sigue:

Con los valores de las pendientes de las tangentes y el valor absoluto de la diferencia algebraica entre ellas, obtener A' :

$$A' = |-9.43\% + (-0.53\%)| = 9.96\%$$

Calculando la longitud de la curva con las ecuaciones 13 y 14 del capítulo 2, páginas 86 y 87, a utilizar para el diseño vertical las cuales son para curva vertical en cresta:

a) Cuando la longitud de la curva es mayor que la distancia de visibilidad:

$$L_{\text{mín}} = \frac{A' S^2}{404}$$

b) Cuando la longitud de la curva es menor que la distancia de visibilidad:

$$L_{\text{mín}} = 2S - \frac{404}{A'}$$

El MOP, previendo que los conductores no transiten por la carretera a velocidad de diseño (50 km/h) ha tomado una velocidad de operación (80 km/h) para dar la distancia de visibilidad de parada según ecuación 15 del capítulo 2.

Pero en general, se puede utilizar la distancia de visibilidad de parada proporcionada por el MOP en la tabla 17 considerando que la velocidad de operación²¹ sea mayor.

$$L_{\min} = KA'$$

Donde:

L: Longitud de la curva vertical, en metros.

A': Diferencia algebraica de pendientes, en %.

K: Parámetro que relaciona la diferencia algebraica de pendientes cuando se considera que la distancia de visibilidad es constante.

Si la longitud para esta curva es de $L = 160.00$ m que es mayor que la distancia de visibilidad de parada que exige el MOP, para curvas en cresta, la cual es de 65.00 m; y verificando el valor de $K = L/A' = 160/9.96 = 16.07$, mayor que el exigido por el MOP, es decir que se puede calcular la rasante final de la curva vertical con la longitud de 160.00 m y un factor de $K = 16.07$, como se muestra a continuación.

Si la longitud para esta curva fuera de $L = 160.00$ m, que es mayor que la distancia de visibilidad de parada que exige el MOP, para curvas en cresta, la

²¹ La velocidad de operación es la máxima velocidad a la cual un conductor puede viajar por una carretera dada, bajo condiciones climáticas favorables y las condiciones prevalecientes del tránsito, sin que en ningún momento se excedan los límites de seguridad que determina la velocidad de diseño.

cual es de 65.00 m, y verificando el valor de $K = L/A' = 160/9.96 = 16.07 >$ que el exigido por el MOP. Esto quiere decir que la rasante final de la curva vertical se puede calcular con la longitud de 160.00 m y un factor de $K = 16.07$.

3.5.2 APLICACIÓN DEL FACTOR “K” EN CURVAS VERTICALES

Existen tangentes en donde, entre ellas, la diferencia de pendientes es muy pequeña. Por lo general, cuando sus magnitudes no varían demasiado, y se utilizan para aliviar a largos tramos con pendientes fuertes cuando los vehículos van en ascenso; entonces, no es necesario cumplir con los requisitos de visibilidad sino que solo basta con cumplir el parámetro del valor de K para curvas en columpio y en cresta; el cual según el MOP es de 10, como se muestra en las figuras 45 y 46.

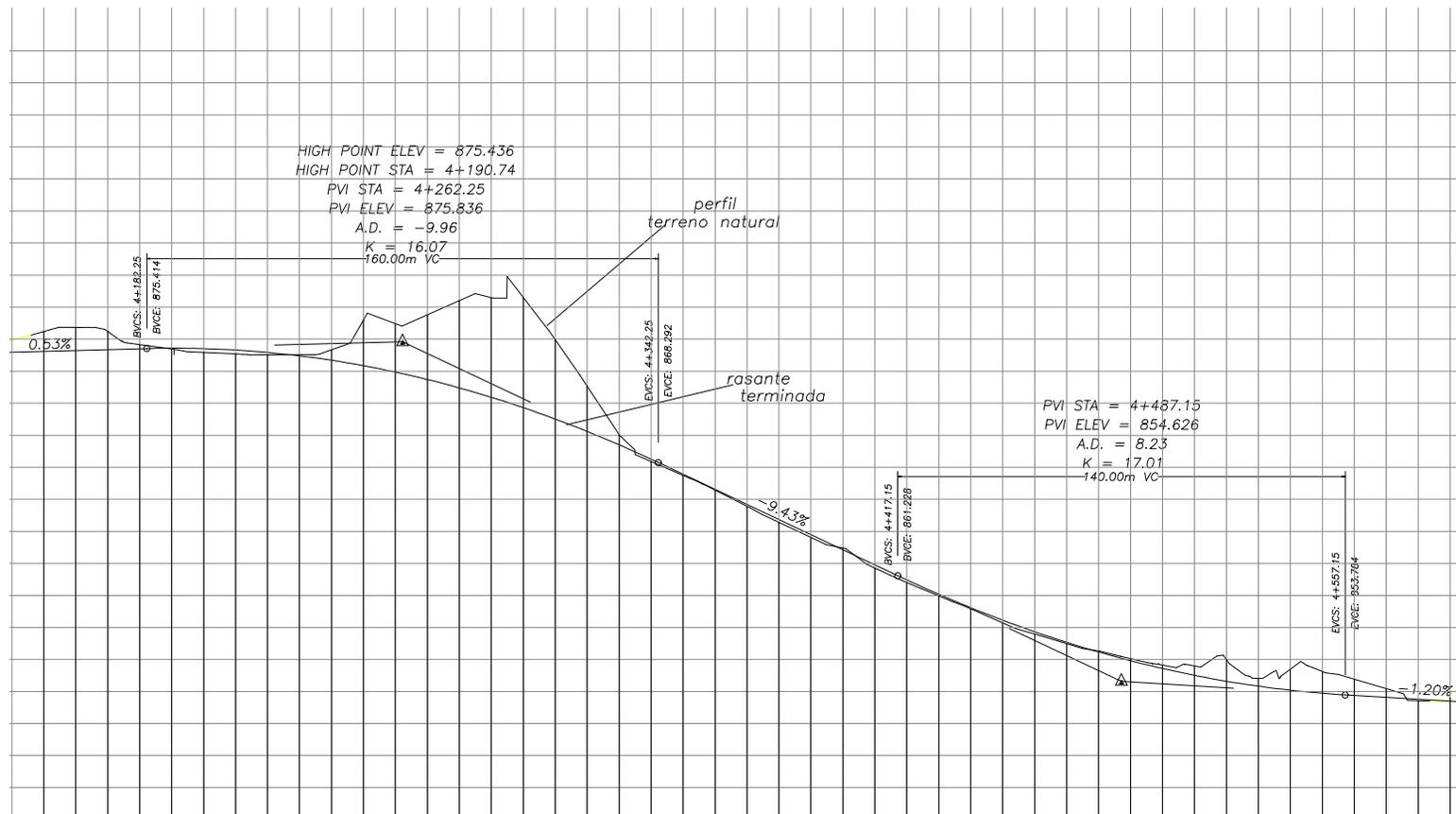


FIGURA 45: DISEÑO DE TANGENTES Y CURVAS VERTICALES CUMPLIENDO CON LOS PARÁMETROS DE DISTANCIA DE VISIBILIDAD Y FACTOR "K".

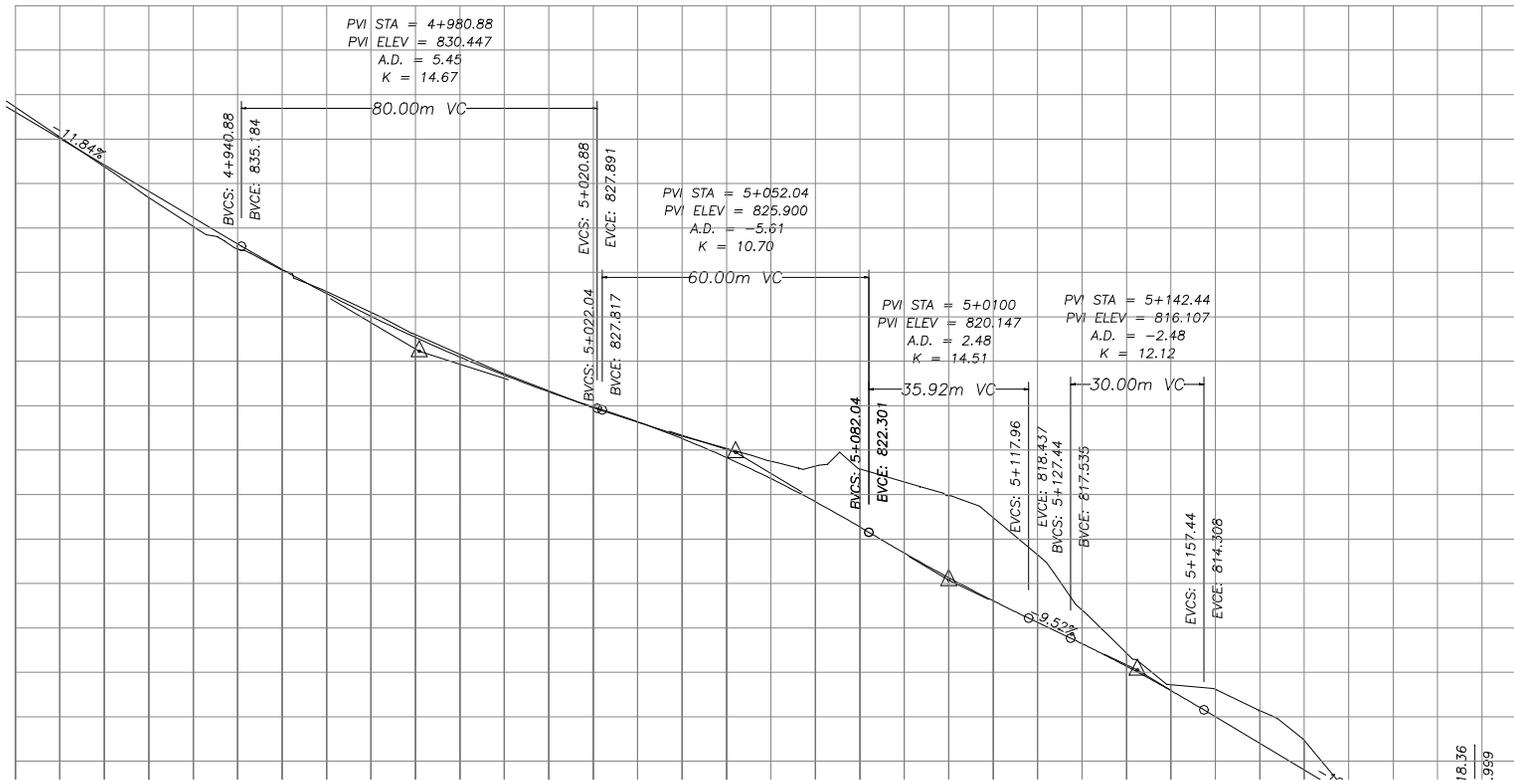


FIGURA 46: APLICACIÓN DEL FACTOR “K” EN CURVAS VERTICALES SIMÉTRICAS CUANDO SE UTILIZAN PENDIENTES SUAVES PARA MEJORAR LA SENSACIÓN DE CONFORT EN EL ASCENSO DE LOS VEHÍCULOS.

3.5.3 CÁLCULO DE LA RASANTE FINAL

Para el cálculo de la rasante final o elevaciones en las curvas verticales parabólicas, se puede utilizar la ecuación de la parábola directamente o sus propiedades geométricas, para calcular distancias verticales desde las tangentes.

Las elevaciones se pueden calcular de dos maneras como se explica a continuación:

Se desea proyectar la curva vertical parabólica en cresta con tangentes de igual longitud, con valor de 160.00 m, con pendientes $g_1 = +0.528\%$ y $g_2 = -9.43\%$, las cuales se interceptan en la estación 4+262.25, de elevación 875.836 m.s.n.m.

Calcular las elevaciones en las estaciones exactas a cada 10.0 m, sobre la curva vertical, y calcular el estacionamiento y elevación del punto más alto de la curva, como sigue:

Datos: Elev. PIV = 875.836; $g_1 = +0.528\%$; $g_2 = -9.43\%$; $L = 160.00$ m

Elev. PCV = Elev. PIV - $(g_1 / 100) (L/2)$

$$\text{Elev. PCV} = 875.836 - (0.00528) (80) = 875.414$$

$$\text{Estacionamiento} = (4+262.25) - 80 = 4+182.25$$

$$\text{Elev. PTV} = 875.836 - (0.0943) (80) = 868.292$$

$$\text{Estacionamiento} = (4+262.25) + 80 = 4+342.25$$

Para el cálculo de la tasa de cambio en pendientes (r), se utiliza la ecuación:

$$r = \frac{g_2 - g_1}{L} \quad (\text{Ecuación 42})$$

$$r = \frac{-9.43 - 0.53}{1.6} = -6.224$$

Donde L se divide entre 100; una vez obtenido este valor de r , se procede a calcular la estación del punto más alto:

$$x = \frac{g_1}{L} (100) \quad (\text{Ecuación 43})$$

$$x = \frac{0.528}{6.224} (100) = 8.49 \text{ m}$$

La estación será entonces: $(4+182.25) + 8.49 = 4+190.74$

Y con la ecuación de la parábola como se indica:

$$Y = \left(\frac{r}{2} \right) x^2 + g_1 x + (\text{Elev. PCV}) \quad (\text{Ecuación 44})$$

$$Y = -3.112x^2 + 0.528x + 875.414$$

calculando para el punto más alto tenemos que $x = \frac{8.49}{100} = 0.0849 \text{ m}$

$$Y = -3.112(0.0849)^2 + 0.528(0.0849) + 875.414$$

$$Y = 875.436 \text{ m.s.n.m.}$$

Para calcular la distancia x en Est. 4+240, restar a ésta la estación del PCV, y obtener que:

$$x = (4+420) - (4+182.25) = x = \frac{57.75}{100} = 0.5775 \text{ m ; y sustituir en la ecuación 44}$$

para obtener la elevación de este estacionamiento:

$$Y = -3.112(0.5775)^2 + 0.528(0.5775) + 875.414$$

$$Y = 874.681 \text{ m.s.n.m.}$$

El cálculo de las elevaciones, para las estaciones siguientes, lleva el mismo procedimiento, sólo debe ingresar el valor de x para obtener la elevación respectiva (tabla 19).

Para el cálculo de las demás curvas verticales, el procedimiento es similar al que se indicó, ahora se calcularán las elevaciones para esta misma curva por medio de las distancias verticales desde las tangentes.

Para determinar las elevaciones de la curva por distancias horizontales, calcular las elevaciones sobre la tangente a la curva vertical, que correspondan a las estaciones deseadas, del PCV hasta el PIV utilizando g_1 y desde el PIV hasta el PTV, utilizando g_2 . Seguidamente, calcúlense las distancias verticales con la ecuación 45, en la cual $l=L/2$ (ecuación 46); y aplíquese a las elevaciones de la tangente. Ya que una curva vertical parabólica que tiene longitudes iguales de tangente es simétrica, se necesita calcular únicamente las distancias verticales correspondientes a una mitad de la curva, cuando las estaciones estén a espaciamientos iguales y son simétricas con respecto al PIV, como en el ejemplo anterior.

$$y' = \left(\frac{x^2}{l^2} \right) VM \quad \text{(Ecuación 45)}$$

$$l = \frac{L}{2} \quad \text{(Ecuación 46)}$$

VM se calcula en la forma siguiente:

Punto	Elevación (m.s.n.m.)
PCV =	875.414
PTV =	868.292
Suma de elevs. =	1,743.706
$C = \frac{\text{Elev. (PCV + PTV)}}{2} =$	871.853

(Ecuación 47)

$$VM = \frac{\text{Elev. (PIV} - C)}{2} \quad (\text{Ecuación 48})$$

$$VM = \frac{875.836 - 871.853}{2} = 1.99 \text{ m}$$

Ahora, calculando $l = 1.6/2 = 0.8 \text{ m}$; y sustituyendo en la ecuación 45; y tabulando los datos para facilitar el cálculo y verificación de los resultados, se obtiene la tabla 19:

TABLA 19: TABULACIÓN DE RESULTADOS E INFORMACIÓN RELEVANTE DE LA CURVA VERTICAL.

Estación	Elevación sobre la tangente (m)	X (m)	$(x^2/l^2)VM$ (m)	Elevación sobre la curva (m.s.n.m.)*
		En estaciones		
4+182.25 PCV	875.414	0.0000	0.000	875.414
4+190	875.455	0.0775	-0.019	875.436
4+200	875.508	0.1775	-0.098	875.410
4+210	875.561	0.2775	-0.239	875.321
4+220	875.613	0.3775	-0.443	875.170
4+230	875.666	0.4775	-0.709	874.957
4+240	875.719	0.5775	-1.037	874.682
4+250	875.772	0.6775	-1.427	874.344
4+260	875.825	0.7775	-1.880	873.945
4+262.25 PIV	875.836	0.8775	-2.394	873.442
4+270	875.105	0.7225	-1.623	873.482
4+280	874.162	0.6225	-1.205	872.957
4+290	873.219	0.5225	-0.849	872.370
4+300	872.276	0.4225	-0.555	871.721
4+310	871.333	0.3225	-0.323	871.010
4+320	870.390	0.2225	-0.154	870.236
4+330	869.447	0.1225	-0.047	869.401
4+340	868.504	0.0225	-0.002	868.503
4+342.25 PTV	868.292	0.0000	0.000	868.292

* m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar.

La tabla 19 contiene la información detallada de cada punto de estacionamiento a lo largo de la curva vertical, a la izquierda en la figura 45. La primera columna es para los estacionamientos, la segunda columna detalla las

elevaciones de cada estacionamiento sobre la proyección de las subtangentes de la curva. Por su parte, la tercera columna contiene la cota x que simboliza la distancia horizontal, tanto desde el PCV como del PTV, dependiendo de si el punto se encuentra antes o después del PIV, hasta el estacionamiento deseado. La cuarta columna muestra las desviaciones en distancia vertical de las elevaciones de los estacionamientos de la segunda columna respecto a la rasante de la curva vertical, sus valores tienen antepuesto el signo negativo indicando que deben ser restados²².

3.5.4 ANÁLISIS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

En las etapas iniciales del diseño de las carreteras, siempre es conveniente dar la debida consideración al uso de las componentes de dimensiones típicas o mejoradas en la sección transversal, reduciendo sustancialmente los riesgos de accidentes o, inversamente, contribuyendo al mejoramiento de los niveles de seguridad vial. Cualesquiera que sean estos elementos de la sección transversal, deben mantenerse a lo largo de todo el proceso de diseño de una carretera o de un segmento dado de esta carretera.

²² Si estos valores no tienen signo antepuesto, se deduce que son positivos y deberán sumarse a las elevaciones sobre las tangentes de la curva, como en el caso de una curva vertical en columpio.

TRAMIFICACIÓN DEL PROYECTO

Para cada uno de los tramos, se analizan sus corredores (calles tributarias) y se clasifica la vía, por el tipo de terreno atravesado, según la proyección para un año horizonte, que en este proyecto es 2030.

TABLA 20: CLASIFICACIÓN DE TRAMO I Y II DEL PROYECTO.

	Prolongación del Boulevard Orden de Malta	Ampliación de la Calle a Huizucar
Tramo	0+000 - 2+877.47	2+877.47- 5+809.68
Uso del suelo	Urbano	Urbano
Terreno	Montañoso	Llano

DIMENSIONAMIENTO

Para el dimensionamiento de la sección transversal, se efectúa un trazado inicial, cuyas condiciones, superpuestas a las condiciones de tráfico, fueron incorporadas a un cálculo de capacidad en los puntos críticos de cada tramo, a fin de determinar el número de carriles necesarios para este proyecto. El dimensionamiento de los elementos de la sección transversal, basados en el resultado del estudio de tráfico (Anexo III), así como también, tomado en cuenta las condiciones topográficas existentes, dan como resultado la obtención de parámetros, que fueron adaptados para cumplir con requisitos que se ajusten a las velocidades de proyecto. Estos parámetros, están descritos en la tabla 21.

TABLA 21: PARÁMETROS DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE TRAMOS I Y II.

	Prolongación del Boulevard Orden de Malta	Ampliación de la Calle a Huizucar
Ancho de carril (m)	3.65	3.65
Ancho de hombro externo (m)	-	-
Ancho de hombro interno (m)	-	-
Ancho de separador central (m)	2.75	-
Bombeo (%)	2.5%	2.5%
Distancia horizontal al obstáculo más cercano (m)	6.00	6.00
Zona del derecho de vía (m)	25.00	21.40
Se usarán bordillos de drenaje en relleno	Si	No

A partir de esta tabla, se desarrollaron las secciones transversales mostradas en los planos correspondientes adjuntados al final de este trabajo.

Debido a los radios utilizados, la normativa AASHTO no requiere el uso de sobrecanchos para las velocidades de proyecto.

Los taludes a lo largo del proyecto fueron proyectados para tener una inclinación con relación de 1:1/3, lo que significa tener una distancia vertical de 1.0 m por 0.33 m en distancia horizontal. Según se observa en las figuras 49 y

50, los taludes tallados verticalmente fueron provistos con un método de estabilización estructural llamado soil nailing (suelo anclado), que a diferencia de la tierra armada, la cual consiste en el acomodamiento de piezas estructurales para crear una cubierta estabilizadora (keystone o escamas), se basa, como su nombre indica, en el anclaje de una electromalla por medio de pines a base de cilindros de concreto colados “in situ”, cubriendo la superficie de la electromalla con concreto lanzado. Esta técnica de estabilización puede aplicarse tanto para taludes verticales como inclinados (figura 47).

Las variantes en los elementos de las secciones transversales a lo largo del eje del proyecto son innumerables, como ejemplo, se describe las secciones más representativas y las afectaciones que conlleva su configuración.

Est. 3+000, sección en corte con berma sobre el talud izquierdo y vivienda en el lado derecho, sobreelevación de 3.64% (figura 48).

Est. 3+220, sección en corte mostrando al lado izquierdo un muro tratado con soil nailing para mejorar su estabilidad, del lado derecho, la superficie del talud fue tratada con shotcrete²³. En la parte superior, una casa afectada por las proporciones del corte proyectado (figura 49).

²³ El shotcrete es concreto o mortero rociado. En el proceso mojado de la mezcla todos los ingredientes, incluyendo el agua, son premezclados. La mezcla entonces se bombea al inyector donde comprimido la sople en el sustrato para impermeabilizarlo.

Est. 3+280, sección en corte con talud estabilizado con soil nailing al costado izquierdo y berma colocada a 8.00 m de altura sobre la corona de la vía al lado derecho. La mediana comienza su ampliación desde 0.50 m hasta 4.00 m (figura 50).

Est. 3+460, el acotamiento derecho muestra uno de los escasos taludes en relleno que se hizo en este proyecto, del lado izquierdo, un talud en corte cuya corona queda a nivel de área verde (figura 51).

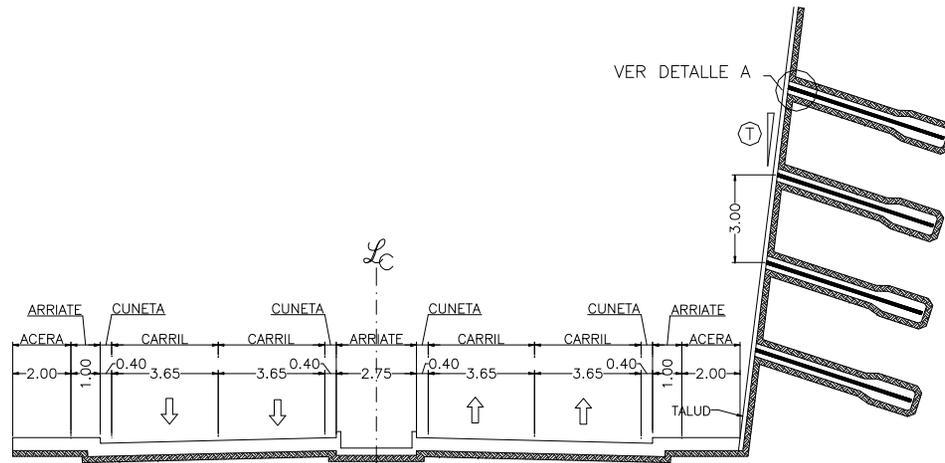
Est. 5+320, sección en corte en Retorno N° 2, el talud izquierdo muestra un escalonamiento múltiple de dos bermas a cada 8.00 m debido a su gran altura. El talud derecho solo muestra una berma (figura 52).

Est. 5+600, sección en balcón, el talud izquierdo existente fue generado en la construcción de la Autopista Comalapa, restringiendo el ancho útil de sección (figura 53).

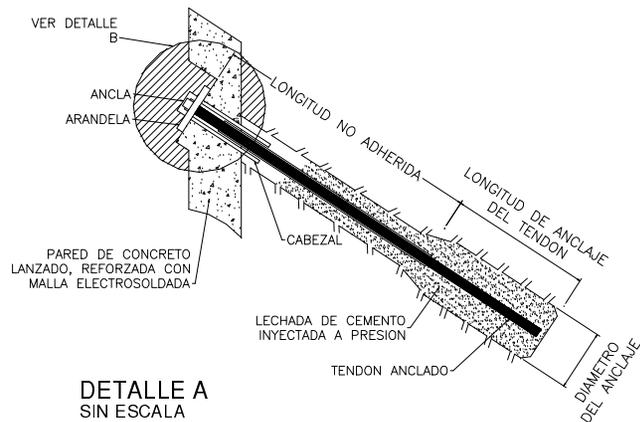
Est. 0+140, sección transversal en corte sobre rampa secundaria del Retorno N° 1. El talud izquierdo se acopla al terreno existente (parte central del retorno que después fue cortado), el talud derecho fue tratado con shotcrete (figura 54).

Est. 0+460, sección parcialmente en corte sobre rampa secundaria del Retorno N° 2. No hubo necesidad de conformación de talud al lado izquierdo. El talud derecho se estabilizó con shotcrete (figura 55).

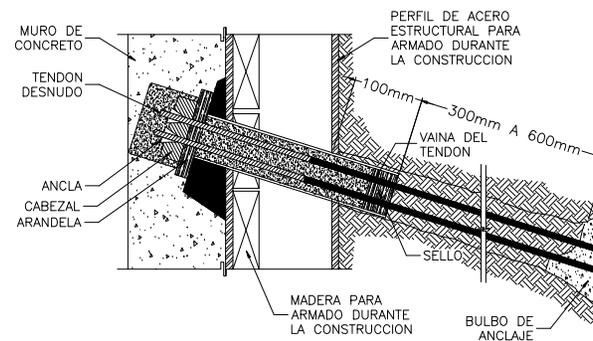
El cambio de la sección transversal de dos carriles a cuatro se debe a la necesidad de habilitar una alternativa atractiva para los conductores y satisfacer la demanda a futuro del tránsito local.



SECCION MURO ANCLADO SIN ESCALA



DETALLE A SIN ESCALA



DETALLE B SIN ESCALA

FIGURA 47: DETALLE DE TRATAMIENTO ESTABILIZADOR PARA TALUD SOIL NAILING.

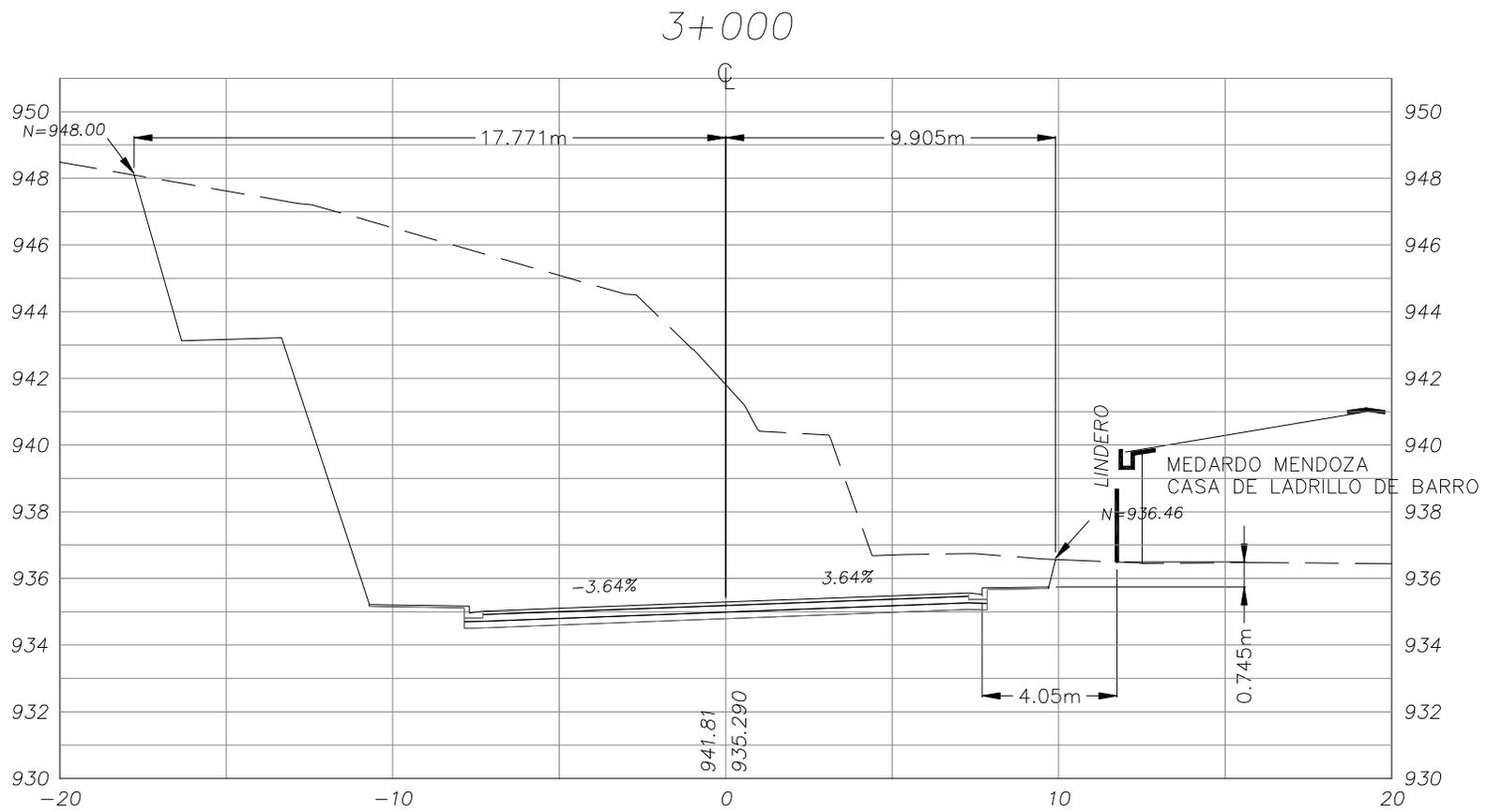


FIGURA 48: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 3+000.

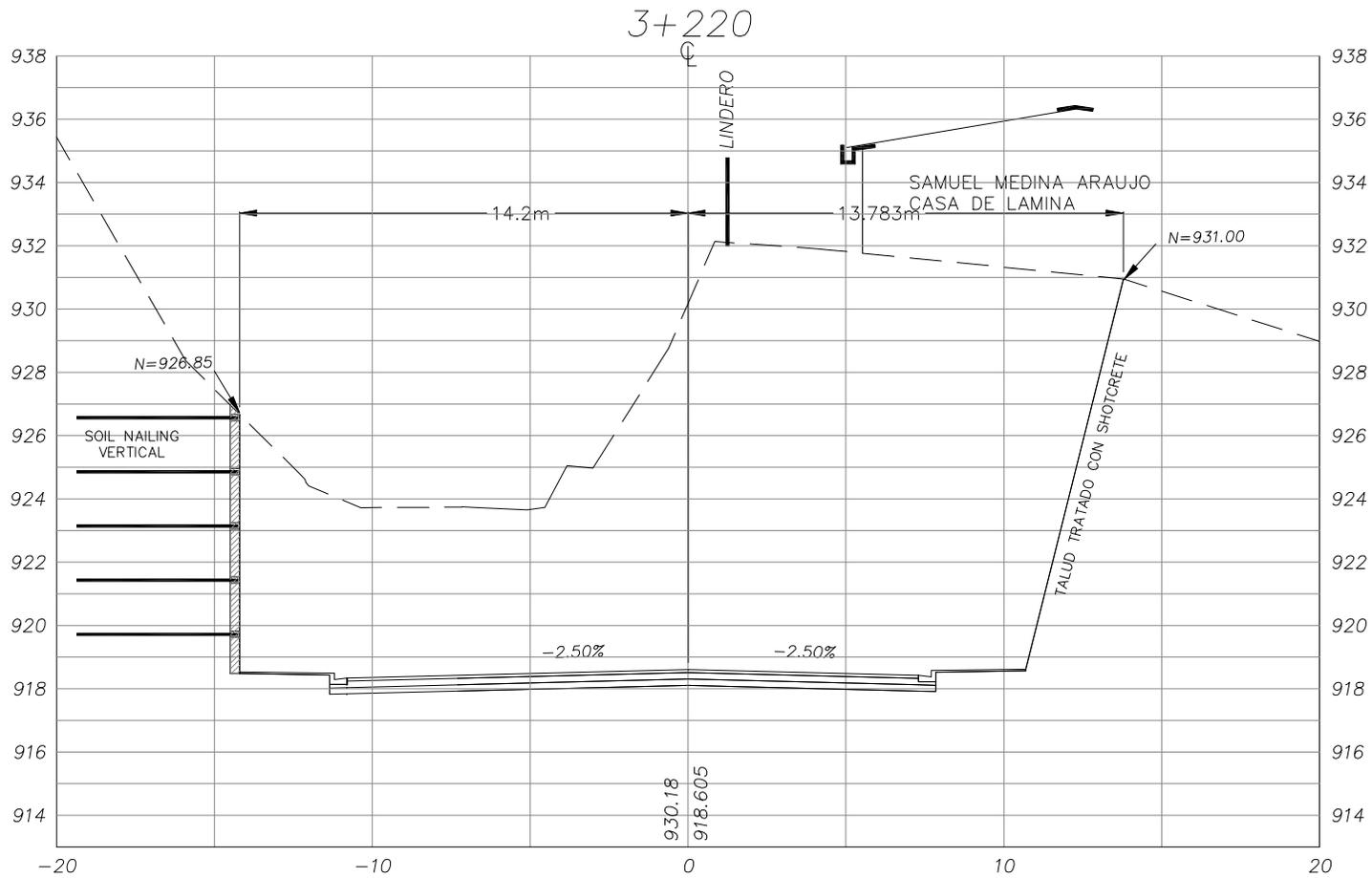


FIGURA 49: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 3+220.

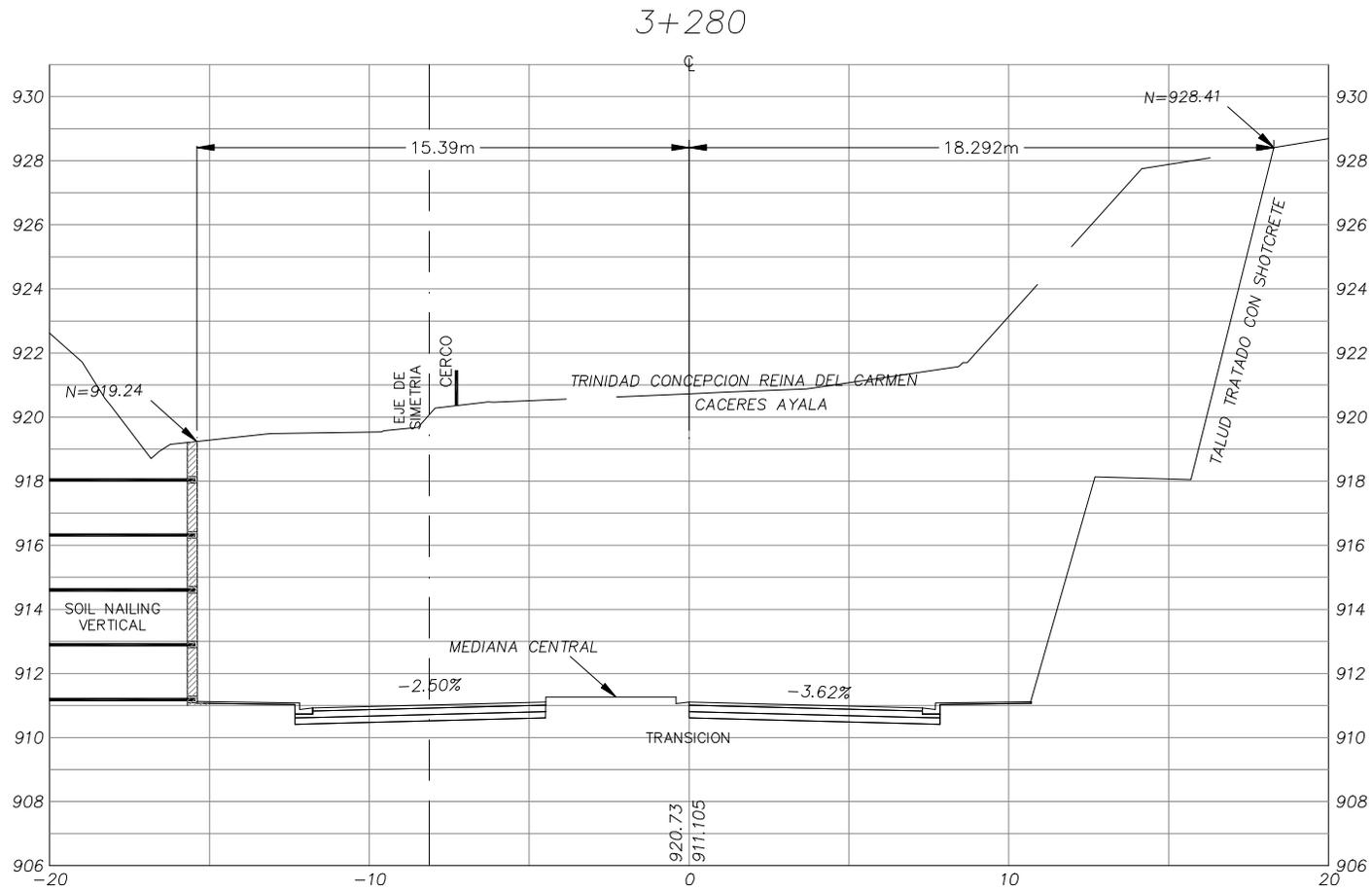


FIGURA 50: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 3+280.

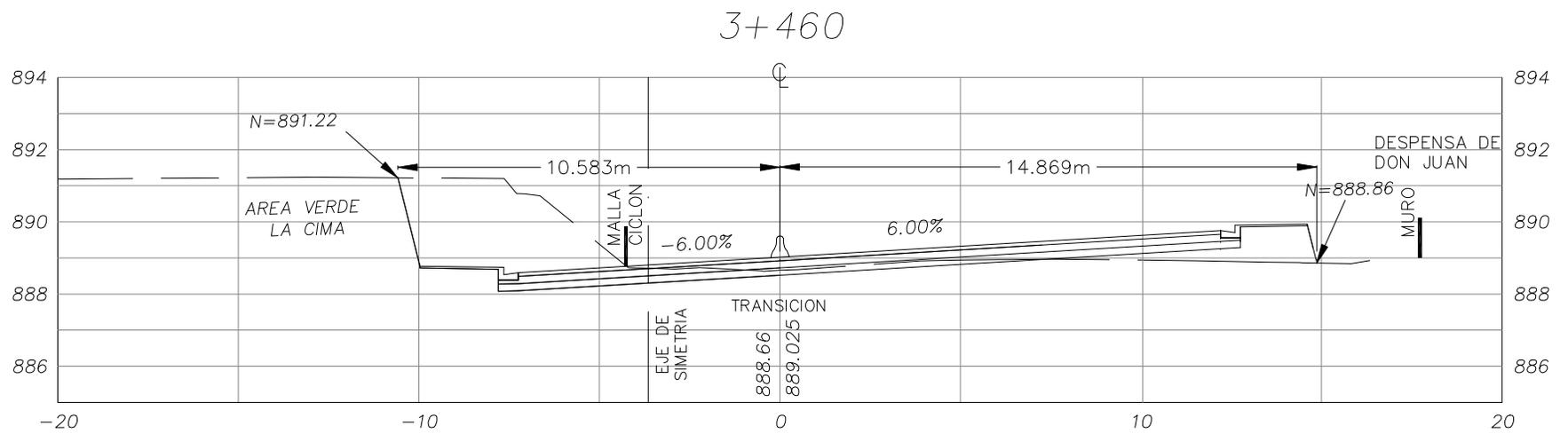


FIGURA 51: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 3+460.

5+320

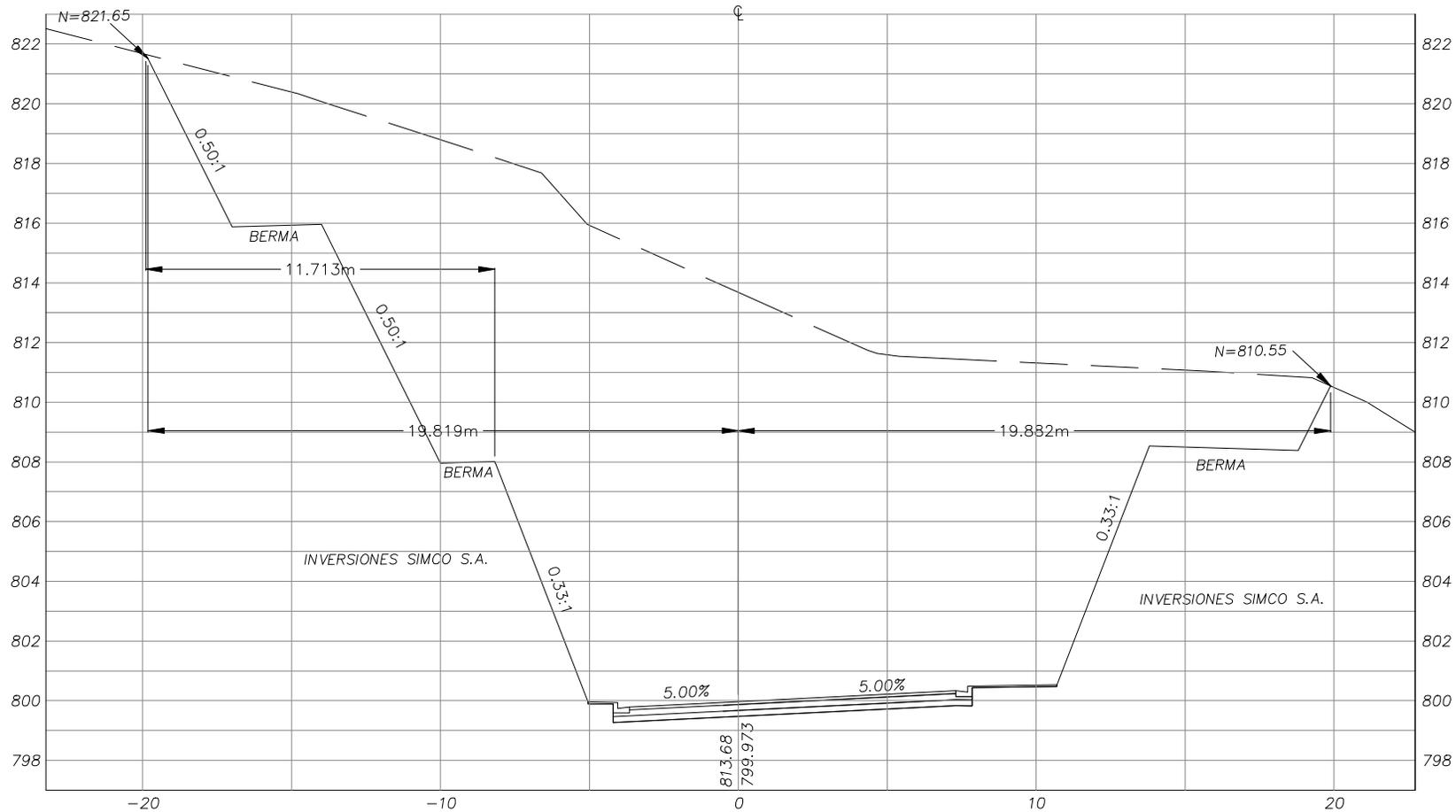


FIGURA 52: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 5+320.

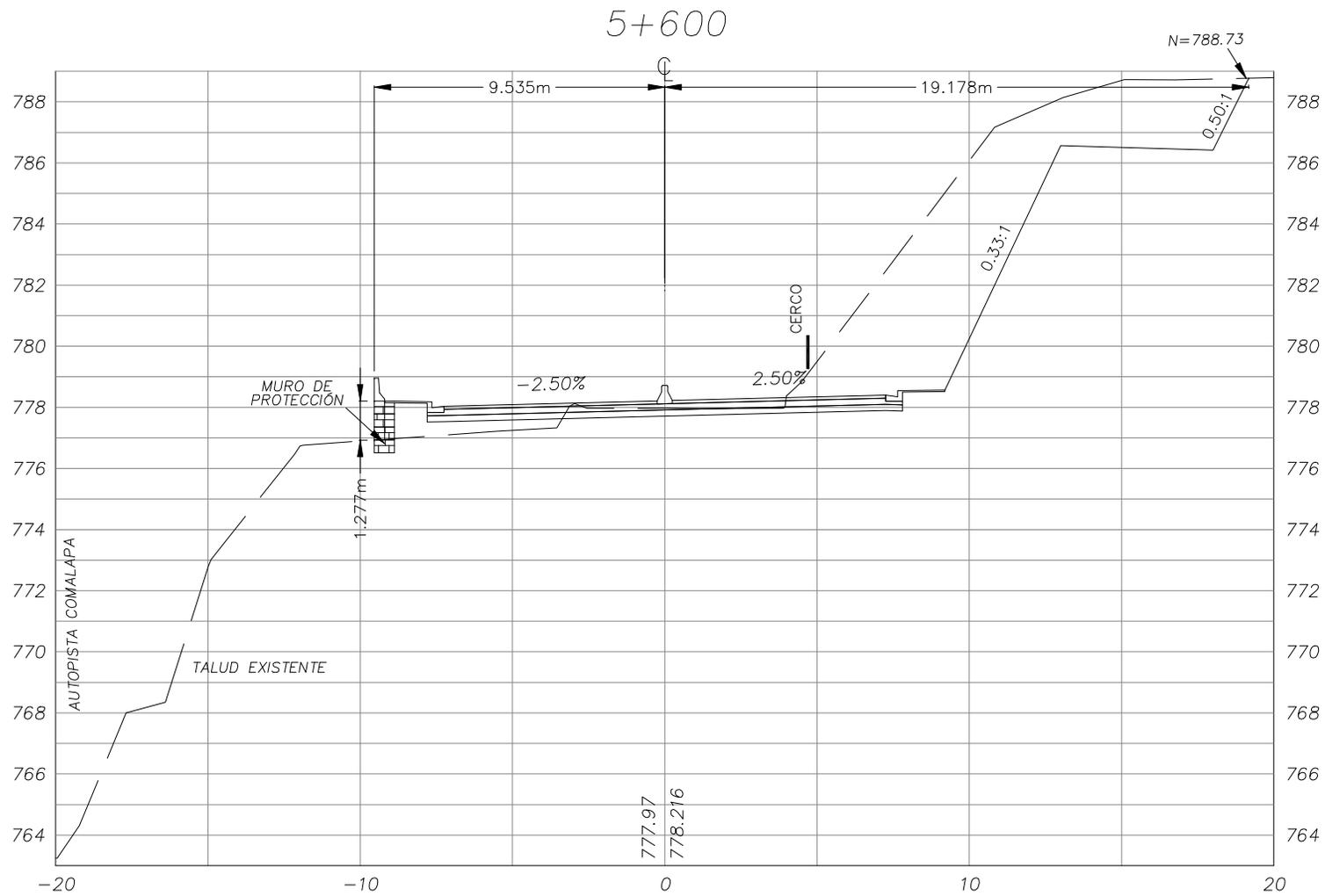


FIGURA 53: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 5+600.

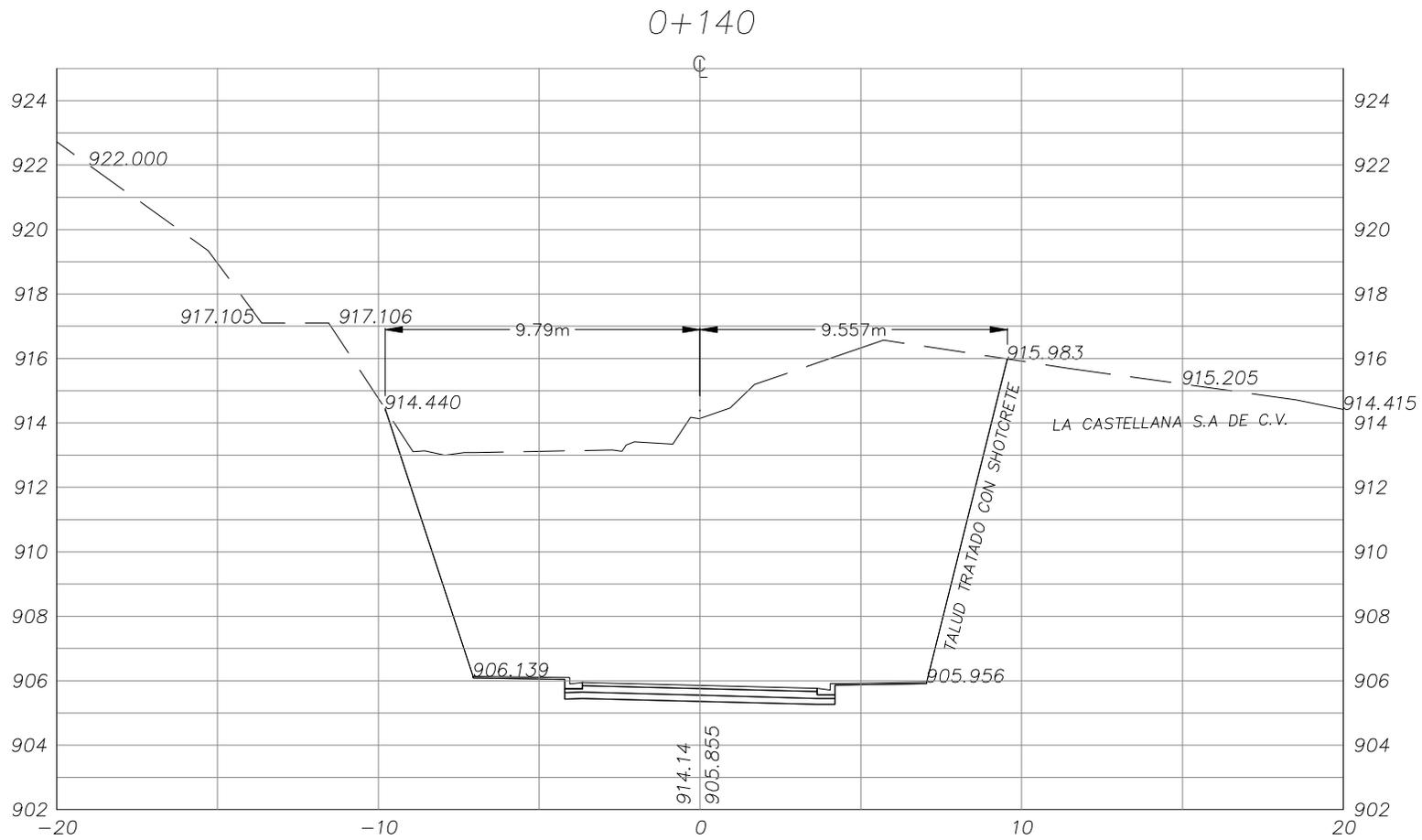


FIGURA 54: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 0+140, RETORNO N° 1.

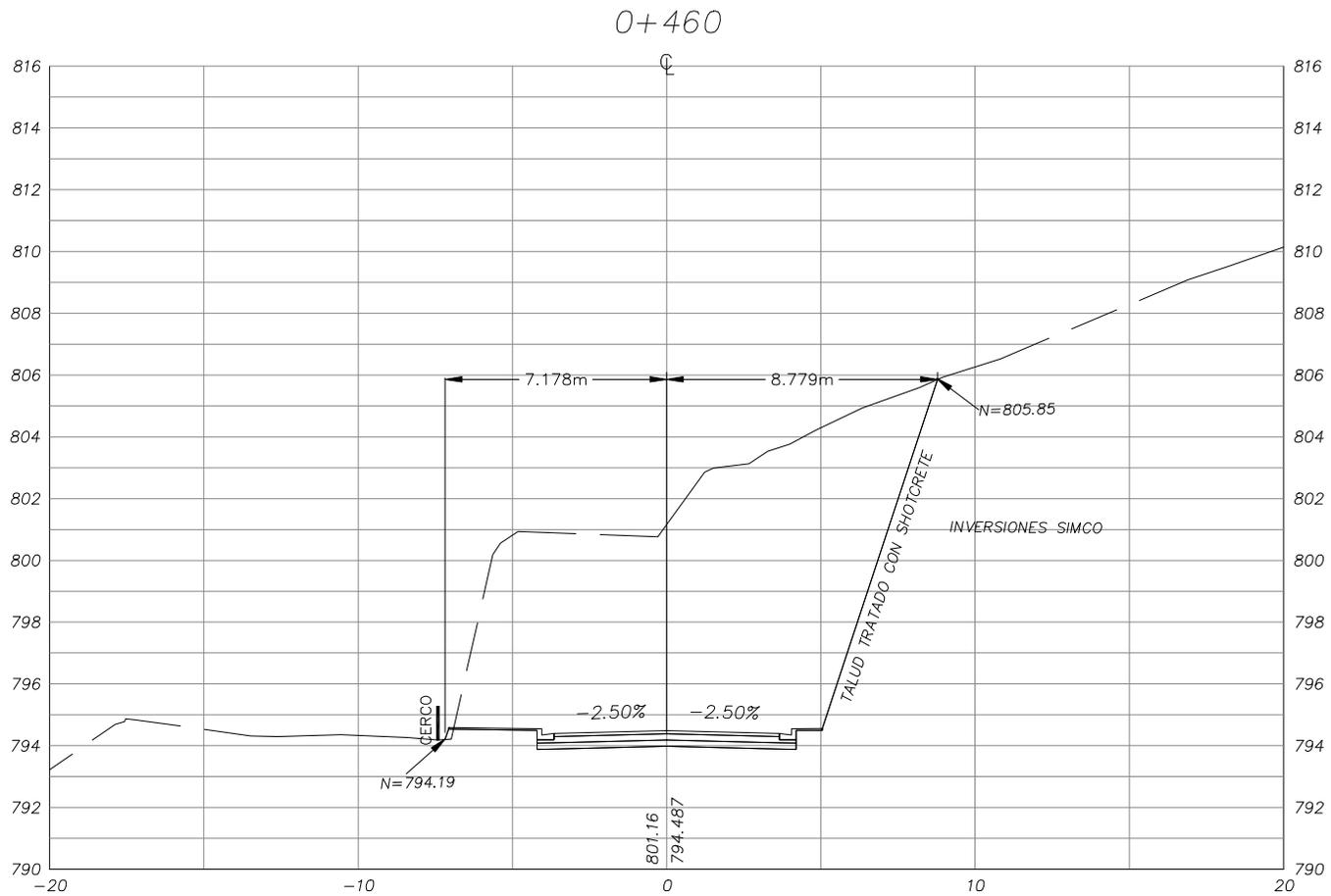


FIGURA 55: SECCIÓN TRANSVERSAL EST. 0+460.

3.6 CONCLUSIONES

- La aplicación de los elementos del diseño geométrico al proyecto “Prolongación Boulevard Orden de Malta y Ampliación de Calle a Huizucar, Tramo II”, se basa en las normativas del diseño geométrico de la AASHTO, los criterios mínimos y máximos establecidos por el MOP en la tabla 17 y la norma de diseño geométrico de la SIECA.
- El análisis de los alineamientos horizontal y vertical, basados en el diseño conceptual, toma las características geométricas del proyecto con el fin de realizar, para un caso específico el cálculo para el diseño de tangentes, curvas horizontales y verticales, cumpliendo de acuerdo con las normas y requisitos establecidos.
- Una carretera que se diseñe en terrenos sin obstrucciones, por ejemplo, una apertura, tendrá mayor libertad para lograr un mejor diseño geométrico, limitado sólo por la topografía del lugar y los costos, que una carretera ubicada en una zona urbanizada.

3.7 RECOMENDACIONES

- Para diseño o rediseño geométrico, usar programas de diseño asistido por computadora (Computer Aided Design, CAD) complementados con los programas especializados Softdesk 8[®] o Land Desktop[®], esto agiliza la realización de cambios de alineamiento ya sea horizontal o vertical, o ambos, puesto que se puede calcular una gran cantidad de ejes y rasantes como alternativas para la propuesta final en corto tiempo, encontrando la mejor opción, lo cual ayuda a la pronta ejecución de los proyectos, permitiendo que cualquier diseñador, que domine los fundamentos de la geometría vial con sus normas, especificaciones del proyecto, dibujo técnico, y conocimiento de manejo del programa este pueda crear planos lo más próximo al final, con alta calidad profesional; a la vez que es más sencillo integrar a varios diseñadores en las tareas de cálculo, compartiendo la misma base de datos utilizando redes de computadoras; o enviando información recopilada en campo desde lugares distantes que cuenten con línea telefónica a través de internet hasta la oficina en donde se procesará la información, en fin, aprovechar las ventajas de la tecnología a nuestro alcance en la productividad de los proyectos.

- El estudio topográfico del lugar debe ser de gran precisión, que esté bien revisado para que sea fiable para el diseño, sin errores garrafales, de lo

contrario, que se vuelva a realizar el levantamiento topográfico detallado del lugar para que esto no conlleve a realizar un diseño geométrico erróneo. Que se realicen rechequeos y replanteos de tramos, puntos o porciones del proyecto que se consideren dudosos o insuficientes para el diseño; además, que se hagan los ajustes correspondientes para complementar detalles omitidos o que en su momento se consideró innecesario tomarlos en cuenta.

CAPÍTULO IV

OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE

4.1 INTRODUCCIÓN

En carreteras, las obras para drenaje de aguas lluvias son menos conocidas que las alcantarillas y los puentes, son de gran importancia, ya que contribuyen a encauzar y eliminar las aguas superficiales que de otro modo causarían daños irreparables a la superficie del camino. A estas obras suele darse el nombre de Obras Complementarias de Drenaje y, como tales, se entenderán en este trabajo las siguientes:

- El bombeo del camino
- Los cordones o bordillos
- Los lavaderos
- Las bajadas
- Las bermas
- Control de erosión en taludes
- Las cunetas
- Las contracunetas

4.2 BOMBEO

Bombeo, es la pendiente transversal hacia fuera que se da a uno y otro lado del eje de cualquier vía terrestre, para permitir que el agua que cae directamente sobre ella, escurra hacia sus dos hombros. En los caminos normales de dos bandas de circulación y en secciones en tangente, es común que el bombeo se disponga con un 2.0% de pendiente desde el eje del camino hasta el hombro correspondiente; en las secciones en curva, el bombeo se superpone con la sobreelevación necesaria, de manera que según se entra a la curva, esta última domina rápidamente, de tal forma que la pendiente transversal ocurra sin discontinuidades, desde el hombro más elevado al más bajo; en este caso y dentro de la transición de la sección en tangente a la de plena curva, suele haber un trecho en el que la conformación de una pendiente transversal adecuada requiere del auxilio de gráficas de apoyo para el desarrollo del peralte (figuras 13 y 41), siendo éste un problema que debe resolverse en cada caso, pero al que ayuda siempre la existencia de pendiente longitudinal.

En las carreteras con más de dos calzadas de rodaje pueden presentarse dos casos típicos: se tiene entre ellas una mediana central relativamente estrecha (menores que 1.0 m) (figura 51) o se tiene una muy amplia (mayores que 2.0 m), generalmente sembrada de pasto (figuras 50 y 56).

En el primer caso, es común que el bombeo tenga lugar de la mediana hacia ambos hombros, pero en el segundo es común que se disponga un bombeo mixto, en dos vertientes con pendientes desde el eje de cada banda hacia el hombro respectivo y hacia la sección central de la vía en la cual suele existir un elemento de canalización.

Cuando se construyen terraplenes sobre suelos blandos, el bombeo, tiende a perderse con el tiempo, porque se produce mayor asentamiento en el centro de la sección que en sus hombros; el cálculo de asentamientos permite conocer esa diferencia en el valor de los hundimientos, a fin de hacer una previsión en el proyecto.

El bombeo, depende no solamente de la precipitación pluvial, sino de la clase de superficie del camino, ya que una superficie dura y tersa requiere menos bombeo que una rugosa y falta de compactación. Al proyectar el bombeo de un camino debe tomarse en cuenta también la comodidad para los usuarios del mismo, puesto que un camino con bombeo exagerado (mayores que 3.0%) provoca que los conductores de vehículos prefieran el centro, en lugar de conservar su vía de circulación. Las pendientes recomendadas para el bombeo son:

- Caminos asfaltados 2%
- Caminos de concreto hidráulico 1½%

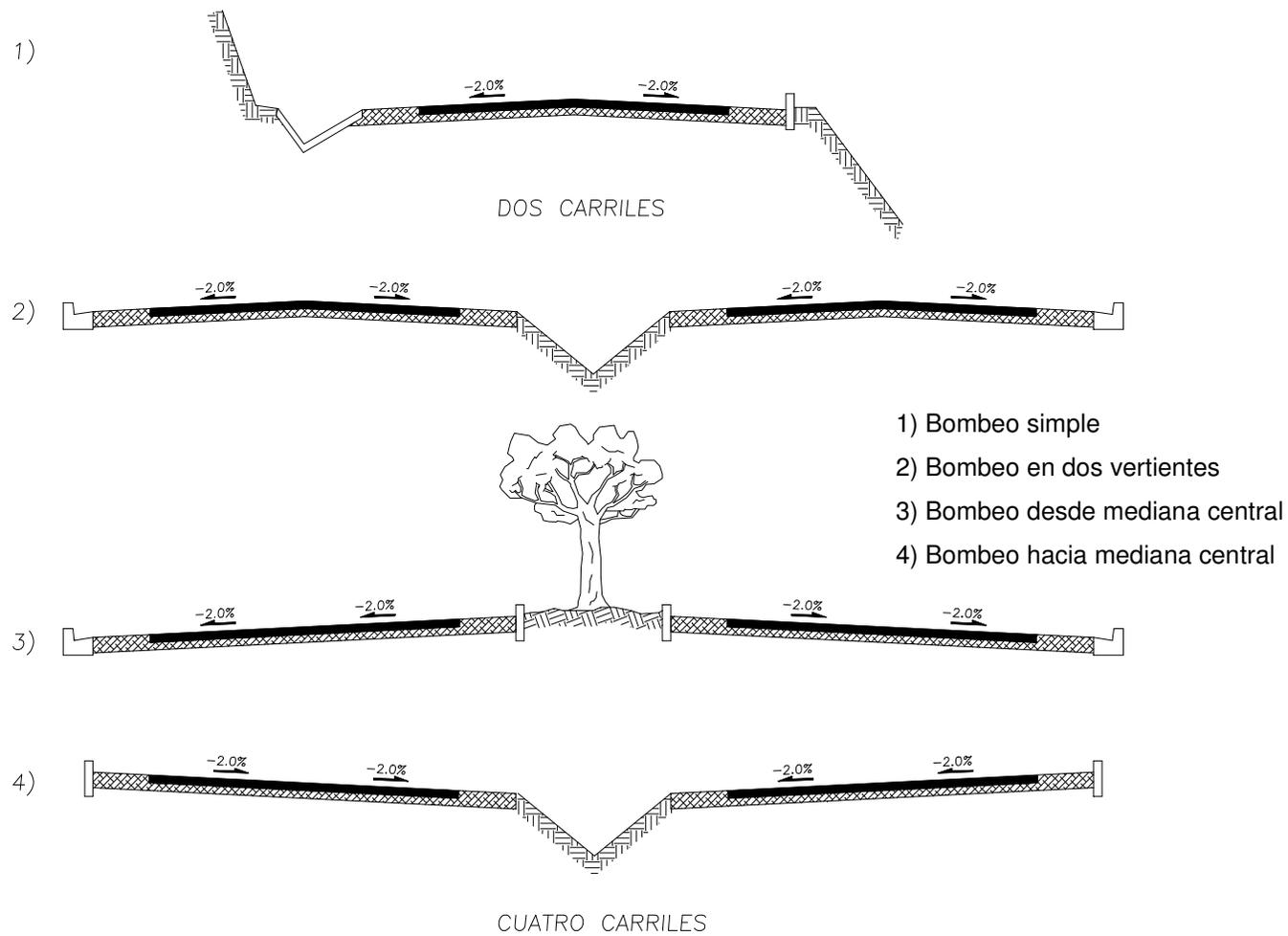


FIGURA 56: BOMBEO EN SECCIONES TRANSVERSALES.

4.3 CORDONES Y BORDILLOS

Son estructuras que se colocan en el lado exterior del acotamiento en las secciones en tangente, en la parte interior de las secciones de terraplén en curva y para el confinamiento de la mediana interna (figura 57). Son pequeños bordos que forman una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos y las bajadas, evitando erosiones en los taludes y saturación de éstos por el agua que cae sobre la corona del camino.

La altura de los cordones debe ser suficiente para que no sea rebasada por el agua almacenada, pero se recomienda que no deba pasarse de 25 cm la altura de los bordillos; sin embargo, funcionarán muy bien con alturas de 12 cm ó 15 cm.

Para la construcción de cordones, hay que utilizar preferentemente concreto asfáltico o hidráulico. El gasto que debe esperarse para ser canalizado por un bordillo puede calcularse en función del área drenada (entre lavaderos), de la precipitación máxima por hora. Al aumentar la pendiente longitudinal de la carretera aumenta la velocidad de escurrimiento del agua confinada por los bordillos, y por consiguiente, disminuye el requerimiento de área hidráulica, el tirante y el ancho de la lámina de agua. Todos los anteriores son efectos deseables y contribuyen a fundamentar el criterio de que es siempre

conveniente que exista algo de pendiente longitudinal en las carreteras. El tirante y el ancho de la lámina de agua que escurre confinada por el bordillo son funciones que dependen poco de la pendiente longitudinal, de manera que bastará disponer un pequeño valor de este concepto en la vía terrestre para tener garantizado un escurrimiento adecuado.

Lo usual es, unir el bordillo con los lavaderos por medio de dos curvas, confinando la zona deprimida del acotamiento. La curva correspondiente al lado aguas arriba del bordillo respecto al lavadero suele hacerse más amplia que la de aguas abajo, para facilitar el paso del agua.

Los bordillos deben proyectarse en donde realmente sean necesarios; o sea, sólo deberán utilizarse, por lo tanto, en aquellos lugares en que el escurrimiento del agua sobre los terraplenes cause cárcavamientos, porque el suelo que forma los taludes sea realmente erosionable y no esté protegido con vegetación.

SECCION TIPICA DE RODAJE CON BORDILLOS INTERNOS

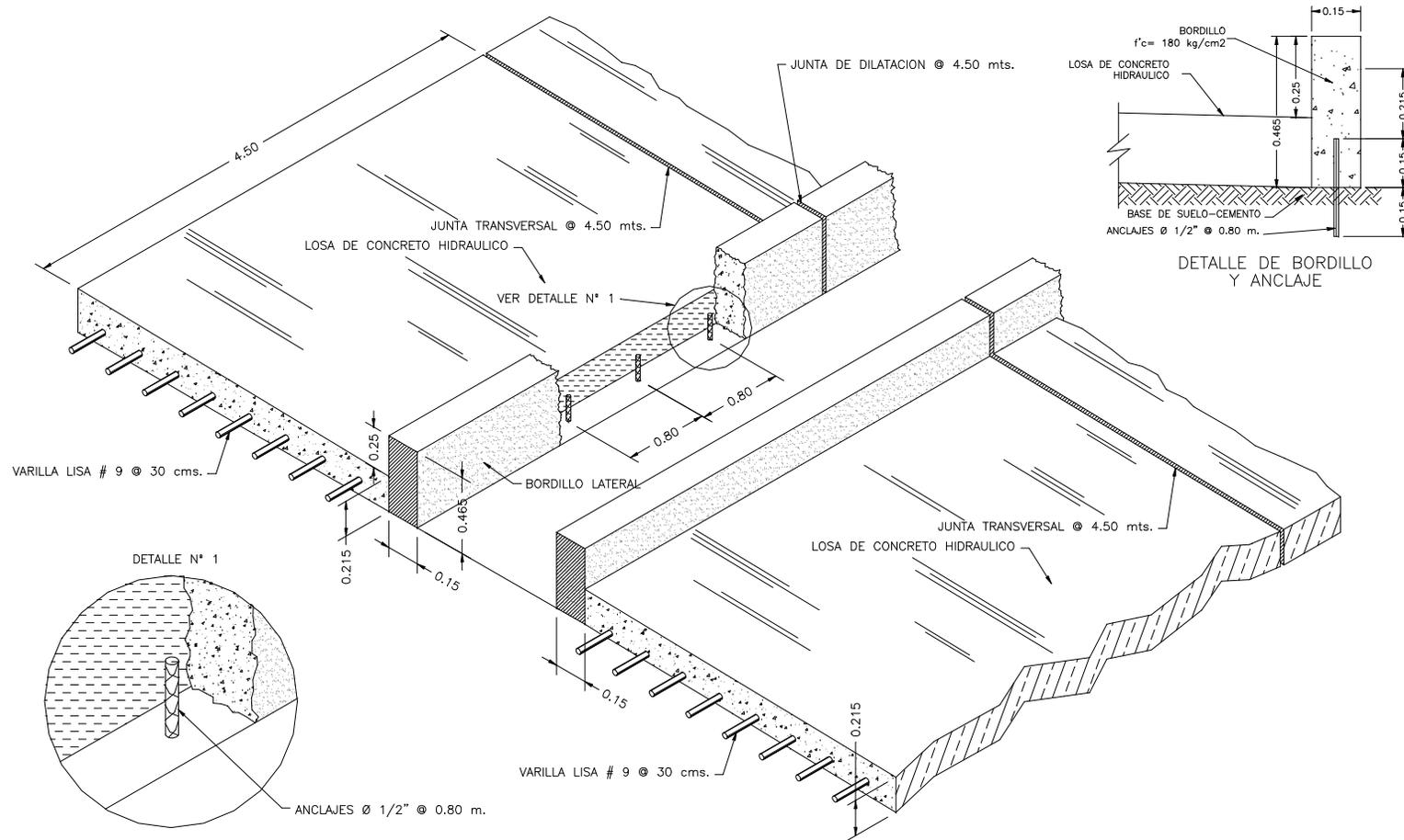


FIGURA 57: DETALLE DE BORDILLOS INTERNOS DELIMITANDO LA MEDIANA PARA UNA AUTOPISTA DE CUATRO CARRILES.

4.4 DERRAMADEROS

Los lavaderos o derramaderos son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, para conducir el agua lluvia que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes.

En general, son estructuras de muy fuerte pendiente (figura 58). Cuando se construyen en carreteras, se colocan sobre los terraplenes, sobre los lados en terraplén de cortes en balcón o en los lados interiores de curvas, cuando corresponde a secciones también en terraplén. En tramos en tangente suelen disponerse cada 60.0 m ó 100.0 m, pero esta separación puede ser variable, dependiendo de la pendiente longitudinal de la vía terrestre y del régimen de precipitación pluvial en la zona.

La capacidad del umbral de entrada del lavadero dependerá de la separación entre ellos, del gasto total que escurre por el bordillo y del tirante en una sección inmediatamente antes del umbral. Izzard, proporciona la siguiente fórmula para el cálculo de la longitud del umbral:

$$Lu = \frac{Q}{0.386(a + y)^{3/2}} \quad \text{(Ecuación 49)}$$

Donde:

LU: longitud del umbral de entrada al lavadero, en metros.

Q: gasto que llega al lavadero y desciende por él, en m^3/s .

a: desnivel entre el acotamiento y la sección más deprimida del umbral de entrada al bordillo, en metros. Generalmente es del orden de 0.06 m.

y: tirante de escurrimiento sobre el acotamiento, en una sección próxima al umbral de entrada, en metros.

Por lo difícil que resulta encauzar todo el gasto que baja del bordillo hacia el umbral de entrada, por lo brusco del viraje que el agua ha de hacer, es usual captar el 80% ó 90% del agua drenada.

Lo común es, que las entradas de todos los lavaderos sean iguales, con capacidades de descarga muy similares, manejándose las diferentes necesidades de captación, más bien, con base a la separación entre lavaderos.

El lavadero propiamente dicho, es el tramo recto o curvo que va desde el umbral de entrada en la parte alta del terraplén hasta donde se efectúa la descarga final del agua para que ésta sea inofensiva.

DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Las fuertes velocidades con que el agua baja por el lavadero harían, en principio, necesaria la construcción de una caja disipadora de energía al pie del mismo, con objeto de evitar erosiones del propio lavadero al pie del terraplén. Una solución tan completa desde el punto de vista hidráulico resulta demasiado costosa, por lo que desde las primeras investigaciones sobre este tema se procura hallar soluciones para amortiguar la energía requerida por el agua en la bajada a menor costo. Al dar gran rugosidad a la plantilla del lavadero, se provoca un flujo de bajada fuertemente turbulento, con arrastre de aire en la vena líquida, y se reduce la energía de la bajada en forma suficiente. La mampostería muy rugosa o el escalonamiento de la plantilla es efectivo cuando las alturas en las gradas del escalonamiento no sean mayores que 1.50 m. La rugosidad necesaria en la plantilla puede incrementarse también colocando piedras ahogadas parcialmente en el concreto, cuando los lavaderos se hacen de este material.

Los lavaderos se construyen muy frecuentemente de mampostería con junteo de lechada de cemento en proporción 1:4. También se hacen de concreto.

En terraplenes muy altos, puede convenir colocar los lavaderos transversal y longitudinalmente, colocando algunas secciones en la dirección longitudinal sobre la superficie del talud, para captar y eliminar las aguas que caen directamente sobre éste, formando así una verdadera retícula canalizadora.

Los lavaderos son estructuras que deben proyectarse únicamente cuando se hagan realmente necesarios. Esto está ligado a la necesidad de proteger terraplenes formados por materiales erosionables y no suficientemente protegidos por otros métodos.

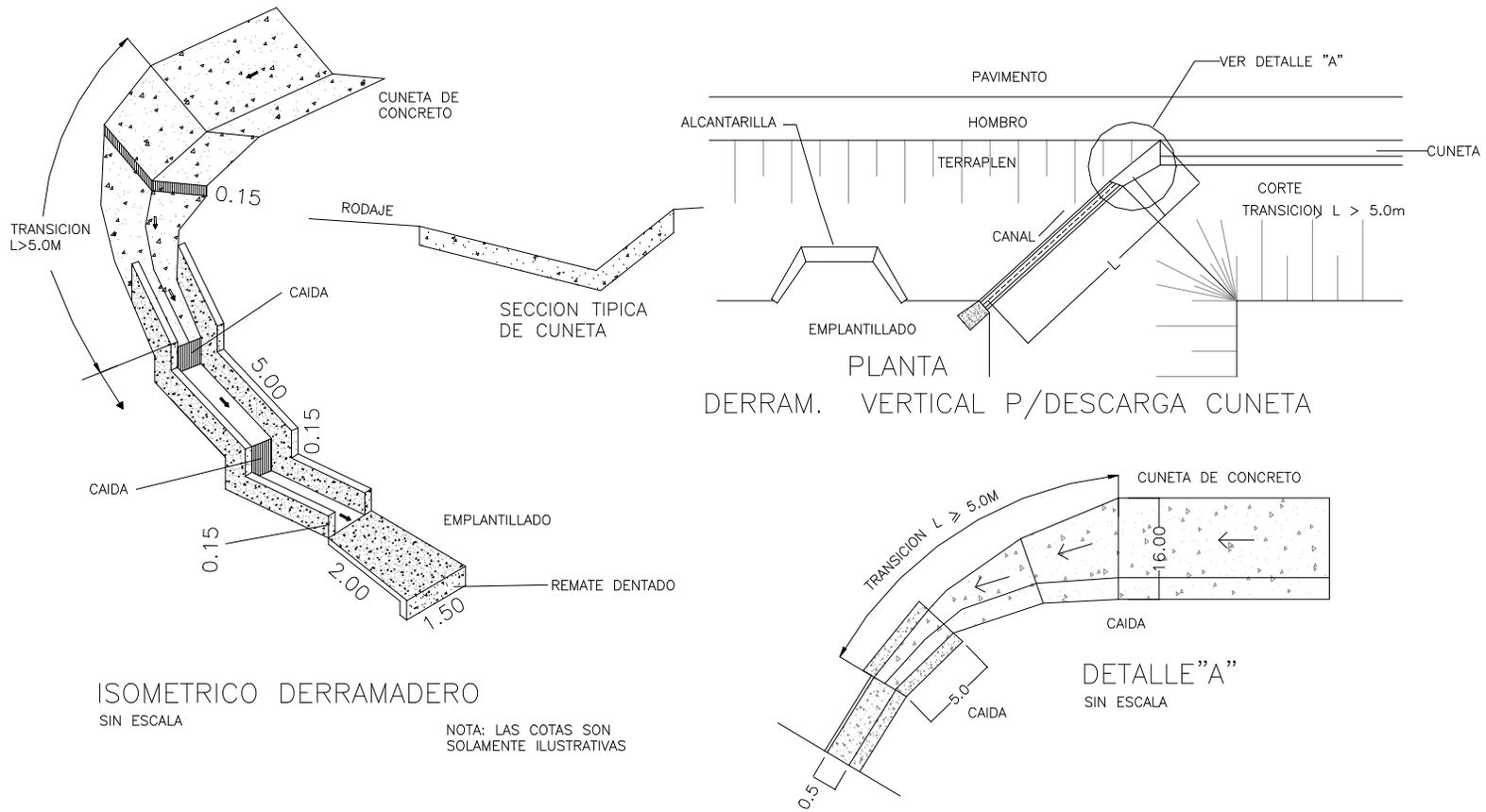


FIGURA 58: DERRAMADERO TÍPICO PARA CUNETAS.

4.5 BAJANTES

Se denominan así a las estructuras análogas a los lavaderos pero de diferente aplicación; algunos las consideran como lavaderos.

Cuando una alcantarilla, debido a la topografía del lugar, queda en la salida con un desnivel mayor que 50 cm con respecto a la continuidad del lecho de cauce, para evitar erosión en el talud se dispondrá de una bajada o bajante.

4.6 BERMAS

Están íntimamente ligadas con problemas de estabilidad de terraplenes. Las bermas construidas en los terraplenes con fines de drenaje suelen tener una relación, peralte: huella, en el orden de 1:1 a 1:1.5, estos valores pueden aumentar a 1:2 ó 1:3 en las que se construyen sobre el terreno natural, para el control de las aguas que bajan por él, amenazando la vía terrestre.

Los escalonamientos en los cortes, cuando se construyen para interrumpir la trayectoria de bajada de las aguas, se recomienda una relación, peralte: huella, gobernada por la inclinación general del corte. Cuando la altura del corte sobre

la rasante es mayor que 8.0 m, es necesario hacer una berma o escalonamiento.

El efecto de la berma o del escalonamiento es disminuir la fuerza erosiva del agua que escurre superficialmente por los taludes de un terraplén o un corte o por el terreno natural. Estos elementos pueden encauzar más convenientemente el agua colectada si se les da una pendiente apropiada hacia los lavaderos, bajadas, etc. Al no realizar estas obras, el agua erosionaría los taludes causando arrastres que provocarían problemas en las cunetas o se infiltraría en el propio talud.

Los problemas de infiltración pudieran ser graves, sobre todo, en el caso de escalonamientos en cortes con materiales susceptibles a la erosión y estos elementos podrían contribuir a auspiciarlos. Es frecuente que en la dirección de su desarrollo longitudinal presenten largos trechos con poca pendiente. En estos casos, los escalonamientos deberán protegerse o no hacerse. En ocasiones, se aprovechan estos escalones para plantar pequeños arbustos que una vez desarrollados protegen la superficie del talud contra la erosión.

4.7 TALUDES

Los taludes se definen como la superficie vertical o inclinada entre porciones de terreno a diferente nivel, producto de movimientos de terracería de un proyecto carretero y forman parte de los accidentes topográficos más comunes. Estos pueden ser taludes en corte o en relleno, los primeros se generan cuando la rasante proyectada de una carretera se encuentra por debajo del terreno natural, lo que dará como resultado una sección transversal en corte; los últimos se generan cuando la rasante proyectada se encuentra arriba del terreno natural, por lo que se tendrá una sección transversal en relleno (figura 25). La inclinación de los mismos varía entre 1:6 a 1:1½, de acuerdo con el tipo de suelo y las exigencias del diseño geométrico. Si el suelo es erosionable, es necesario prever defensas que controlen el proceso erosivo mediante cualquiera de los métodos que apliquen a un caso particular, los que se describen a continuación.

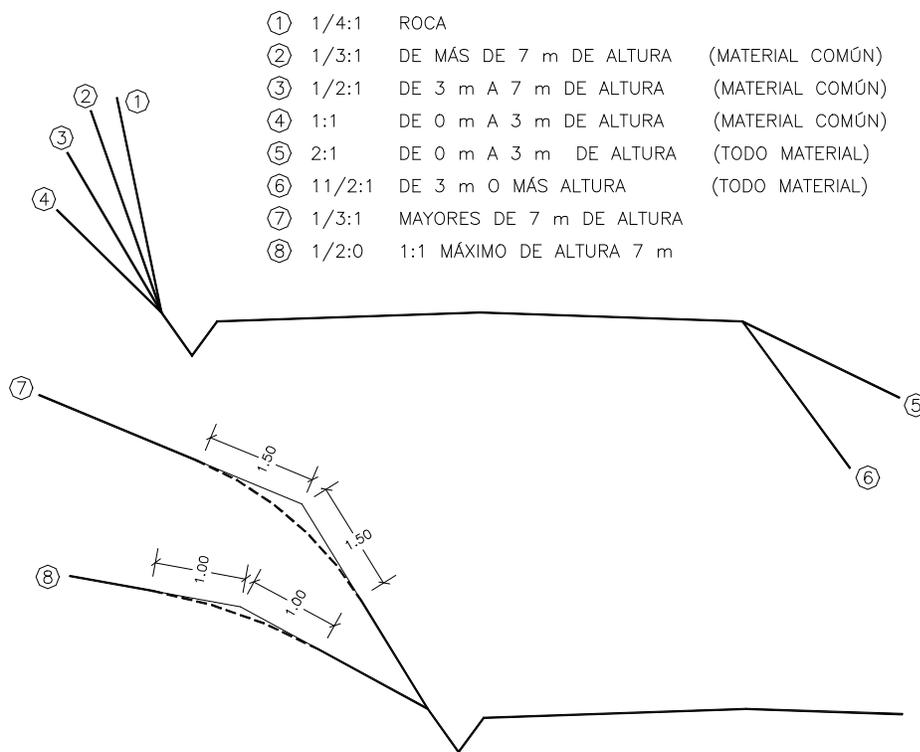


FIGURA 59: TALLADO DE TALUDES.

4.7.1 CONTROL DE EROSIÓN EN TALUDES

GENERALIDADES

El control de erosión comprende el conjunto de actividades necesarias para prevenir y controlar la erosión en los laterales de la vía.

El control de erosión tiene por objeto principal la disminución de los efectos de la acción de los agentes atmosféricos. El viento, por ejemplo, contribuye a la evaporación de la humedad de los suelos; los suelos resacos y poco cohesivos son arrastrados, cambiando las pendientes de construcción de los taludes y facilitando su derrumbe. En los períodos secos y de altas temperaturas, la evaporación excesiva provoca el resquebrajamiento de los suelos que luego infiltra la lluvia, provocando derrumbes.

Actividades

Las actividades principales de control de erosión son:

- a) Reacondicionamiento de taludes
- b) Estabilización de taludes
 - 1. con empleo de vegetación
 - 2. con métodos mecánicos
- c) Control del drenaje superficial

4.7.1.1 REACONDICIONAMIENTO DE TALUDES

El reacondicionamiento de taludes consiste en el conjunto de operaciones destinadas a establecer en los laterales, superficies uniformes que propicien un buen drenaje, y que mejoren el aspecto de la vía. Los trabajos principales de reacondicionamiento de taludes son:

- extender el material vegetal producto del deshierbe, y la tierra, libre de desperdicios, producto de la limpieza de las obras de drenaje.

- rellenar las depresiones para evitar que se agranden.

En general, los trabajos de reacondicionamiento de taludes se complementan con trabajos de estabilización, aplicando los métodos que convengan en cada caso, por ejemplo, el de tierra armada o muro Keystone²⁴, soil nailing, shotcrete o barreras vivas o muertas.

²⁴ Es uno de los métodos de tierra armada más utilizados en nuestro país y consiste en el armado de bloques muy pesados de concreto que se anclan, según su diseño, con geomembranas que proporcionan la firmeza a base de fricción con las capas compactadas de material selecto; el de “escamas” ha sido utilizado exitosamente en diferentes pasos a desnivel en el país.

4.7.1.2 ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

La estabilización de taludes tiene como propósito el mejoramiento de las condiciones mecánicas del suelo para mantener por más tiempo su configuración según el diseño de la sección transversal, minimizando su deterioro, evitando la erosión causada por agentes ambientales (agua y viento). Para ello, se construyen barreras vivas (empleo de vegetación) y obras de protección o barreras muertas (método mecánico), como la hechura de muros, canalizaciones, etc.

4.7.1.2.1 EMPLEANDO VEGETACIÓN

En los taludes, se siembra, especies vegetales adecuadas al sitio, tomando en cuenta la naturaleza del suelo y el clima de la región.

Para la escogencia del método de estabilización de un talud, con empleo de vegetación, se deben tomar en cuenta los factores siguientes:

- a) tipo de talud: corte o relleno
- b) pendiente del talud
- c) características del suelo del talud (estructura, textura, humedad)

- d) vegetación existente y vegetación circundante
- e) disponibilidad del material vegetal
- f) estudios edafológicos²⁵
- g) posibilidades de mantenimiento
- h) distribución e intensidad de las lluvias
- i) velocidad y dirección predominantes del viento
- j) experiencia en trabajos similares realizados en la zona

La consideración de todos los factores señalados, incluyendo el costo, determina el método de estabilización que se escoja.

Quando se proyecte la estabilización de taludes, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- En taludes de corte, es conveniente hacer la siembra de especies vegetales (por ejemplo, grama) en el espacio comprendido entre la cuneta y el talud de corte propiamente dicho.
- En vías estrechas, en vías con tránsito pesado predominante, y en las áreas cercanas a poblaciones, es recomendable recubrir con materiales

²⁵ La ciencia que estudia los suelos con fines de siembra de vegetación se denomina Edafología.

estables y permanentes (grava, emulsiones, etc.) una franja de hasta 3.00 metros de ancho adyacente a los hombros de la vía.

Procedimiento:

Métodos usuales

Los métodos usuales de estabilización de taludes con empleo de vegetación son:

- a) Método de cobertura
- b) Método de enfajinado
 - con empleo de mulch²⁶
 - con cordones de la especie vegetal Caracuey (página 224)
- c) Método de siembra de semillas
- d) Método de malla

²⁶ El mulch es un tipo de cubierta protectora como el aserrín, compostaje, trozos de madera o tiras de papel utilizados en el suelo con el fin de reducir la evaporación del agua, controlar malezas, enriquecer el suelo. También es muy importante para prevenir la erosión causada por agua en cauces recién formados y en otras áreas donde la vegetación no ha tenido el suficiente tiempo para establecerse. El mulch contrarresta las fuerzas erosivas de las gotas de lluvia, así reduce la erosión hasta que las semillas produzcan su propia cubierta protectora.

Operaciones comunes

- a) Conformación del talud: se conforma la sección del talud a fin de obtener una pendiente tan similar como sea posible respecto a la pendiente original.
- b) Trazado de curvas de nivel: se trazan curvas de nivel por cualquier método sencillo (manguera, caballete, nivel Abney, etc.). La pendiente del talud determina la distancia entre las curvas de nivel.

TABLA 22: CONFORMACIÓN DE CURVAS DE NIVEL SEGÚN PENDIENTE NATURAL.

Pendientes del talud	Distancia entre las curvas
De hasta 30%	2.00 m
Entre 30% y 80%	1.50 m
De más de 80%	0.80 m - 1.00 m

- c) Estacado: en cada curva de nivel se colocan estacas de madera dura, con diámetro de por lo menos 3 cm y longitud mínima de 70 cm. Las estacas deben sobresalir 15 cm por encima del terreno; formando un ángulo de 45° pendiente arriba, y colocadas a unos 50 cm entre sí. Para el estacado, también se pueden usar estacas vivas y/o barras de acero con diámetro de 1/2" (figura 61, parte superior).
- d) Construcción de zanjas: en la parte del talud inmediata superior a las estacas, se construyen zanjas aproximadamente de 20 cm de ancho y

10 cm de profundidad, siguiendo cada curva de nivel. En ellas se coloca: tierra preparada; mezcla de suelo, abono y semillas nativas; y el material vegetal.

Método de cobertura

Consiste en cubrir todo el talud con esteras²⁷ de gramíneas. Se aplica en taludes de relleno y en taludes formados por material sin compactar. El material vegetal de cobertura se adapta a los movimientos de las superficies y constituye una excelente protección contra las aguas de escorrentía. Las especies vegetales que se usan más frecuentemente en el método de cobertura son:

- Camolote (*Panicum Máximum*)
- Pará (*Panicum Purpuracens*)
- Bermuda (*Cynodon Dactilón*)
- Grama (*Paspalum Notatum*)
- Barrenillo
- Zacate Jaraguá
- Zacate San Agustín

²⁷ Estera: tejido grueso de esparto, juncos, palma, etc., o formado por varias pleitas (fajas o tiras trenzadas en varios ramales) cosidas que sirve para cubrir el suelo y otros usos.

Procedimiento:

- a) Efectuar las operaciones comunes que se requieran.
- b) Preparación de las esteras: la paja que se va a usar como cobertura se saca con raíces, preferiblemente en su época de floración; se le corta el tercio superior y se conserva para su uso posterior.
- c) Colocación de las esteras: los trabajos de cobertura se comienzan por la parte inferior del talud y se continúan talud arriba.
 - En el fondo de las zanjas excavadas se tiende el material vegetal cortado durante la preparación de las esteras.
 - Se colocan las esteras teniendo cuidado de que las raíces queden dentro de las zanjas.
 - Se cubren las raíces con tierra.

Método de enfajinado

Consiste en la formación de terrazas para siembra, contenidas por fajinas hechas de troncos de madera o de malla metálica atadas a las estacas (figura 60).

Debido a que las fajinas constituyen un soporte rígido, el método de enfajinado sólo se debe aplicar en terrenos que puedan proveer la base firme necesaria para sostener las fajinas. Las especies vegetales que se usan más frecuentemente para la siembra por el método de enfajinado, son:

- Mulch, preparado en la proporción siguiente para cubrir una hectárea:

- Bermuda (Cynodon Dactilón)	7.5%
- Capim Melao (Melinis Minutiflora)	7.5%
- Semillas de vegetación nativa	15.0%
- Suelo franco-arenoso (hasta completar 100 kg)	70.0%

- Caracuey (Bromelia Lasiantha)

Procedimiento:

- a) Efectuar las operaciones comunes que se requieran.

- b) Preparación de las fajinas: las fajinas de tipo vegetal se hacen con material semi-leñoso formando haces de 15 cm a 20 cm de diámetro, y de hasta 2.50 m de longitud, con amarres cada 40 cm.

- c) Colocación de las fajinas: las fajinas se colocan siguiendo las curvas de nivel y se atan por sus extremos y las estacas con alambre galvanizado calibre 18.

El espacio entre la fajina y el talud se rellena horizontalmente usando tierra preparada y compactada hasta alcanzar el nivel superior de la fajina.

- d) Siembra de las especies vegetales: se recomienda la apertura de pequeñas zanjas paralelas, en sentido perpendicular al de la corriente del agua.

- Mulch: se aplica la mezcla de mulch sobre el terreno preparado. Es posible que se requiera la adición de abono, dependiendo de las particularidades de las especies vegetales y de la composición del suelo.
- Caracuey: las plantas de Caracuey se siembran con una separación entre sí de 25 cm. Se recomienda la siembra al tresbolillo²⁸.

²⁸ Es la colocación de las piezas puestas en filas paralelas de modo que las de cada fila correspondan al medio de los huecos de la fila inmediata.

Método de siembra de semillas

La aplicación del método de siembra de semillas (figura 61), es conveniente en taludes relativamente consolidados y de textura media, y en superficies horizontales. No se recomienda su aplicación en zonas afectadas por erosión eólica.

Procedimiento:

- a) Efectuar las operaciones comunes de: conformación del talud y trazado de curvas de nivel si se requieren.
- b) Construcción de terrazas: se construyen terrazas de aproximadamente 25 cm de ancho, siguiendo las curvas de nivel, y dándoles pendiente transversal hacia la superficie del talud.
- c) Adición de suelo, abono y semillas: se añade una capa uniforme de 1 cm de espesor, aproximadamente, compuesta por suelo vegetal mezclado con abono apropiado y semillas de vegetación nativa, a razón de 50 kg - 60 kg por hectárea.

La capa descrita, no debe exceder a los 2 cm, porque resultaría antieconómica por el arrastre inicial que siempre se produce, debido a la

acción del agua sobre el talud. Esta capa se añade con la finalidad de crear condiciones apropiadas para el desarrollo de la futura vegetación, y no para reemplazar el suelo nativo propiamente.

Método de malla

Este método consiste en la colocación de una malla metálica sobre la superficie del talud, una vez que éste ha sido tratado en forma vegetativa, por cualquiera de los métodos expuestos. Este método se emplea en zonas de alta precipitación y en suelos de tipo esquistoso o arenoso, fácilmente erosionables. La malla metálica se fija al talud con estacas de madera de 3 cm de diámetro aproximadamente, o con varillas de acero de $\varnothing 1/4$ ".

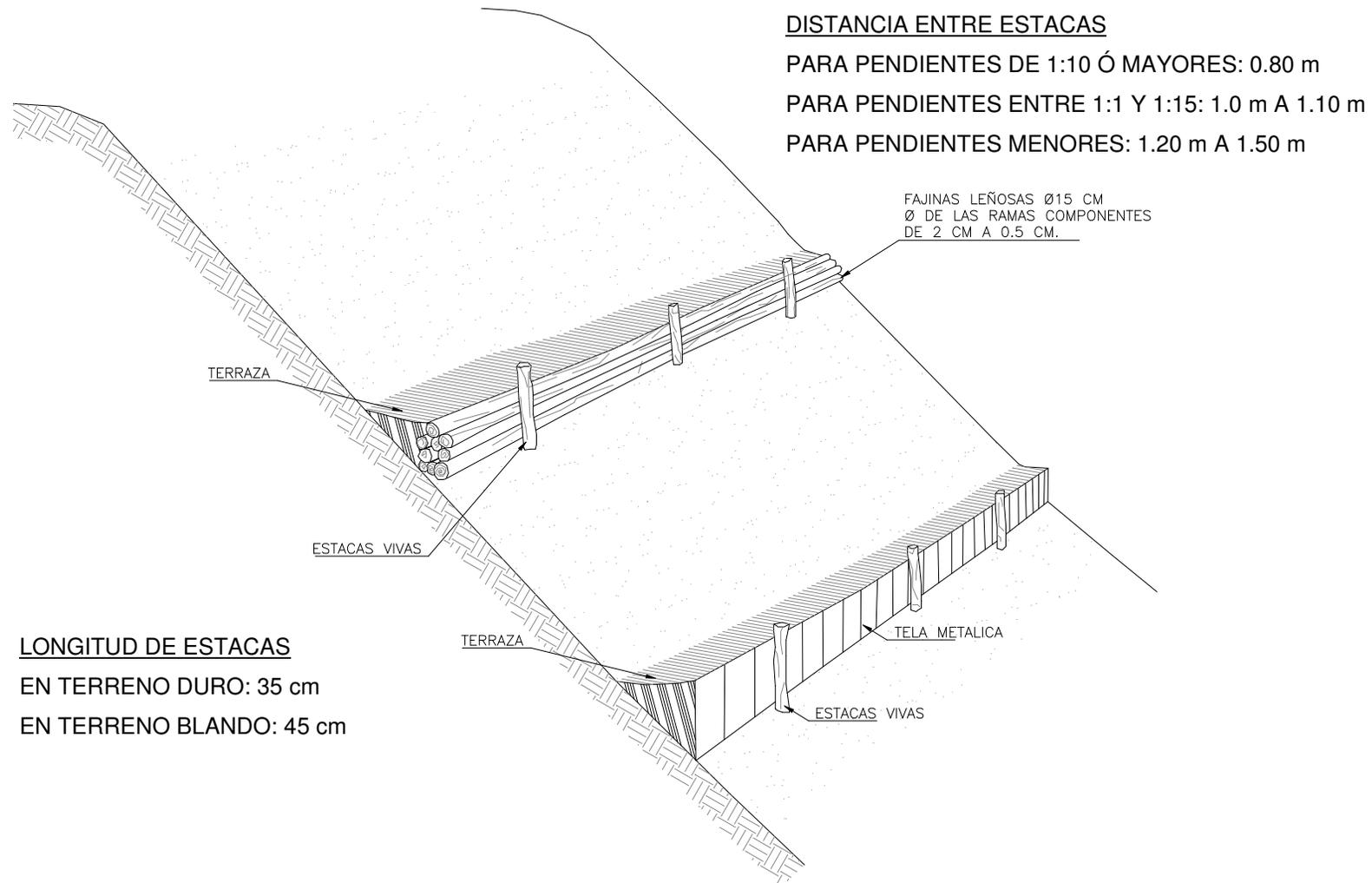


FIGURA 60: FAJINAS LEÑOSAS Y METÁLICAS EN CURVAS DE NIVEL.

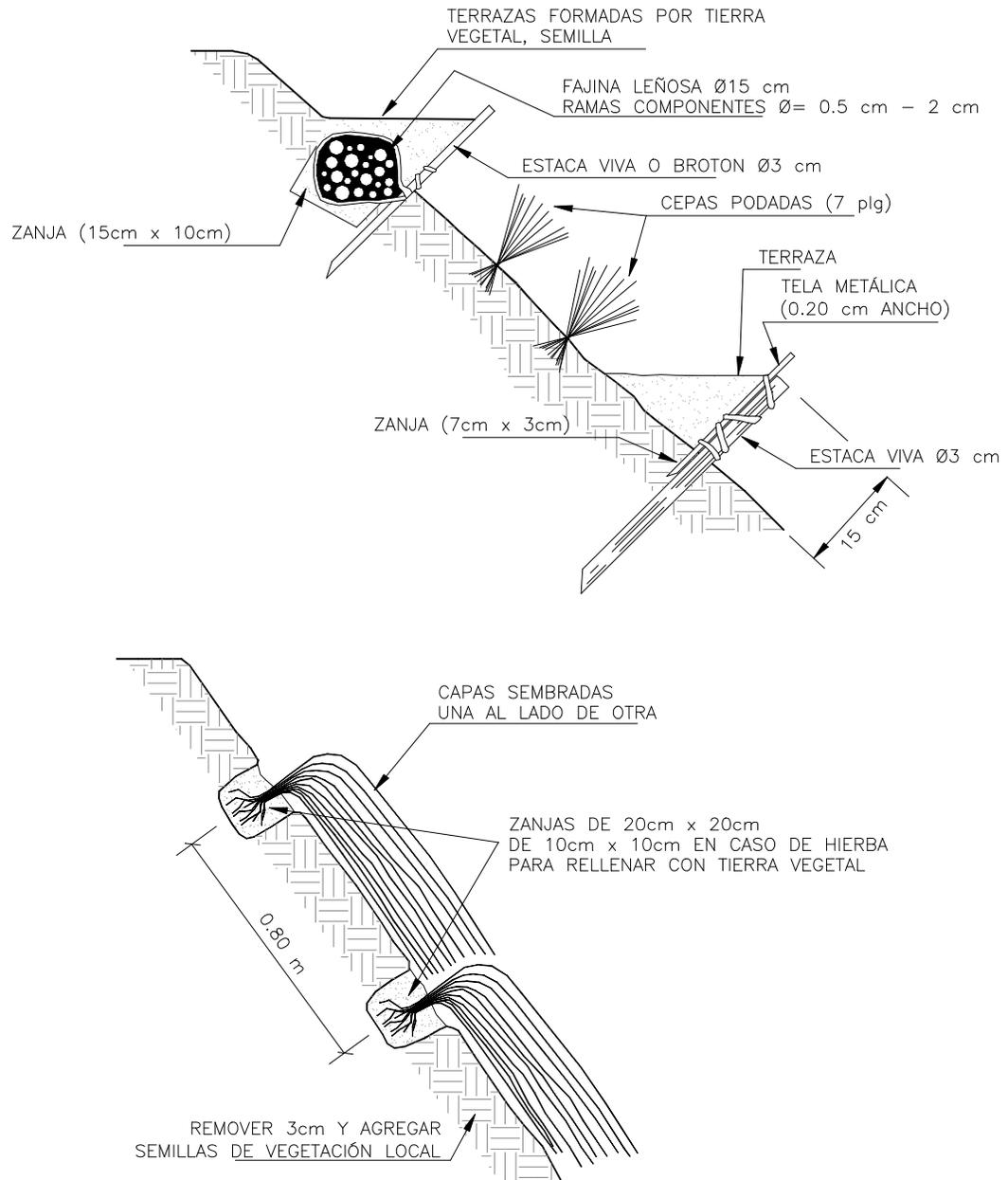


FIGURA 61: DETALLE DEL MÉTODO DE LA MALLA Y SIEMBRA DE SEMILLAS.

4.7.1.2.2 POR MÉTODOS MECÁNICOS

Consiste en la aplicación de emulsiones de asfalto o de morteros de cemento Portland a los taludes, para estabilizarlos.

1) Aplicación de emulsiones de asfalto

La emulsión de asfalto es la suspensión en agua de glóbulos de asfalto finamente divididos, y agentes emulsificantes que impiden la fusión de los glóbulos de asfalto, antes de usarla; estas se aplican solas o mezcladas con semillas u otros elementos vegetales. Para estabilizar taludes, las emulsiones de rotura lenta, con 55.0% de contenido bituminoso pueden ser las más recomendables.

Procedimiento:

En los casos en que se utilizan semillas:

- Se mezclan previamente la emulsión asfáltica y las semillas, y se aplican a la superficie del talud mediante aspersion mecánica.

- Luego se cubre la superficie del talud con una capa de cáscaras de coco, con el fin de conservar la humedad.

- Se aplica una nueva capa de emulsión asfáltica, en proporción aproximada de 0.60 l/m².

En los casos que no se utilizan semillas, se aplica sola la capa de emulsión asfáltica. En estos casos, también se pueden utilizar resinas y pinturas mezcladas con la emulsión asfáltica, que proporcionan un acabado de apariencia vegetal.

2) Aplicación de mortero de cemento Portland

Consiste en aplicar a gran presión sobre la superficie del talud, un mortero de cemento que se mezcla con el suelo, formando una capa relativamente homogénea. El mortero de cemento Portland está constituido por una mezcla de: cemento Portland, arena, grava (no mayor que 25 mm) y agua.

Procedimiento:

- Se debe realizar previamente una prueba de la humedad del suelo para determinar el tipo y la cantidad de los drenes que deben construirse como desagüe.
- Se conforma el talud para obtener una superficie de aplicación uniforme.

- Se procede a la colocación de una malla metálica, la cual se fija al talud con anclajes.
- Se aplica a presión el mortero de cemento Portland, mediante el empleo del equipo adecuado.

4.7.1.3 CONTROL DEL DRENAJE SUPERFICIAL

La permanencia de malezas, vegetación en general, desperdicios, acumulaciones de tierra, etc., en los conductos de drenaje superficial, puede provocar su desbordamiento y producir erosión en los taludes.

El control de drenaje superficial consiste en el conjunto de actividades destinadas a mantener libre de obstáculos el flujo de las aguas en los sistemas de drenaje superficial. Las actividades principales son:

- a) Deshierbe, desraizado y si es necesaria, tala de arbustos que afecten los conductos de drenaje.
- b) Relleno y compactación, con materiales apropiados, de las zonas laterales hundidas alrededor de cunetas, canales, etc.

- c) Remoción de todo tipo de obstáculos (tierra, desperdicios, materiales vegetales, etc.) depositados en los conductos de drenaje.
- d) Acondicionamiento de los taludes para propiciar un buen escurrimiento de las aguas.

4.8 CUNETAS

Las cunetas son canales que se adosan a los lados de la corona de la vía terrestre (figura 2), con el objeto de evacuar los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y los del área comprendida entre el coronamiento del corte y la contracuneta, si la hubiere, o el terreno natural aguas arriba de los cortes, si no hay contracunetas (figura 25). También, la cuneta puede recibir agua que haya caído sobre la corona de la vía, cuando la pendiente transversal de ésta tenga la inclinación apropiada para ello.

Las cunetas se construyen generalmente de sección triangular o trapezoidal. La sección rectangular ha sido generalmente abandonada por razones de ingeniería de tránsito, debido al efecto canalizador que produce la sensación de peligro que el conductor siente transitando cerca de ella. La sección triangular

es la más conveniente y fácil de construir; se conforma al terminar la capa subrasante y el trabajo puede hacerse con motoconformadora.

4.8.1 REVESTIMIENTO EN CANALES

Los revestimientos deben satisfacer los siguientes requerimientos:

- 1) Proteger el canal contra la erosión, permitiendo una mayor velocidad del agua.
- 2) Reducir el coeficiente de rugosidad del canal permitiendo el aumento de velocidad.
- 3) Evitar el ablandamiento de las tierras debido a la humedad y proteger así los taludes contra el derrumbamiento.
- 4) Proteger las tierras colindantes de los daños que en ellas causa la infiltración.

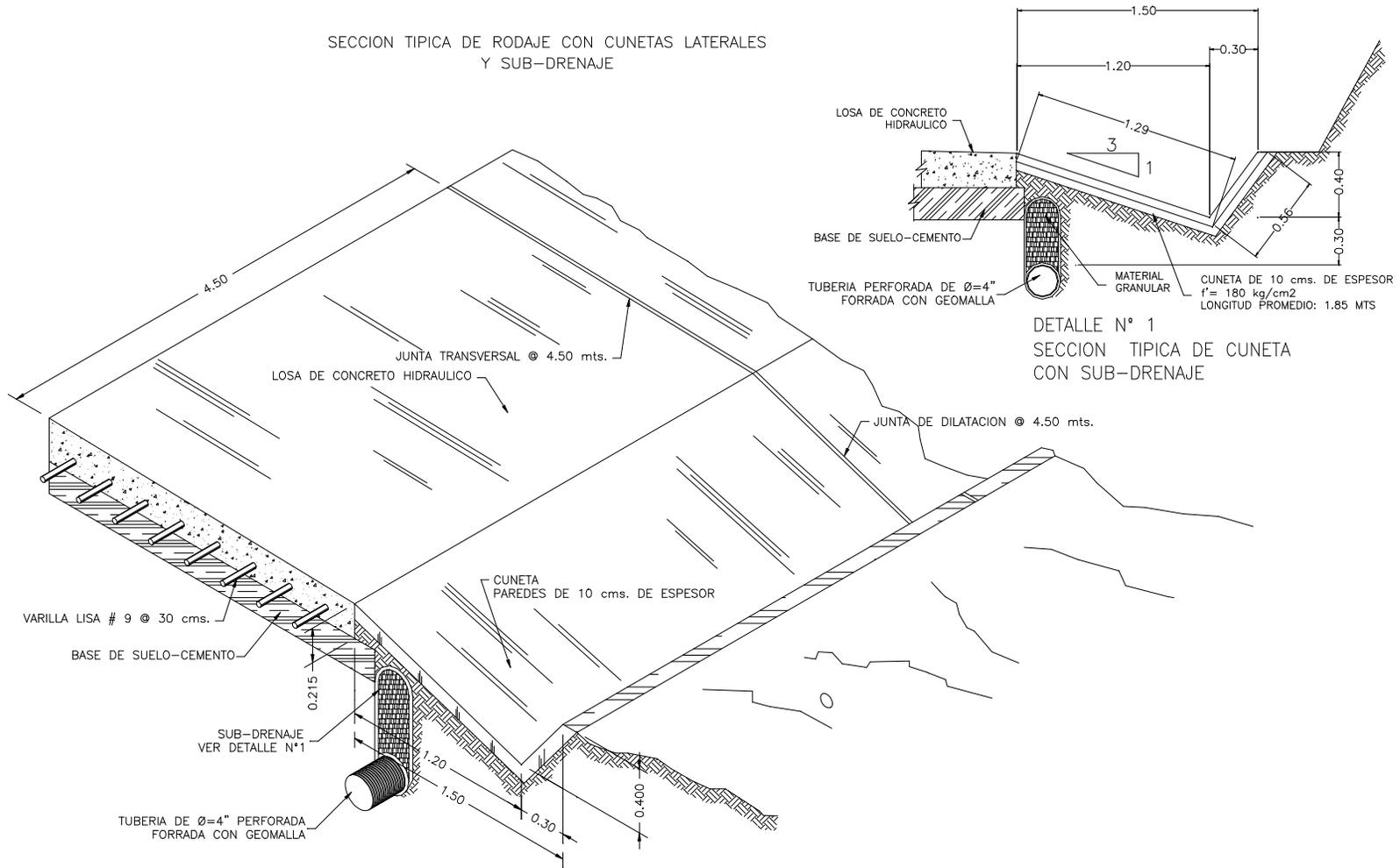


FIGURA 62: DETALLE DE CUNETA REVESTIDA CON CONCRETO.

Por lo tanto, las características de un buen revestimiento deben ser las siguientes:

- 1) Impermeable.
- 2) Resistente a la erosión.
- 3) De bajo costo tanto en cuanto a construcción como a mantenimiento.
- 4) Durable a la acción de agentes atmosféricos.

El revestimiento de las cunetas puede hacerse utilizando diferentes materiales que van desde piedra bola a cantos rodados; ligados con mortero arena-cal, o arena-cemento, hasta placas de concreto hidráulico prefabricadas o fundidas en el lugar (figura 62); también se emplean productos asfálticos. Al revestir una cuneta debe tenerse especial cuidado que en el lado adjunto a la carretera, quede libre la parte entre el hombro y la sub-base para permitir que el agua proveniente de la estructura del pavimento drene fácilmente hacia la cuneta.

La menor rugosidad del concreto hace a la superficie de las cunetas más eficientes, hidráulicamente, que el zampeado de mampostería. Además, con el concreto pueden construirse con mayor rapidez. Las losas utilizadas suelen tener 1.0 m de longitud y juntas selladas, para evitar fugas de agua. En la mayoría de casos no se revisten las cunetas, por razones económicas, su

recubrimiento con vegetación es una magnífica protección si las velocidades del agua no son altas, aunque la capacidad hidráulica de la cuneta disminuye por el correspondiente aumento del coeficiente de rugosidad.

En algunas ocasiones, se han utilizado cunetas en terraplenes. La figura 63 muestra una sección en curva, con la sobreelevación correspondiente. En la corona se muestra un tipo de cuneta que se dispone en algunas ocasiones, con la función que en otros casos corresponde a los bordillos. Es posible que esta solución pueda resultar eficiente desde el punto de vista hidráulico en zonas de precipitación pluvial intensa y en carreteras de corona ancha. Los aspectos de ingeniería de tránsito relacionados con esta práctica, exigen que la cuneta se construya allende el acotamiento, lo que ocasiona un ancho extra de corona; de otra manera, habrá interferencia con la circulación de los vehículos. Esta solución exige la construcción de lavaderos o bajadas; si bien su número podría ser menor que en el tratamiento convencional a base de bordillos, por la mayor área hidráulica de la cuneta, en algunos casos podría evitarse la construcción de lavaderos haciendo continuar esta cuneta, con la pendiente adecuada, hasta verter el agua en el terreno natural; así, la cuneta ocuparía diferentes elevaciones respecto a la sección transversal a lo largo del terraplén hasta quedar alojada en su pie. Al adoptar este criterio, deberán cuidarse todos los aspectos relacionados con la ubicación de la cuneta en el talud, que es una zona de materiales poco compactos, susceptibles al movimiento y muy

vulnerables a la acción del agua. También, las cunetas que se alojen, en la corona del terraplén o en su talud, requerirán sistemáticamente recubrimiento de concreto.

La figura 63 muestra además, una cuneta de protección que a veces se construye en las secciones en terraplén al pie del talud aguas arriba; se pretende evitar la acumulación del agua en esa zona y la posibilidad de que se infiltre bajo el terraplén, que de otra forma puede dar lugar a problemas de inestabilidad. Estas cunetas deberán también recubrirse sistemáticamente con concreto. Constituyen una solución cara, pero muy conveniente en lugares en donde se reconstituyen zonas falladas.

Es importante la relación de niveles entre la lámina de agua en la cuneta y las capas de pavimento. La función drenante, hace necesario que la frontera superior de la lámina de agua, en la cuneta, quede por abajo del lecho inferior de la base del pavimento; también, es conveniente que la lámina de agua, de referencia, quede bajo el lecho inferior de la sub-base, para evitar el humedecimiento de ésta, cuando la cuneta no está revestida. La figura 64 muestra la disposición ideal respecto a las capas del pavimento en esta situación. Si la cuneta está revestida y debidamente impermeabilizada, por el contrario, no será necesario profundizarla tanto, bastando que quede su lámina de agua bajo el nivel de la base, pues ya no existirá el peligro de que el agua

colectada invada la sub-base. En la figura 64 se muestran ambas situaciones, el esquema de abajo, considera la cuneta revestida.

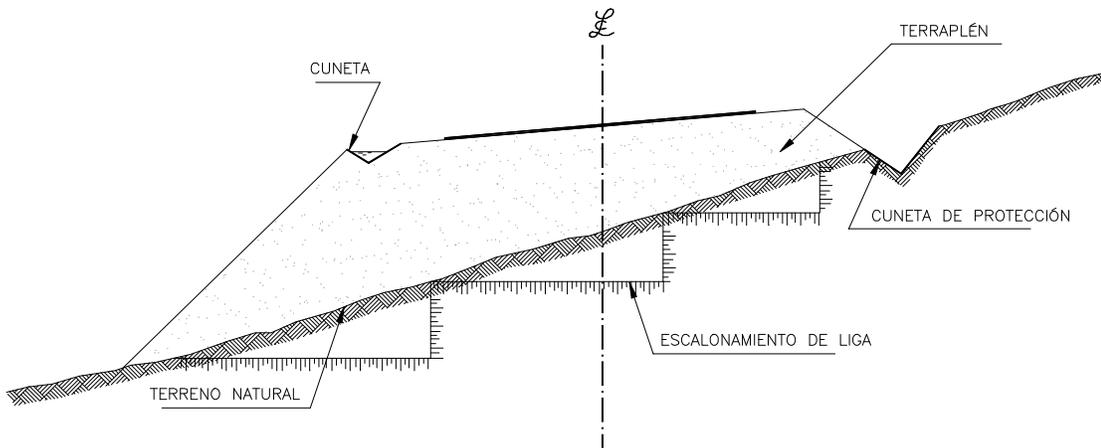


FIGURA 63: CUNETAS EN SECCIÓN EN TERRAPLÉN.

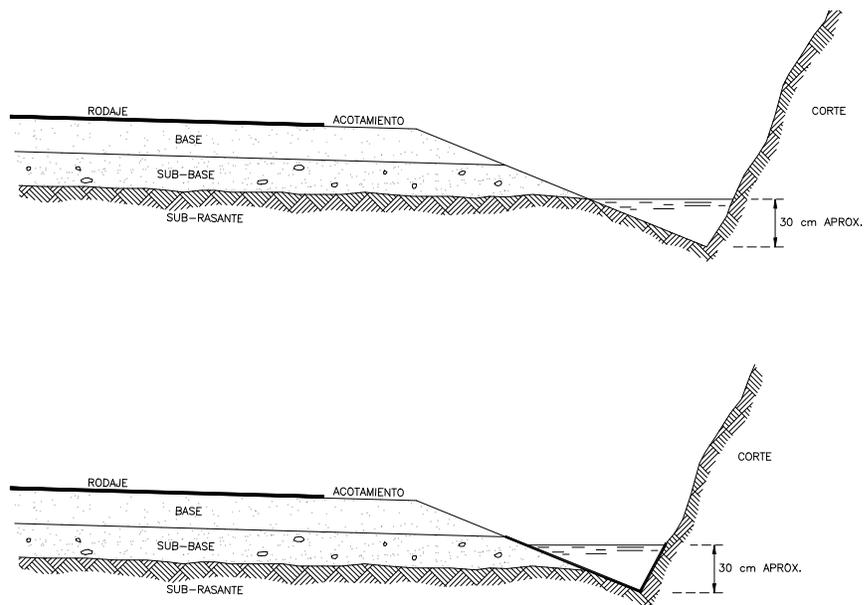


FIGURA 64: DISPOSICIÓN MÁS CONVENIENTE DE LA CUNETA RESPECTO AL PAVIMENTO.

4.8.2 VELOCIDADES ADMISIBLES EN CANALETAS REVESTIDAS

TABLA 23: VELOCIDADES ADMISIBLES.

Tipo de revestimiento	Velocidad admisible (m/s)
Hierba bien cuidada en cualquier clase de terreno	1.80
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0.60-1.20
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.30-0.60
Arena arcillosa dura	0.60-0.90
Arena dura muy coloidal	1.20
Arcilla con mezcla de grava	1.20
Grava gruesa	1.20
Pizarra blanda	1.50
Mampostería	4.50
Hormigón	4.50

Tesis "Diseño Hidráulico de Drenaje Menor en Carreteras, Cap. 6, pág. 186, UES, 1980.

4.8.3 PENDIENTES

Las pendientes mínimas serán las siguientes:

- Cunetas revestidas 0.2%
- Cunetas sin revestir 0.5%

PUNTOS DE DESAGÜE

Se limitará la longitud de las cunetas desaguándolas en los cauces naturales del terreno, en las alcantarillas que cruzan la carretera, o proyectando desagües donde no existan, de manera que la longitud máxima entre desagües no exceda de 150 m. Las cunetas no deben interrumpirse en la transición del desmonte a terraplén, de cuyo pie las aguas deberán alejarse proyectando cauces bien definidos.

4.9 CONTRACUNETAS

Se denominan contracunetas, a los canales excavados en el terreno natural o formados con pequeños bordos, que se localizan aguas arriba de los taludes, de los cortes o cerca de éstos, con la finalidad de interceptar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas, para evitar la erosión del talud así como el congestionamiento de las cunetas y la corona de la vía terrestre por el agua y su material de arrastre.

La contracuneta (figura 65) se construye a una distancia variable del coronamiento del corte y depende de la altura de éste; se trata de que entre la contracuneta y el propio corte no quede un área susceptible de generar

escurrimientos no controlados de importancia y, a la vez, de no colocarla demasiado cerca del corte, a fin de facilitar su trazo y permitir que se desarrolle sobre terreno que no presente afectación por derrumbes que pudieran llegar a generar pequeños abatimientos o trabajos de compactación que eventualmente hayan de hacerse.

En cortes de altura normal, es frecuente que la contracuneta se encuentre a una distancia del coronamiento del corte comprendida entre la altura del mismo y la mitad de ese valor; en cortes altos, el punto más próximo de la contracuneta puede estar a unos 8 m ó 10 m del coronamiento del corte.

La contracuneta debe conducir el agua captada a cañadas o cauces naturales en que existan obras que crucen la vía terrestre y es normal que para evitar excesivo desarrollo del canal los extremos lleguen a tener pendientes mayores que 50%, funcionando como auténticos lavaderos.

La sección del canal está, definida por su capacidad hidráulica, a su vez, relacionada con la frecuencia e intensidad de la precipitación pluvial en la zona, el área drenada y las pendientes predominantes del relieve con obstáculos o no para propiciar el escurrimiento del agua superficial.

Las contracunetas suelen dimensionarse por proyecto tipo, formando un canal de sección trapezoidal con 60 cm u 80 cm de plantilla y taludes conformados de acuerdo con la naturaleza del terreno; la profundidad de este canal también está normalmente comprendida entre 40 cm y 60 cm. En contracunetas no revestidas, el talud aguas arriba debe ser más tendido para evitar erosión, pero esta distinción se hace menos necesaria si se usan revestimientos.

Por razones de costo, las contracunetas no son revestidas, casi nunca, y se produce, en la corona de la sección en corte, el desarrollo de una zanja permeable. Si el suelo del corte es arcilla relativamente permeable o suelo constituido por mezclas susceptibles a los cambios de humedad, esta zanja permite entrar agua al cuerpo del corte, provocándole daños severos. En carreteras o vías férreas donde se ha usado contracunetas no revestidas, el trazo de éstas es precisamente el inicio de la superficie de falla en la corona del corte, superficie que probablemente no se hubiera formado al no existir la obra complementaria de drenaje o de haberla revestido adecuadamente. En la práctica, cuando la contracuneta pueda ser útil o necesaria, se pone revestida o será preferible no ponerla, pues los riesgos que implica colocarla en una mala condición (la eventual falla total del corte) superan bastante a sus posibles beneficios (proteger la superficie del talud de erosiones y a las cunetas o a la propia corona de invasión de aguas no controladas).

El criterio para definir la necesidad de contracunetas ha de basarse en consideraciones topográficas y de la naturaleza de los materiales que formen los cortes, los terraplenes vecinos y el terreno natural de la zona en estudio. La topografía define los escurrimientos sobre el talud; por ejemplo, en lomas con pendientes hacia las cañadas que las limiten lateralmente, será de esperar que su escurrimiento por consecuencia de la pendiente se produzca paralelamente a la vía terrestre y no hacia ésta; allí, no se precisarán contracunetas, especialmente si el terreno está vegetado o es superficialmente poco permeable, como suele suceder. Las contracunetas construidas en cortes no protegidos en sus laderas, en lomas con pendiente sostenida hacia la vía terrestre en extensiones grandes que ofrezcan áreas de captación de abundante lluvia y, cuando aún siendo pequeño el escurrimiento, si el suelo es de baja compacidad, disgregarán el material arrastrándolo y formando surcos o hendiduras profundas en la continuidad de su cauce.

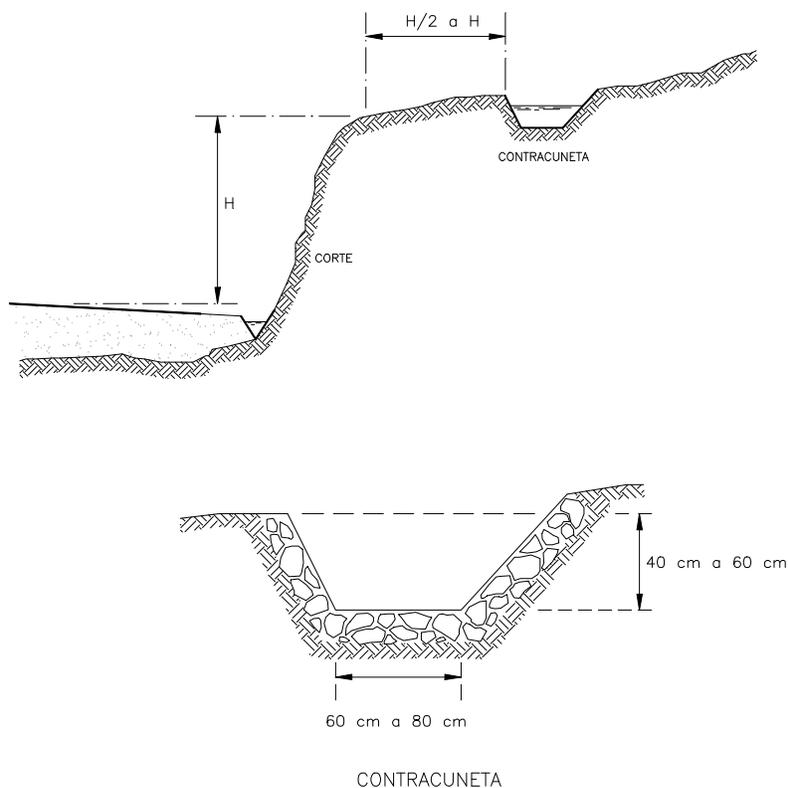


FIGURA 65: DISPOSICIÓN Y DETALLE DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA CONTRACUNETA REVESTIDA.

4.10 BADÉN

Un badén es una zona reforzada del sendero por sobre la cual se permite el cruce del agua. En general, se utilizan para cursos de agua eventuales. En carreteras, se denomina badén a la estructura en forma de canal que atraviesa el ancho del camino, permitiendo la continuidad de circulación de las aguas superficiales. Los badenes (figura 66), se adaptan, a la configuración del cauce de quebradas o arroyos poco profundos a lo largo del camino, y en zonas

donde las calles no cuentan con sistema de drenaje de aguas superficiales (tragantes), se ubican estratégicamente para drenar el agua hacia el lado opuesto del rodaje.

La sección más utilizada para estas obras es la triangular, pero también se usa la trapezoidal. La geometría de la sección de estos canales debe favorecer el paso ágil y con la mayor confortabilidad posible. Su utilización depende principalmente de la altura máxima que pueda alcanzar el agua en la sección, ya que la idea es que, aún con agua, pueda ser atravesado por los vehículos, sin peligro. En zonas de grandes caudales, se buscará que sean lateralmente más extendidos (de menor profundidad) y en algunos casos podrían construirse de hormigón (concreto) o de albañilería de piedra (piedras con mortero de cemento). Un badén sobre el camino implica al conductor de un vehículo aminorar al máximo su velocidad o hasta hacer una pausa para poder cruzarlo, siendo esto el principal motivo de no poder ser utilizados en carreteras de gran importancia, optándose por la utilización de tuberías (alcantarillas) como solución alternativa.

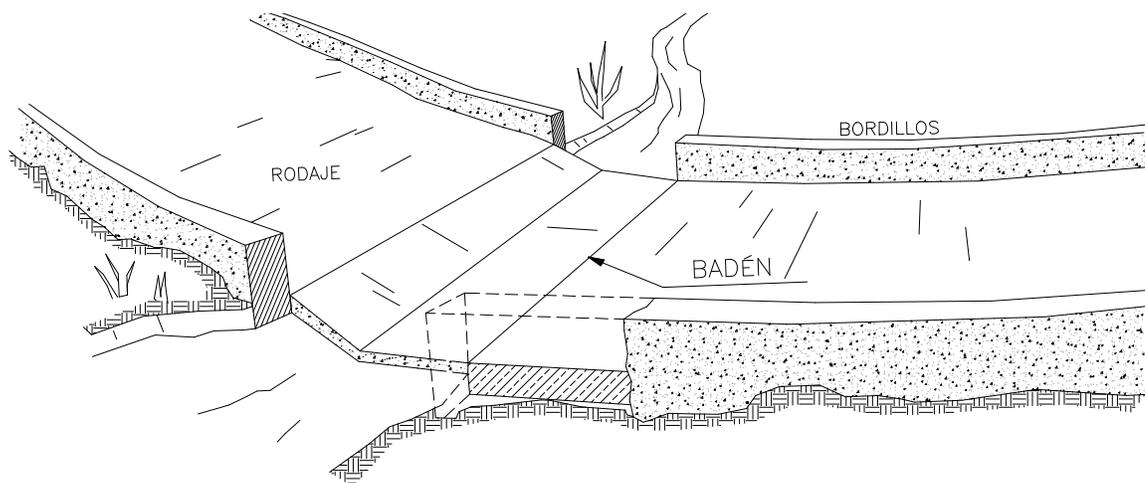


FIGURA 66: ESQUEMA DE UN BADÉN REVESTIDO DE CONCRETO PARA MAYOR DURABILIDAD.

4.11 ALCANTARILLAS

Una alcantarilla, es un conducto cerrado que continua o sustituye una zanja, en donde la corriente encuentra una barrera artificial, como el terraplén de un camino. Este elemento permiten llevar el agua de un lado al otro del camino, las más comunes son tubos de plásticos resistentes, metal²⁹ o concreto con o sin refuerzo, y se utilizan cuando los caudales no justifican la construcción de un puente. La sección más común para alcantarillas es la circular, pero cuando el diámetro de la sección es grande (mayor que 2.00 m) se utiliza con frecuencia la sección abovedada. La sección hidráulica más eficiente es la ovalada, pero

²⁹ Las tuberías seccionales son un claro ejemplo de la utilización de metal en alcantarillas de grandes dimensiones, estas consisten en un juego de laminas cortadas, según especificaciones de diseño, que deben ser armados "in situ" según las instrucciones del fabricante, siendo de vital importancia el control de niveles desde el inicio de la colocación de estas tuberías por parte de las cuadrillas de topografía.

por su alto costo constructivo, en la práctica, no es común que se haga en cualquier proyecto que se necesite, salvo casos especiales.

El diseño de alcantarillas para caminos está determinado por varios factores, tales como los picos estimados de las crecientes, la hidráulica local, la adecuada elección estructural, y sobre todo, los costos de construcción y mantenimiento. Es necesario considerar el efecto causado a las propiedades adyacentes, debido a posibles embalses aguas arriba, y a la velocidad adecuada de la corriente aguas abajo para evitar deslaves o sedimentos (azolvamiento de la tubería).

La pendiente de la alcantarilla tiene una influencia decisiva en el funcionamiento hidráulico, ya que las alcantarillas con pendiente pronunciada llevan el agua con profundidades pequeñas y velocidades altas, en tanto que pendientes menos pronunciadas producen profundidades mayores y menores velocidades. La pendiente ideal (1.0% a 4.0%) para una alcantarilla es la que no ocasiona sedimentación ni velocidad excesiva (más de 10.0 m/s), y evita la erosión.

En ocasiones se tiene que la rasante de la carretera al pasar sobre el cauce de un río debe mantener una determinada altura (restringida por los niveles de propiedades adyacentes) que no permite la colocación de una tubería que

cumpla la sección hidráulica que demandan los cálculos realizados por el hidrólogo; entonces, debe optarse por colocar tuberías múltiples o batería de tuberías que en conjunto igualen o superen el área hidráulica requerida para lograr el mismo efecto de drenaje. En general, el uso de alcantarillas múltiples deberá ser evitado en terrenos montañosos debido a la posibilidad de obstrucción por arrastre de basuras.

El alineamiento de una alcantarilla se refiere a la orientación en planta del eje de la misma respecto al eje central de la carretera. Un alineamiento oblicuo requiere mayor longitud, aunque a menudo se justifica por mayor eficiencia hidráulica, y por la seguridad del camino (figura 67).

Cuando una alcantarilla es construida esviada³⁰ hay que considerar el costo extra originado por su mayor longitud, el cambio del canal y su mantenimiento. La determinación del esviaje apropiado será particular para cada caso, pero es conveniente recordar que los pequeños esviajes (menores que 15°) pueden ser eliminados; los esviajes entre 15° y 30° retenidos y los grandes esviajes (mayores que 30°) reducidos.

³⁰ Esviaje, es el ángulo menor que forman el eje de la carretera y el eje de la alcantarilla, si se mide en el sentido de las agujas del reloj el esviaje es positivo y se dice que la alcantarilla tiene un esviaje derecho; caso contrario el esviaje es negativo y la alcantarilla tiene un esviaje izquierdo. Se mide partiendo del eje del camino en sentido del cadenamamiento.

Las entradas en las alcantarillas de acuerdo con sus bordes pueden ser:

- Redondeadas
- Biseladas o expandidas

Para la protección del terraplén a la entrada y salida de la alcantarilla, es necesario construir cabezales y aletones, los cuales pueden ser de mampostería de piedra o bloque de concreto y concreto reforzado. Los tipos más usuales de cabezales son los siguientes:

- Cabezales rectos
- Cabezales “L”
- Cabezales en “U” parados o rectos
- Cabezales con aletones
- Cabezales con aletones alabeados

En El Salvador los cabezales se clasifican en tres tipos: a, b, c, los cuales son los correspondientes a los cabezales rectos, con aletones y en “L”, respectivamente.

CABEZALES TIPO “A” (figura 68)

Los cabezales tipo “A” se usan para diámetros de tubo hasta de 36”.

CABEZALES TIPO “B” (figura 70)

Los cabezales tipo “B” son ampliamente utilizados para alcantarillas de diámetros mayores que 36”, las alas o aletones sirven para encausar la corriente al cañón; al trabajar como transición entre la salida y los cauces naturales no son tan efectivos porque los ángulos de ensanche son demasiado pronunciados y la longitud de transición muy corta, lo cual propicia zonas de separación de la corriente hacia los lados, originándose deslaves y erosiones.

Una solución empírica para el cálculo del ángulo de separación de los muros de ala, con relación al eje de la alcantarilla es dividir 45° por la velocidad (m/s) de la corriente a la salida de la alcantarilla.

CABEZALES TIPO “C” (figura 71)

Dirigen el flujo de las cunetas hacia la alcantarilla, se recomienda usarlos para tuberías de alivio y en casos donde la pendiente longitudinal del camino es fuerte.

Los muros de anclaje son necesarios cuando la pendiente de la tubería es fuerte, evitan desplazamientos longitudinales y brindan un apoyo más firme cuando estos son extremadamente largos.

Las razones para el empleo de los muros de cabeza son:

- Evitar que el relleno invada a los extremos de la alcantarilla.
- Prevención de filtraciones y madrigueras de animales.
- Eficiencia hidráulica.
- Impedir la erosión del terreno alrededor de las alcantarillas en los extremos.
- Los cabezales de entrada dirigen el flujo hacia la alcantarilla y los de salida proporcionan una transición de la alcantarilla hacia el cauce normal.
- Evita la socavación.

La altura de los cabezales debe ser tal que se extienda más arriba de su intersección con los taludes del camino; igualmente, deben prolongarse en la parte inferior para servir de amarre y protección del conducto, asimismo, esto impide que se filtre el agua por debajo del cañón con peligro de ocasionar erosiones; aguas arriba y aguas abajo, sirven de anclaje y evitan que la turbulencia origine estragos.

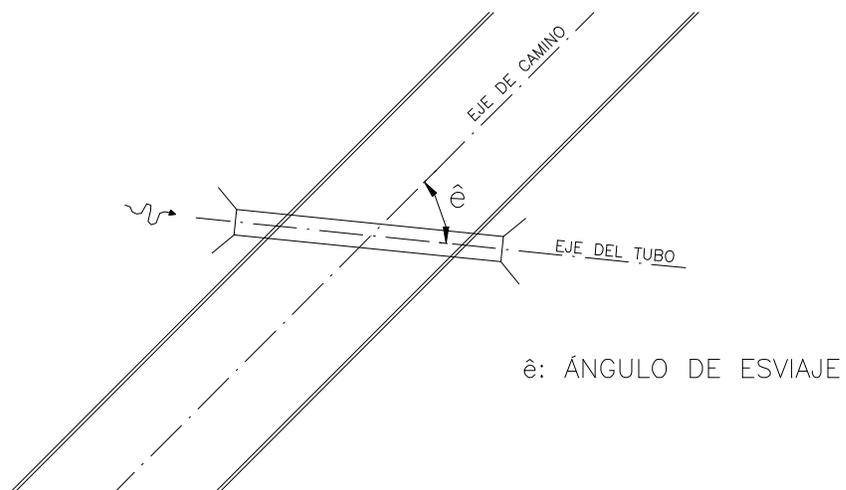
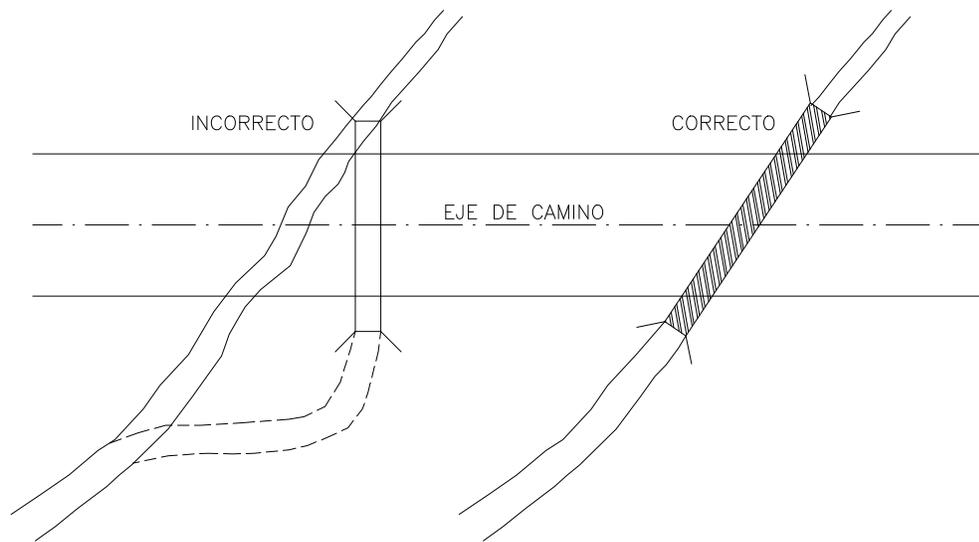


FIGURA 67: ALINEACIÓN DE TUBERÍA Y ANGULO DE ESVAIAJE EN ALCANTARILLAS.

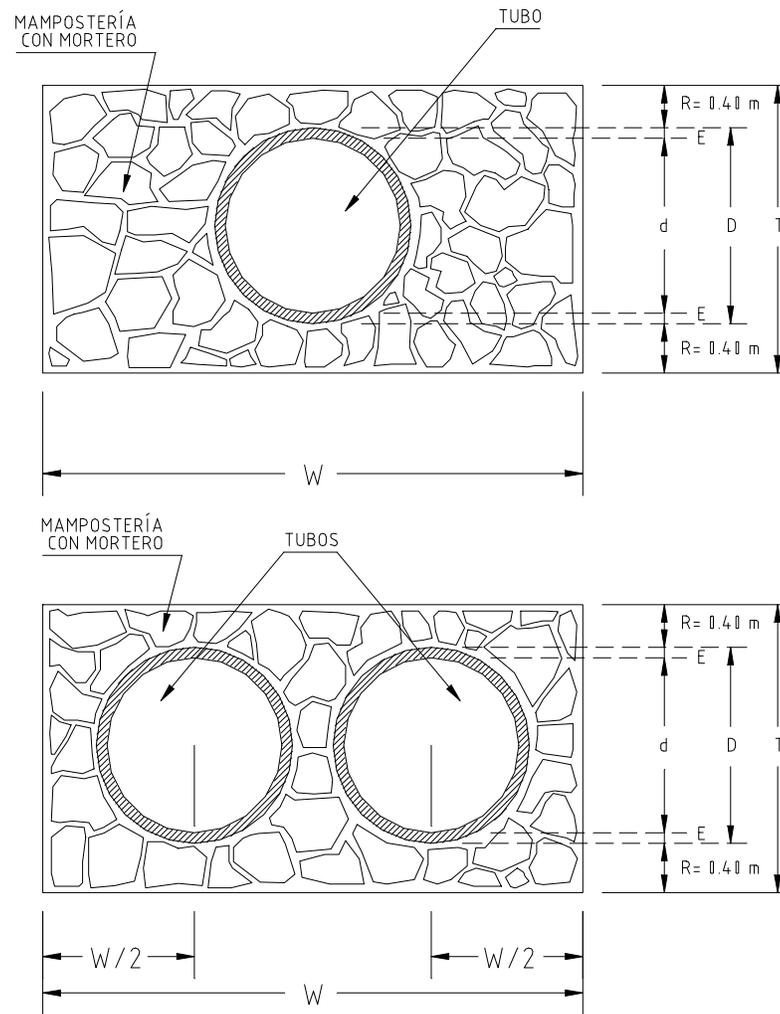


FIGURA 68: DETALLE DE CABEZAL TIPO "A" PARA TUBERÍA SIMPLE Y DOBLE.

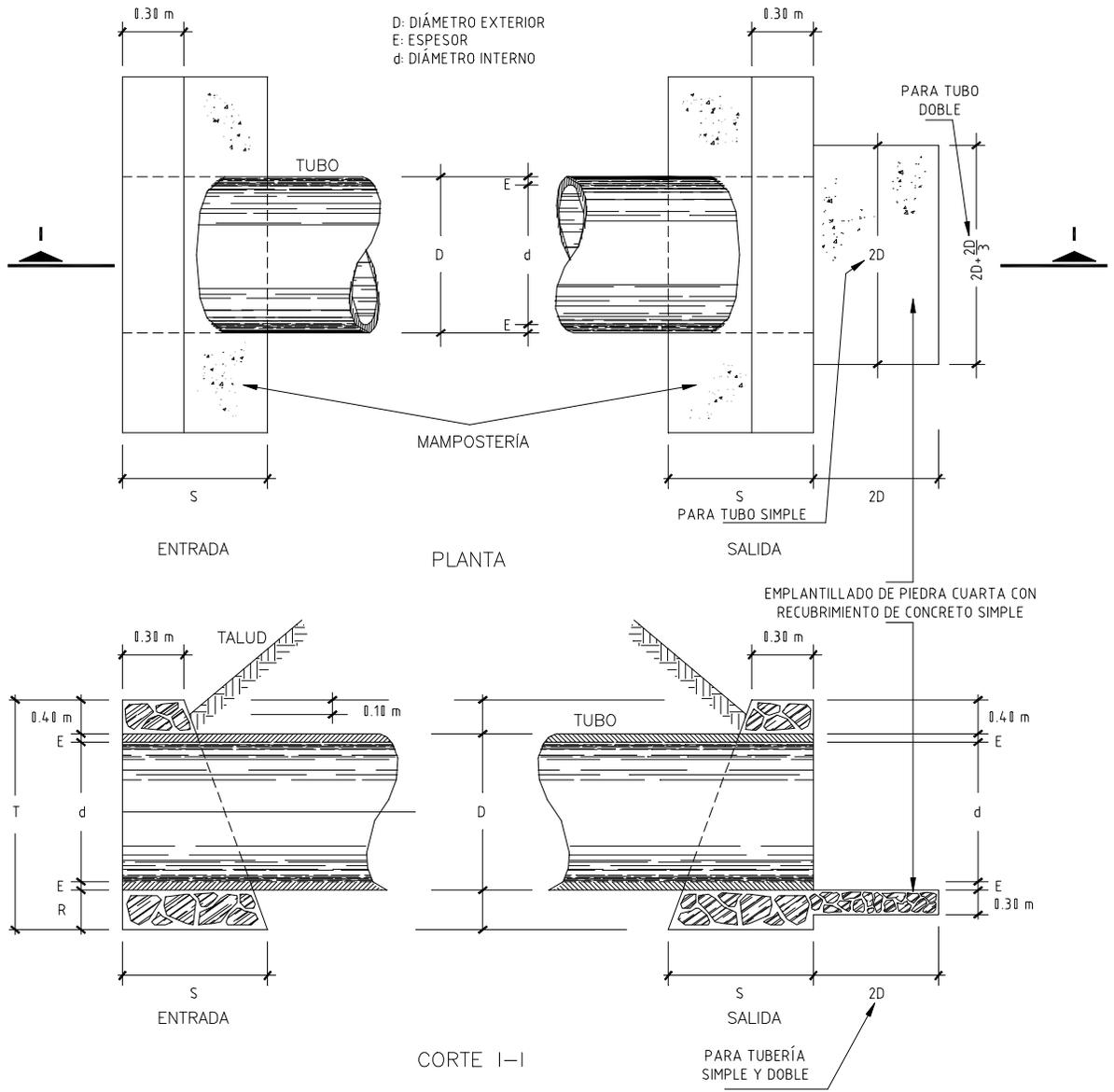


FIGURA 69: DETALLE DE CABEZAL TIPO "A" EN PLANTA Y PERFIL.

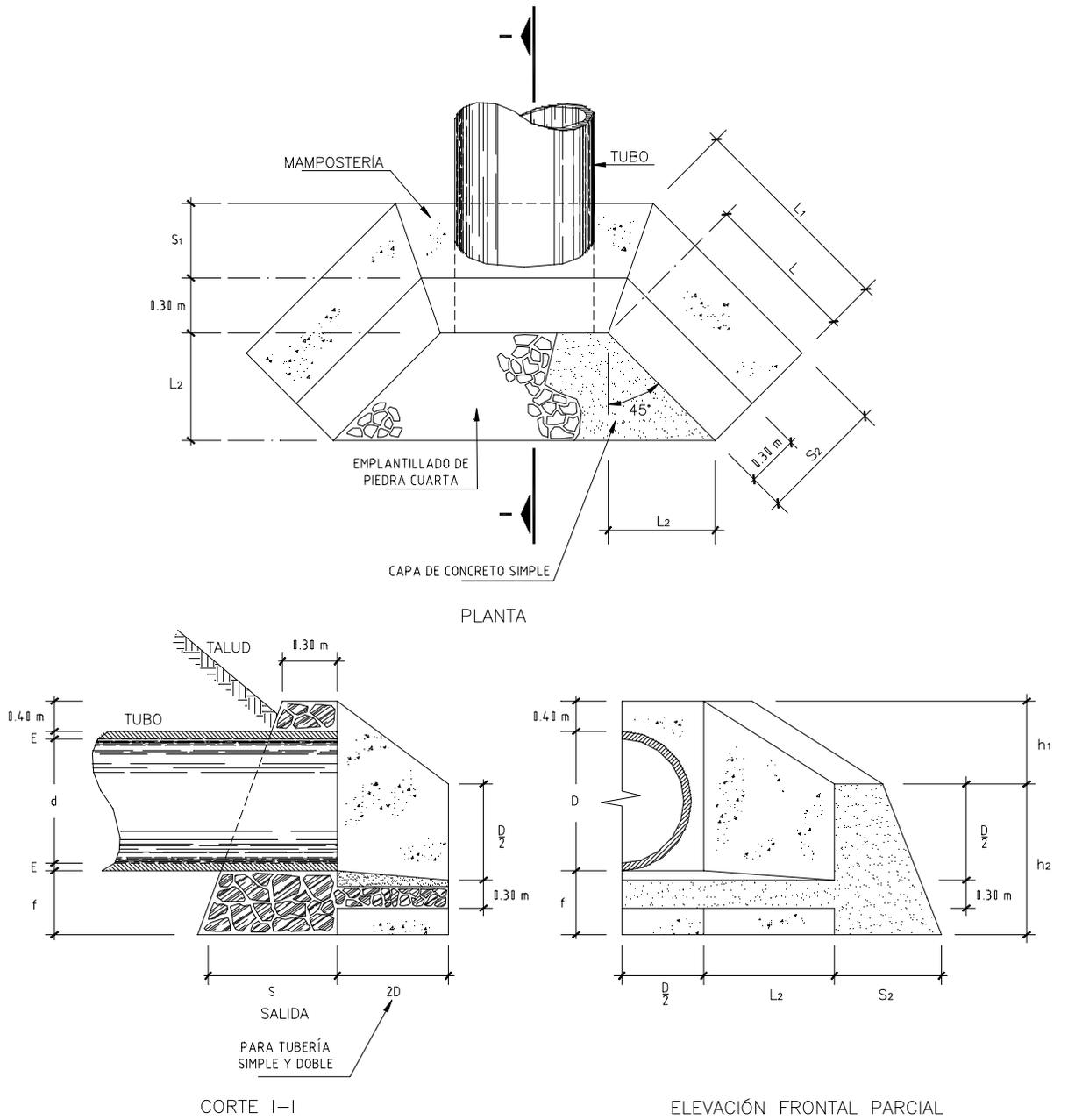


FIGURA 70: DETALLE DE CABEZAL TIPO "B" EN PLANTA Y PERFIL.

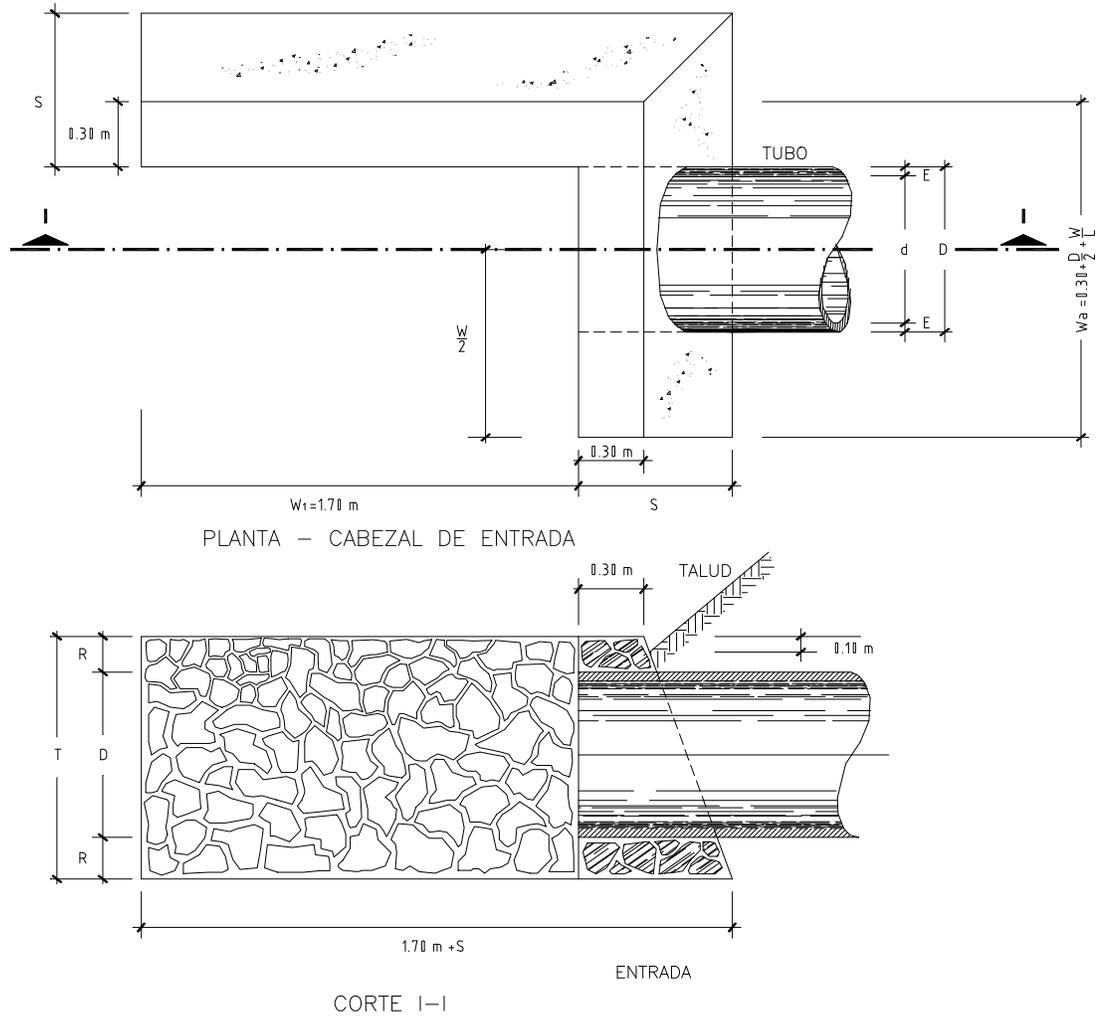


FIGURA 71: DETALLE DE CABEZAL TIPO "C" EN PLANTA Y PERFIL.

TABLA 24: VALORES DE ACOTAMIENTOS PARA CABEZALES TIPO "A".

MUROS FRONTALES TIPO "A"

Diámetros del tubo								Mampostería de piedra con mortero (un muro frontal).		Revestimiento ligado con mampostería en la salida.	
Espesor E	Interior d	Exterior D (m)	R Mín.	S	T	Simple W	Doble W ₁	Simple (m ³)	Doble (m ³)	Simple (m ²)	Doble (m ²)
0.075	24"	0.76	0.40	0.61	1.56	2.55	3.82	1.60	2.29	2.31	4.24
0.090	30"	0.94	0.40	0.65	1.74	3.18	4.75	2.31	3.28	3.53	6.48
0.105	36"	1.12	0.40	0.66	1.92	3.81	5.68	3.09	4.36	5.02	9.20

TABLA 25: VALORES DE ACOTAMIENTOS PARA CABEZALES TIPO "B".

MUROS FRONTALES TIPO "B"

Diámetros del tubo			Dimensiones en metros									Mampostería de piedra con mortero		Revestimiento ligado con mortero.	
Espesor E	Interior d	Exterior D (m)	f	h ₁	h ₂	½D	L	L ₁	L ₂	S ₁	S ₂	Simple (m ³)	Doble (m ³)	Simple (m ²)	Doble (m ²)
0.125	48"	1.47	0.51	2.38	1.25	0.735	2.40	2.52	1.70	0.78	0.55	6.05	8.12	5.42	9.59
0.150	60"	1.82	0.61	2.38	1.52	0.910	2.79	2.91	1.97	0.87	0.60	9.06	12.06	7.46	13.44
0.175	72"	2.18	0.61	3.19	1.70	1.090	3.17	3.29	2.24	0.94	0.64	12.17	16.44	9.90	18.04

Tesis "Diseño Hidráulico de Drenaje Menor en Carreteras, Cap. 7, Anexo I, 1980.

TABLA 26: VALORES DE ACOTAMIENTOS PARA CABEZALES TIPO "C".

MUROS FRONTALES TIPO "C"

Diámetros del tubo								Mampostería de piedra con mortero.	
Interior d	Exterior D (m)	R (m).	S (m)	T (m)	Wa (m)	W ₁ (m)	½W (m)	Doble (m³)	Simple (m³)
24"	0.76	0.40	0.61	1.56	1.955	1.70	1.275	3.22	2.53
30"	0.94	0.40	0.65	1.74	2.360	1.70	1.590	4.21	3.24
36"	1.12	0.40	0.68	1.92	2.765	1.70	1.905	5.23	3.96
48"	1.47	0.40	0.75	2.27	3.340	1.70	2.305	7.52	5.49
60"	1.82	0.40	0.82	2.62	3.915	1.70	2.705	10.35	7.35
72"	2.18	0.40	0.90	2.98	4.500	1.70	3.110	13.94	9.67

Tesis "Diseño Hidráulico de Drenaje Menor en Carreteras, Cap. 6, Anexo I, 1980.

4.12 CONCLUSIONES

- Las obras de drenaje son parte esencial para la conservación del buen estado en que deben operar las carreteras; el mantenimiento periódico prolongará la vida útil de ellas.
- La erosión en los taludes debe ser tratada adecuadamente para evitar la pérdida de suelos que en el caso más crítico haría fallar un terraplén o las paredes en corte.

4.13 RECOMENDACIONES

- Dar mantenimiento periódico a las estructuras de drenaje, tanto superficiales como drenaje mayor para evitar el deterioro prematuro de los elementos que componen una obra vial.
- El diseño hidráulico debe correr a cargo de un experto que haga los estudios pertinentes para el cálculo adecuado de los elementos de drenaje.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

GENERALES

5.1 RESULTADOS

En el proyecto “Prolongación Boulevard Orden de Malta y Ampliación Calle a Huizucar, Tramo II”, los resultados del análisis comparativo de los alineamientos del diseño conceptual y del rediseño se presentan en las tablas 27 y 28 respectivamente para los tramos o estacionamientos más problemáticos, los cuales indican la forma más común a tener cuando se esta rediseñando. En la revisión, se señalan las causas de afectación en la infraestructura existente, parque, escuela, viviendas unifamiliares y lotes de urbanización, instalaciones primarias de abastecimiento de agua potable (ANDA), otros servicios básicos (electricidad y teléfono), etc., y se determina la solución que se hizo para cada una lo cual quedará bien definido en los planos constructivos y en los planos de entrega “como construido” (“as made”). La tabla 29, muestra la revisión en las diferentes secciones transversales para su conformación, dimensionamientos y laterales (cunetas y taludes).

TABLA 27: REVISIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL EN EL REDISEÑO. PROPUESTA FINAL.

CAMBIO DE RASANTE	FIG.	DESCRIPCIÓN	VER FOTO	SOLUCIÓN
Modificación	29 37	I. Est. 2+920 a Est. 3+440, el eje debe desviarse a la derecha para no cortar el tanque de ANDA. II. Est. 5+520 a Est. 5+720, modificación de línea hacia el Sur debido a que la orilla de la acera izquierda queda más allá de la corona del talud existente que limita con la Autopista Comalapa.	12	I. La tangente se movió paralelamente al eje 5.00 m y las correspondientes curvas se desarrollaron con las mismas características que en diseño conceptual. II. La tangente es desplazada hacia el Sur 5.00 m para ganar área de terreno utilizable donde colocar la acera respectiva.
Cambio	30 35 36	I. Est. 2+877 a Est. 3+520, retorno N° 1, el eje es desviado a la derecha por la condicionante de no afectar el tanque de ANDA. II. Est. 3+850 a Est. 3+926, se trató de disminuir la sinuosidad debido al gran número de curvas proyectadas. III. Est. 4+500 a Est. 4+600, Eje conceptual afecta en promedio 2.0 m de ancho de terreno del parque ecológico de la colonia Lomas de Altamira. el eje debe desplazarse hacia la derecha. IV. Est. 5+040 a Est. 5+520, el eje se desvía hacia el Sur cambiando por completo las características del alineamiento horizontal debido al cambio de línea en la rampa principal del Retorno N° 2.	6 3	I. Se mejoran las condiciones del alineamiento horizontal para las rampas de retorno, alargándolas en 8.0 m y 10.0 m. II. El alineamiento de este tramo cambia las curvas de transición por una tangente de rumbo N32°54'31"E, permitiendo mantener una velocidad más uniforme al usuario. III. El nuevo rumbo de la tangente es N07°52'24"E para evitar afectar esta área del parque ecológico de la colonia Lomas de Altamira. IV. La nueva propuesta incorpora curvas de transición, curvas circulares simples y tangentes para rodear el terreno de la corporación SIMAN, éste fue un tramo obligado.

TABLA 27: REVISIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL EN EL REDISEÑO. PROPUESTA FINAL.

CAMBIO DE RASANTE	FIG.	DESCRIPCIÓN	VER FOTO	SOLUCIÓN
Adaptación	31	I. Est. 3+500 a Est. 3+840, el alineamiento debe desplazarse a la derecha para no afectar el centro escolar "José Mejía".	5	I. Se tomó el rumbo de la línea de construcción del tapial perimetral de la escuela y se trasladó paralelamente 9.20 m (según sección típica). II. Se desarrolla una curva circular seguido por una tangente adaptándole una curva de transición y así adoptar el espacio necesario para no afectar la gasolinera. III. El tramo de la tangente es alineado al derecho de vía de la colonia, con un rumbo N57°25'35"E, girándose 0.425° hacia la derecha.
	33	II. Est. 3+980, se debe adaptar el eje proyectado al eje existente para evitar afectar totalmente la gasolinera "Gasolub".		
	34	III. Est. 4+160, adaptar el alineamiento a la línea de construcción de la colonia Lomas de Altamira según los datos obtenidos en el Centro Nacional de Registros (CNR).		
Apertura	30	I. Est. 3+260 a Est. 3+440, Retorno N° 1.	2	Estos tramos de carretera se habilitan para que los vehículos retornen de forma adecuada y con mayor seguridad.
	36	II. Est. 5+040 a Est. 5+520, Retorno N° 2.		
Ampliación		Por los niveles de servicio proyectados para esta carretera, la sección actual de esta calle resulta inadecuada y colapsaría en poco tiempo.	5	Se ha ampliado la sección de dos a cuatro carriles, dos por sentido, en la totalidad del proyecto.

TABLA 28: REVISIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL ALINEAMIENTO VERTICAL EN EL REDISEÑO. PROPUESTA FINAL.

CAMBIO DE RASANTE	FIG.	DESCRIPCIÓN	VER FOTO	SOLUCIÓN
Modificación	Plano de Planta y Perfil	<p>I. Est. 2+880 a 3+020, la rasante tiende a bajar ya que intercepta a la quebrada El Garrobo.</p> <p>II. Est. 3+020 a 3+350 se levanta la rasante para no perjudicar viviendas ya que al realizar cortes de terracería estas casas quedan demasiado elevadas de la carretera.</p> <p>III. Est. 3+350 a Est 3+520, la rasante se baja para minimizar el relleno proyectado.</p>	<p>8</p> <p>5</p>	<p>I. Se aplica una pendiente de entrada de -4.87% y una de salida de -2.60% así se trata de bajar la curva, ya que la curva vertical conceptual quedaba más elevada.</p> <p>II. Se modifica la pendiente de entrada con 0.85% y una de salida de -12.50% haciendo que se forme una curva vertical en cresta de mayor elevación.</p> <p>III. Con una pendiente de entrada de -12.50% y una de salida de -5.46% generamos una curva en columpio que desciende mucho más que la curva vertical del diseño conceptual.</p>
Cambio	30 36	<p>I. Est. 3+260 a Est. 3+440: cambio de rasante existente debido al desplazamiento del eje del alineamiento horizontal hacia la derecha por la conformación del Retorno N° 1.</p> <p>II. Est. 5+040 a Est. 5+530, cambio completo de rasante debido a la apertura realizada en el Retorno N° 2 por cambio de alineamiento horizontal hacia el Sur.</p>	<p>2</p>	<p>I. Los resultados son minimizar cortes y mejorar las condiciones de accesibilidad de las viviendas ubicadas en las inmediaciones del Retorno N° 1. Se cambió la pendiente de entrada de -10.72% a -12.50%.</p> <p>II. El cambio del rediseño obedece a la solicitud de respetar dos bancos de nivel que proporcionó la corporación SIMAN en el tramo Sur del Retorno N° 2, quedó obligatorio en el proyecto final.</p>

TABLA 28: REVISIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL ALINEAMIENTO VERTICAL EN EL REDISEÑO. PROPUESTA FINAL.

CAMBIO DE RASANTE	FIG.	DESCRIPCIÓN	VER FOTO	SOLUCIÓN
Adaptación		I. Est. 3+520 a Est. 5+010, la rasante es levantada hasta coincidir con la rasante existente. II. Est. 5+806 hasta final del proyecto, se adapta la rasante a lo existente debido a que se debe empalmar con la Autopista Comalapa	7 11	Las nuevas rasantes se ubicaron a 0.20 m ó 0.30 m sobre la rasante existente, esto con la finalidad de no modificar excesivamente las intersecciones y por los espesores de concreto, capa de base y sub-base

TABLA 29: REVISIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL EN EL REDISEÑO. PROPUESTA FINAL.

TRAMO	FIG.	CARRIL	MEDIANA CENTRAL	ACERA/ARRIATE	CONFORMACIÓN DE TALUDES ³¹	OTROS	FOTO
2+887-3+112	44	3.65 m hasta Est. 2+930, 3.50 m hasta Est. 3+112. 2 carr./sentido.	4.00 m de ancho hasta Est. 2+960. 0.50 m de ancho hasta Est. 3+112.	Acera: izq. y der. 2.00 m. Arriate: izq. 1.00 m.	Der. vivienda a nivel. Izq. talud en corte con berma.		
3+112-3+240	45	3.50 m. 2 carr./sentido.	0.50 m hasta 4.00 m - isleta de entrada a Retorno N° 1.	Acera: izq. y der. 2.00 m. Arriate: izq. 1.00 m.	Taludes en corte: der. shotcrete, izq. soil nailing.	Intersección: der. Est. 3+190	9
Retorno N° 1 Eje Principal (3+240-3+460)	46	3.50 m. Carril adicional incorporación, 2 carriles principales. Sentido único.		Acera: izq. y der. 2.00 m. Arriate: izq. y der. 1.00 m.	Taludes en corte: der. bermas, izq. soil nailing.	Bahía izq. Est. 3+440	
3+460-5+040	47	3.50 m. 2 carr./sentido. Carril adicional Est. 3+630 a Est. 3+725.	0.50 m. Separador de concreto.	Acera: izq. y der. 1.50 m.	Der. talud en relleno. Izq. talud en corte hasta nivel de zona verde.	Intersecciones: der. Est. 3+566, izq. Est. 3+745. Bahías: izq. Est. 3+950, der. Est. 4+260, izq. Est. 4+460.	6

³¹ Se analiza la sección más representativa del tramo en estudio debido a que un análisis sección por sección tomaría demasiado espacio para poder incluirse en este cuadro.

TABLA 29: REVISIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL EN EL REDISEÑO. PROPUESTA FINAL.

TRAMO	FIG.	CARRIL	MEDIANA CENTRAL	ACERA/ARRIATE	CONFORMACIÓN DE TALUDES	OTROS	FOTO
Retorno Nº 2 Eje Principal (5+040-5+535)	48	3.65 m. Carril adicional incorporación. 2 carriles principales. Sentido único.		Acera: izq. 1.00 m en tramo carril adicional, der. 2.00 m. Arriate: der. 1.00 m.	Taludes en corte: der. 1 berma, izq. 2 bermas.	Intersección: der. Est. 5+260	3
5+535-FINAL	49	3.50 m. 2 carr./sentido.	0.50 m. Separador de concreto.	Acera: izq. y der. 1.50 m.	Der. talud en corte, 1 berma. Izq. talud en corte existente con muro.	Intersección: der. Est. 5+660	12
Retorno Nº 1, rampas		7.50 m. 1 carril. Sentido único. Sobreechancho: 1.00 m.		Acera: 1.00 m en lado interno.	Taludes en corte.		
Retorno Nº 1, eje secundario	50	3.65 m. 2 carriles. Sentido único.		Acera: izq. y der. 2.00 m. Arriate: izq. y der. 1.00 m.	Taludes en corte.		
Retorno Nº 2, rampas		7.50 m. 1 carril. Sentido único. Sobreechancho: 1.00 m.		Acera: 1.00 m en lado interno.	Taludes en corte.		3
Retorno Nº 2, eje secundario	51	3.65 m. 2 carriles. Sentido único.		Acera: izq. 2.00 m, der. 1.15 m. Arriate: izq. 1.00 m.	Der. talud en corte con shotcrete. Izq. a nivel con terreno natural.		4

5.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El alineamiento horizontal se rediseña en base al diseño conceptual, tomando en cuenta la importancia de la zona donde se realiza el proyecto y toda la infraestructura existente, lo cual será útil para hacer los cambios, empalmes, afectaciones, desvíos de ejes y adaptaciones de curvas y tangentes que se requieran para cuando se haga la etapa de diseño o construcción del proyecto. En el alineamiento horizontal (respecto al eje del proyecto), el objeto es aminorar la sinuosidad con las curvas proyectadas (tabla 30), minimizar la afectación de propiedades tales como tanque de ANDA (Est. 3+120), centro escolar “José Mejía” (Est. 3+720), gasolinera Gasolub (Est. 3+990), lotes de urbanizaciones (Col. Lomas de Altamira Est. 4+160 a Est. 4+360), parque ecológico (Est. 4+460 a Est. 4+600), y aprovechar la línea de derecho de vía. La comparación entre los diseños se muestra en la tabla 27.

TABLA 30: SINUOSIDAD PARA DISEÑO CONCEPTUAL Y REDISEÑO.

Sinuosidad		Resultado
Conceptual	Rediseño	La sinuosidad disminuye en 6.7%, esto debido a que sólo se eliminó una curva espiral (Est. 3+880 a Est. 3+920) modificándose las demás curvas en sus elementos, acomodando las tangentes respectivas.
57.0 %	50.3 %	

En el diseño de tangentes y curvas verticales se define cuál será la rasante final, realizando una comparación entre la rasante del diseño conceptual y la

rasante final de diseño, haciendo las mejoras de ésta, basados en la terracería, pendientes y cortes obligados como en el tramo del Retorno N° 2 (Est. 5+040 a Est. 5+520), determinado por la corporación SIMAN, analizando cuidadosamente las intersecciones de la rasante y terreno natural, evitando el exceso de rellenos y cortes; además, se aprovecha al máximo la rasante existente (Est. 3+520 a Est. 5+010 y de Est. 5+806 hasta el final del proyecto). En el perfil de las rasantes de todo el proyecto que se muestra en los planos planta-perfil (después de Apéndice III), entre los estacionamientos 3+400 a 5+100, los cortes y rellenos son mínimos, es decir que se trata de mantener la rasante conceptual con la rasante final apegados a las condiciones de la rasante existente; sin embargo, entre los estacionamientos 2+940 a 3+400 y de la 5+100 a 5+520, la rasante conceptual varía con la rasante rediseñada y ambos respecto al terreno natural prevaleciendo un corte de gran magnitud debido a condiciones impuestas al proyecto, por la corporación SIMAN.

La tabla 31 detalla los porcentajes de área de cortes y rellenos globales del proyecto (2.932 Km), tanto en el diseño conceptual como para el rediseño obtenidos del plano de planta y perfil; muestra además, los cambios de rasante del diseño conceptual respecto al rediseño final para comparar ambos alineamientos verticales, es decir, cambios de tangentes y curvas verticales. En la tabla 28 se plantean las causas y soluciones principales según el caso.

TABLA 31: RESUMEN COMPARATIVO DE PORCENTAJES DE ÁREAS PARA VALORES CRÍTICOS.

Conceptual		Rediseño	
Área en Corte (%)	Área en Relleno (%)	Área en Corte (%)	Área en Relleno (%)
93.3	6.7	98.7	1.3
Existe un desbalance entre cortes y rellenos, lo que implicó el acarreo de material, repercutiendo en los costos de terracería. El exceso de corte se debe, sobre todo, a los tramos de apertura en los dos retornos del proyecto, en una zona densamente urbanizada.			

La sección transversal que resulta de la tabla 29, para cada tramo del proyecto, muestra las dimensiones de los elementos como separador central, ancho de carriles, aceras y arriates, y la forma de los taludes que, de acuerdo con las condiciones de diseño, deben mantener el ancho de carril en 3.50 m, sobre todo, en el eje principal, salvo en los retornos donde es de 3.65 m. Debido a las condiciones impuestas del proyecto, el talud en relleno o en corte queda limitado por los alineamientos horizontal y vertical, en su forma y dimensión sólo con el bordillo y acera, tomando en cuenta los parámetros de diseño de la tabla 17.

El proyecto comprende el diseño de dos retornos, el primero, Retorno N° 1, ubicado entre los Est. 3+260 a Est. 3+340; el segundo, Retorno N° 2, está ubicado entre los Est. 5+040 a 5+520. El Retorno N° 1 permitirá a los residentes de las colonias Cima I, II, III y VI acceder sin mayores dificultades a sus respectivas colonias cuando hagan su regreso desde el centro de San Salvador

o la periferia. El Retorno N° 2 permite acceder a sus casas o fuentes de trabajo, a aquellas personas que habitan o trabajan en sus inmediaciones.

La ubicación de los retornos se hace tomando en cuenta aquellos tramos que por su geometría faciliten el desarrollo de todos los elementos que contienen, rampas, isletas, carriles adicionales, etc. Para el Retorno N° 1 (figura 30), se aprovechó la curva de la calle existente, que permitió enlazar sus extremos con un tramo relativamente corto de calle (150.0 m aproximadamente) atravesando los terrenos no construidos de la zona. Para el Retorno N° 2 (figura 36), se ajusta la línea del eje principal por los muros de grandes dimensiones existentes, utilizando para ello curvas horizontales con radios mínimos (60.0 m). Una de sus rampas principales se ajustó obligadamente a los niveles que la corporación SIMAN impuso en la franja de derecho de vía que rodea su terreno, por esta razón se incrementó las cantidades de corte en este tramo ya que la rasante final obligada tiene una diferencia máxima de nivel de 31.0 m respecto de la rasante en el diseño conceptual.

Finalmente, terminada la fase de rediseño de cada tramo de proyecto, viene la revisión por parte de la Unidad de Planificación Vial del MOP, que haciendo uso del criterio de acomodación, el cual consiste en la conciliación de los problemas en donde se hace cualquier cambio, modificación, adaptación, etc., en posición o cota, eje o curva, o cualquier elemento de la geometría del diseño

conceptual para el diseño final, dará la no objeción para proceder a la construcción del tramo.

5.3 CONSIDERACIONES

En este estudio de rediseño, el Apéndice I contiene la metodología de aplicaciones conceptuales que son necesarias en la etapa de diseño conceptual como en la del rediseño para obtener el diseño final para construcción de la vía, así, se plantean las siguientes consideraciones técnicas para el desarrollo del rediseño:

La topografía detallada, el diseño conceptual propuesto apegado a normas y especificaciones da las pautas para elaborar el rediseño final para construcción. Vale considerar, que durante la realización se verán las soluciones que ajustan los requerimientos viales del proyecto, lo cual conlleva a la consecución final de la obra vial. Los estudios de campo son siempre necesarios durante cualquiera de las etapas y actividades que tiene el diseño y construcción para aclarar, verificar, complementar y asegurar que la geometría que se trazará, es la que mejor cumple con todos los aspectos técnicos del proyecto y la población afectada y beneficiada.

El alineamiento horizontal está condicionado a satisfacer al usuario con seguridad y eficiencia, comodidad, reducción de costos de transporte y tiempos de viaje adecuados. Prevé en diseño y construcción, a partir de normas y especificaciones del proyecto y parámetros, garantizar el control del tráfico vehicular. El diseño del alineamiento horizontal geoméricamente balanceado, ventajosamente, prevé que el trazo se acomode en lo posible al terreno natural, preferiblemente coordinado cuidadosamente con el perfil longitudinal a lo largo del tramo de proyecto, conjugando los factores y parámetros del diseño para establecer la mejor pendiente gobernadora (5% a 8.5%) en cada segmento que constituye la longitud del proyecto. El alineamiento vertical es concordante con el horizontal respecto al diseño, controlando la configuración topográfica del terreno a partir del perfil topográfico que mejor se adapte en el cumplimiento de normas y especificaciones al usuario y la operacionalidad de los vehículos y el tráfico. Con el alineamiento vertical también se controlará el drenaje pluvial, las ondulaciones y el momentum para el control de la velocidad y el efecto de “montaña rusa”. La combinación favorable en la adaptación de los alineamientos de la vía con la topografía natural del terreno a partir del buen criterio del diseñador, establece condiciones que viabilizan la realización del proyecto técnica y financieramente y su administración, para mejores beneficios.

Las longitudes rectas de los alineamientos horizontal y vertical conectan, tal como lo requieran, las curvas necesarias para satisfacer las condiciones del eje en el diseño de la rasante tanto en planta como en elevación. En tramos muy largos y de escasa pendiente (0.5%) el factor de mayor peso a cuidar es la evacuación de las aguas superficiales (principalmente en vaguadas) ya que un estancamiento sobre el rodaje será causa de inconvenientes a los conductores, deteriorando la superficie del pavimento con las infiltraciones que a raíz de ello se produzcan, haciendo que la estructura de la base ceda debido a las cargas repetitivas del tráfico.

Las longitudes curvilíneas son el complemento de las tangentes en ambos alineamientos, garantizando la transición confortable y segura entre las direcciones de las rectas que estas unen (rumbos en el alineamiento horizontal y pendientes en el alineamiento vertical). La utilización de curvas horizontales en el caso de los tramos de carretera empinados se debe predominantemente a la necesidad de superar los numerosos obstáculos que imponen las laderas, principalmente cuando haya macizos rocosos. En cambio, el empleo de curvas horizontales en terrenos llanos se debe a la estética y particularmente a contrarrestar la sensación monótona de las tangentes demasiado largas que induce al conductor un estado de monotonía y somnolencia.

El peralte, es utilizado para minimizar la sensación desagradable de fuga tangencial, causada por la fuerza centrífuga, que experimentan los conductores y pasajeros al transitar una curva horizontal y el vehículo su estabilidad³². Cuando en el desarrollo de la curva horizontal exista por lo menos un acceso de importancia, el peralte debe ser aplicado de manera que mantenga un nivel aceptable de funcionalidad y además permita el fácil tránsito de los vehículos sobre la trayectoria curvilínea hacia la calzada de la intersección.

³² Volteo, resbalamiento, cualquier distorsión de la trayectoria de la marcha del vehículo.

5.4 CONCLUSIONES

El rediseño geométrico del tramo de vía que conecta la prolongación del boulevard Orden de Malta y la calle a Huizucar que se ampliará, tramo II, que al final se integrará con la Autopista Comalapa, por la importancia y modernidad de la red vial carretera del país, este ha requerido concordantemente, en diseño y su construcción, tecnologías y ayudas computacionales que lleven al cumplimiento de normas, especificaciones y procedimientos constructivos que garanticen la buena calidad de la obra en todas y cada una de las etapas correspondientes así como eficiencia y buena funcionabilidad. Por lo cual las consideraciones que anteceden y se sustentan a lo largo del estudio, llevan a las siguientes conclusiones:

- La topografía es importante en el diseño geométrico de la vía, y su realización; en la práctica, antes de realizar los cambios de alineamiento vertical y horizontal es necesario tener detalladamente la topografía existente del tramo a mejorar; con coordenadas y elevaciones exactas, consecuentemente, la calidad del equipo para este fin, digital, determina el propósito. El control y la verificación de campo hace que verdaderamente se obtenga el diseño hecho y el replanteo, con lo cual, se posibilita tener los menores errores en construcción y esfuerzos técnicos y de inversión,

que aumenten el costo del proyecto o lo retrasen durante éste se realice o la entrega final.

- Para obtener las condiciones geométricas del alineamiento principalmente el horizontal, en los estudios del diseño conceptual, en los tramos detallados en la tabla 27, del proyecto, la revisión realizada generó las modificaciones, cambios, adaptaciones, aperturas y ampliación, éstas se hicieron durante el rediseño con base a las normas de diseño establecidas, beneficiando al proyecto (costo, obra, derecho de vía), y al usuario (comodidad y seguridad). En el rediseño del alineamiento horizontal, éste se mejoró principalmente en los tramos curvilíneos apegándose más a curvas circulares para tener geometría más uniformizada que también cumpla las buenas condiciones de tráfico y del usuario quien transita la vía. De ahí que constructiva y funcionalmente la vía cumple las normas y especificaciones exigidas y al usuario se garantiza la necesidad de tráfico seguro. Esta vía, por su ampliación de carriles, es de mayor capacidad ya que mejora la fluidez de tráfico vehicular proveniente de los sectores Sur y Occidente de la Zona Metropolitana del Gran San Salvador, convirtiéndose en una arteria importante dentro de la Red Nacional de Carreteras del país.

- Las normas geométricas adoptadas para el rediseño geométrico del proyecto son las establecidas por la AASHTO y la SIECA, así como las establecidas por el Ministerio de Obras Públicas para las condiciones geográficas y topográficas del lugar. La velocidad de diseño se determina comparando las velocidades de los tramos adyacentes, buscando mantener una continuidad para los conductores, obteniendo un valor de 50 km/h, con el fin de que no sufran tensiones por causa de los cambios en la marcha del tráfico en las condiciones de operación de la vía.

- Arquitectónica y ambientalmente, la geometría del tramo de estudio incluyó dos retornos al funcionamiento del mismo, como alternativa que soluciona la integración de las varias urbanizaciones adyacentes, al beneficiarse de la nueva vía, que también formará parte del desarrollo urbanístico de la zona Huizucar – Santa Elena. Los planos de realización de obra son la representación final del proyecto que se concibió en el diseño conceptual como referente de lo que objetivamente se requería del desarrollo vial de la zona.

- El diseño del drenaje, es necesario adaptarlo a las condiciones que se tengan en el tramo de estudio al terreno natural y a las exigencias de la rasante final, este requiere que sea hecho por especialistas hidrólogos e hidráulicos que garanticen la evacuación de los volúmenes de lluvia a

recoger y las obras correspondientes. El buen mantenimiento de los drenajes que haya previsto el proyecto permitirá tener las buenas condiciones de la vía para el período de diseño o más tiempo, preferiblemente.

- De la revisión del diseño conceptual para diseño final, se obtiene la geometría de los alineamientos horizontal y vertical y de la sección transversal que mejor cumpla con los requerimientos técnicos del Ministerio de Obras Públicas, respecto a construcción e inversión, que no vulnera los intereses de los ciudadanos afectados, que no impacta al ambiente y mitiga algunos de ellos con obras pertinentes y a los usuarios de la vía les garantiza comodidad, seguridad, buen funcionamiento y durabilidad; con lo cual se contribuye al desarrollo vial, del país y de la sociedad, en concordancia actual con las nuevas visiones mundiales de desarrollo, tales como los Tratados de Libre Comercio (TLC's) con otros países en desarrollo.

5.5 RECOMENDACIONES

Basados en el estudio integral realizado a lo largo del tramo boulevard prolongación Orden de Malta y calle a Huizucar hasta la integración con la Autopista Comalapa, con especificidad en la geometría que es la finalidad de este estudio, y de acuerdo con las conclusiones correspondientes se puntualizan las recomendaciones, para la práctica de ingeniería en el diseño geométrico de las vías, calles, carreteras y caminos.

- A los diseñadores, plantear alternativas de alineamientos en segmentos de éste que no cumplan las normas de diseño o que tengan limitaciones por puntos de control en tramos o puntos obligados considerando un análisis técnico y justificando en las modificaciones, los cuales no deberán ser inferiores a los presentados en el diseño conceptual.

- Para obtener la combinación favorable de los alineamientos, tomando en cuenta la topografía, trazo y replanteo, un mejor criterio en beneficio del proyecto es que el personal de diseño realice constantemente visitas de campo de comprobaciones entre participantes, contratistas y propietario, para minimizar o que no existan errores en diseño, construcción y funcionamiento.

- En el alineamiento horizontal al introducir una curva de transición, ésta requiere justificación, ya que cuando una curva circular simple no satisface las condiciones existentes para buen funcionamiento vehicular de ese tramo, se le adapta la transición de entrada y salida con una espiral, clotoide; su utilización resuelve al usuario seguridad y comodidad, y a la vía, eficiencia en el control del tráfico vehicular.

- En general, dotar de hombros a las vías, incluyendo las urbanas y suburbanas, estos para su uso eventual por vehículos dañados y para maniobras de giro en intersecciones, como área de seguridad para la maniobra de vehículos fuera de control y como espacio para la circulación de motocicletas y bicicletas.

- Una buena iluminación permite ahorro de energía, mejor aprovechamiento de los recursos naturales, aumento de la seguridad y una mejor visión. Es conveniente adecuar los niveles de iluminación utilizando lámparas de sodio de baja presión, usar proyectores de pantallas asimétricas para iluminar amplias superficies y regular las pantallas publicitarias que poseen iluminación extrema.

- Debe otorgarse mayor libertad a las empresas diseñadoras para que propongan soluciones integrales más factibles económica y funcionalmente para lograr una mejor inversión en los proyectos.

- El alineamiento de la carretera se planteó tomando en cuenta el diseño preliminar y las normas de diseño anteriormente descritas, sin embargo, luego de un exhaustivo análisis de las condiciones existentes se realizaron las acomodaciones de alineamiento horizontal y vertical tomando en cuenta factores de funcionalidad, por lo que se plantean los criterios a seguir en el rediseño de un proyecto vial:
 - Revisión de datos topográficos.
 - Realizar el diseño geométrico que satisfaga las normas estándares de diseño.
 - Revisión de la geometría de la línea principal, intercambiadores e intersecciones presentados en los planos conceptuales.
 - Realizar planteamientos de alternativas de alineamiento en tramos que no cumplieran las normas de diseño o tenían limitaciones por puntos de control, hasta alcanzar el óptimo balance del movimiento de tierras.
 - Revisar los niveles de servicio, secciones transversales, funcionalidad, seguridad, velocidad y los parámetros de diseño de la

carretera, intercambiadores, intersecciones a nivel y vías auxiliares; los cuales no debían ser inferiores a los presentados en el diseño conceptual.

- El diseño geométrico final de intercambiadores, hacerlo con un análisis técnico y justificando modificaciones, en aquellos casos necesarios.
 - La generación de planos finales se hace con el alineamiento horizontal y vertical rediseñado.
- Dar un mantenimiento adecuado periódicamente a las obras de drenaje y demás componentes de la carretera con actividades como: limpieza de cunetas, contracunetas, bajantes, etc., hasta el chapeo y desmonte de taludes o poda de áreas verdes aledañas a la vía; reparación o retoques de la señalización y sellado de grietas o bacheo en los pavimentos, para prolongar la vida útil de la carretera y mantener un óptimo nivel de serviciabilidad.
- La señalización es la garantía de un buen funcionamiento vial, pero su ejecución es postergada hasta el límite de finalización del proyecto, dando lugar a que ocurran accidentes por ser habilitada la vía con poca o nula señalización, por lo cual, debe dársele mayor importancia y que se realice

seguidamente cuando las condiciones mínimas de resistencia del pavimento lo permitan, para dar una mayor seguridad al usuario.

- Los factores o parámetros que gobiernan el diseño geométrico de un proyecto vial como el vehículo de diseño, volumen de tránsito y nivel de serviciabilidad, están basados en proyecciones de crecimiento a 25 años; por lo tanto, es necesario monitorear los valores establecidos y compararlos con los que se obtengan a 10 años de construida la obra para determinar si debe revisarse el rediseño con el propósito de cambiarlo o ajustarlo a las nuevas condiciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, James M. y Mikhail, Edward M., 1988. Introducción a la Topografía. 1ª Edición en español. Editorial Mc. Graw Hill de México, S. A. de C. V.

- Carciente, Jacob. 1965. Estudio y Proyecto de Carreteras, primera edición. Ediciones de la Biblioteca. Caracas, Venezuela.

- Erazo Gómez, Jaime Alberto. 1980. Diseño Hidráulico de Obras de Drenaje Menor en Carreteras. Tesis. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. San Salvador.

- Merritt, Frederick S., 1992. Manual del Ingeniero Civil. 2ª Edición en español. Editorial Mc. Graw Hill/ Interamericana de México, S. A. de C. V. Tomo III. Págs. 16-1 a16-6.

- Reyes Baltodano, José Jacinto. 1985. Utilización de la Fotogrametría en el Diseño de Caminos. Trabajo de Graduación. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. San Salvador.

- Programa Salvadoreño de Investigación Sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA). 1996. La Evolución de la Red Urbana y el Desarrollo Sostenible en El Salvador. www.prisma.org.sv

- Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). 2001. Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales Centroamericanas. Proyecto USAID No. 596-0181.20.

Anexos

Anexo I: FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO



Fotografía 1: Cordón cuneta y acera en construcción.



Fotografía Nº 2: Trabajos de terracería concluidos en retorno Nº 2.



Fotografía N° 3: Panorámica de isla central del retorno N° 2.



Fotografía N° 4: Vista de talud con dos bermas en retorno N° 2.



Fotografía N° 5: Curva vertical en cresta.



Fotografía N° 6: Curva horizontal de transición.



Fotografía N° 7: Separador central en construcción.



Fotografía N° 8: Tapiales y muros de viviendas aledañas.



Fotografía N° 9: Muros que restringieron el alineamiento horizontal.



Fotografía N° 10: Pasarela sobre Autopista Comalapa al final del proyecto.



Fotografía N° 11: Intersección a nivel de calle a Huizucar y Autopista Comalapa.



Fotografía N° 12: Panorámica de entronque de la Autopista Comalapa y calle a Huizucar.

Anexo II: GUIA RÁPIDA PARA ESTACIÓN TOTAL LEIKA

Quick Start TC605/805/905/L

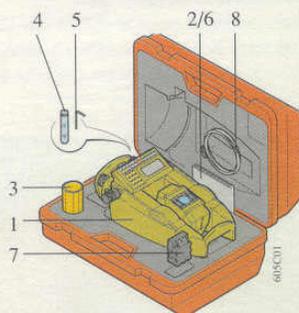


Para garantizar un empleo seguro del sistema, observe las detalladas normas de seguridad mencionadas en el manual de empleo.
 © 1997 Leica Geosystems AG Heerbrugg.
 ® Reservados todos los derechos.

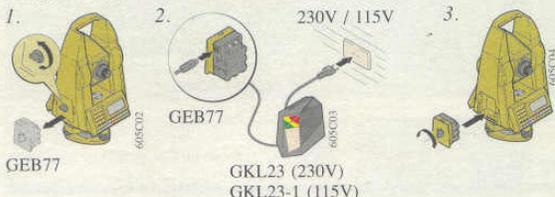
Puesta en estación del instrumento, primeros pasos

Desembalar

- 1 Taquímetro
- 2 Manual del usuario
- 3 Protección contra la lluvia
- 4 Juego de clavijas
- 5 Llave Allen
- 6 Disquete con TCTOOLS
- 7 Batería de recambio (opcional)
- 8 Cable de datos (RS232)

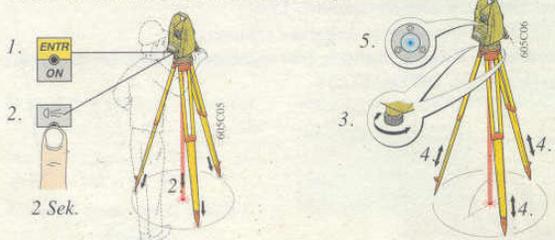


Carga de la batería



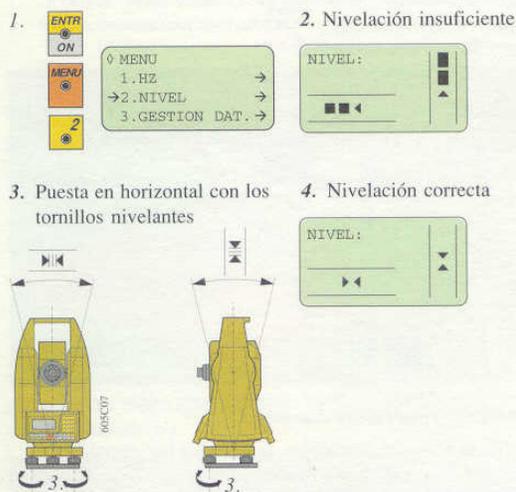
Tiempo de carga: GEB77 » 1.0 h, GEB70 » 1.5 h, GEB71 » 5.0 h

Puesta en estación del instrumento con plomada láser



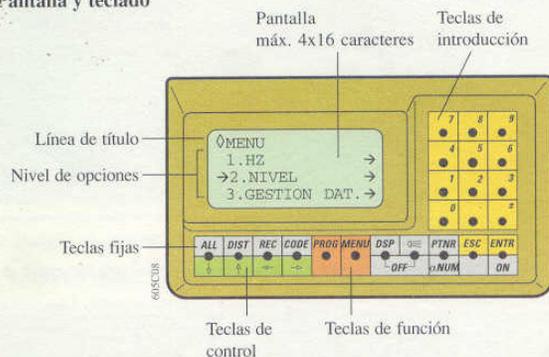
1. Encender el instrumento
2. Activar el láser.
3. Orientar el punto láser sobre el punto estación.
4. Nivelar el instrumento con el trípode.
5. Con los tornillos nivelantes, nivelar el instrumento de forma precisa.

Nivelación con el nivel electrónico



Principio de empleo

Pantalla y teclado



- : Encender el instrumento.
- : Conmutar entre entrada numérica y alfanumérica.
- : Al presionar simultáneamente se apaga el instrumento.
- : A cada tecla numérica se asignan 3 caracteres alfanuméricos.

Menú principal



* EGL es un accesorio opcional para TC805/TC905/L

Menú configuración

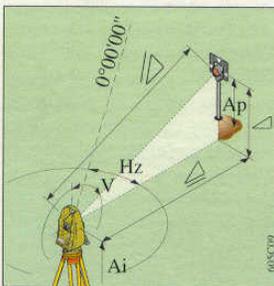


Medición y grabación

Símbolos en pantalla, medición de distancia

ENTR	Pt	:	22
ON	Hz	:	341°17'10
	V	:	87°55'10
		:	3.782

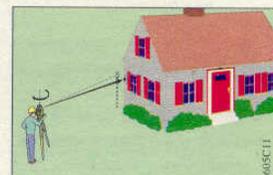
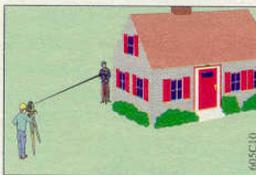
- Pt : Número de punto
- Hz : Ángulo horizontal
- V : Ángulo vertical
- : Distancia geométrica
- : Distancia horizontal
- : Desnivel
- Y : Coordenada X
- X : Coordenada Y
- Z : Altitud (Z)
- Cod : Denominación del código
- Ap : Altura de prisma
- Ai : Altura de instrumento
- ppm : Corrección de distancia atmosférica
- mm : Constante de prisma (prisma circular Leica = 0)



- Activar la medida de distancia.
- Grabar los ángulos y la distancia medida.
- Medición simultánea de distancia y ángulo, y grabación de los datos.

Otras funciones de medición

- Aplicación excéntrica: permite la medida por separado de la distancia y el ángulo Hz con grabación de los datos.



Medir DISTANCIA

Grabar DATOS

- Función Tracking del distanciómetro:



Definición de las máscaras de pantalla:

Pantalla 1 :

Pt	: 1	Número de punto
H _z	: 341°17'10	Ángulo horizontal (Hz)
V	: 87°55'10	Ángulo vertical (V)
△	: 3.782	Distancia geométrica

Pantalla 2 :

H _z	: 341°17'10	Ángulo horizontal (Hz)
V	: 87°55'10	Ángulo vertical (V)
△	: 3.780	Distancia horizontal
▽	: 0.128	Desnivel

Pantalla 3 :

Pt	: 1	Número de punto
X	: -2.514	Coordenada X
Y	: 3.580	Coordenada Y
Z	: 0.137	Altitud (Z)

Pantalla 4 :

Pt	: 12	Número de punto
Cod	: A4	Denominación del código
△	: 3.780	Distancia horizontal
Ap	: 0.137	Altura de prisma

La máscara de pantalla seleccionada se fija automáticamente.

Codificación

A cada medida pueden asignarse códigos, a fin de disponer de información adicional del punto medido.

CODE	LIST : 0005/0050
→	Busc : 1
	Code : 1
DSP	In1 : Casa
	In2 : ENTRADA
	In3 : ANCHO
	In4 : INICIO
	In5 : FIN

Función "Codificación rápida"

Con simple presión de tecla se selecciona el código, se ejecuta la medida y se graban la codificación y los datos medidos.

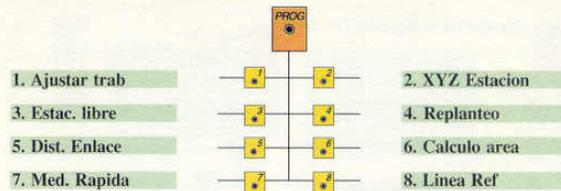
Máscara de pantalla requerida:

Pt	: 123
Cod	: 341°17'10
△	: ----
Ap	: 1.500

Los primeros 10 códigos de una lista se asignan a las teclas numéricas del teclado.

1, ..., **9**, **0** : Activación directa del bloque de datos correspondiente.

Programas de aplicación

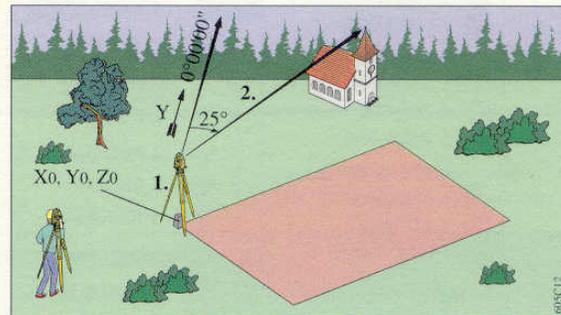


1. Definir trabajo (Ajustar trab)

Pueden introducirse el nombre del trabajo y el del operador.

2. Ajustar punto estación y la orientación (XYZ Estacion)

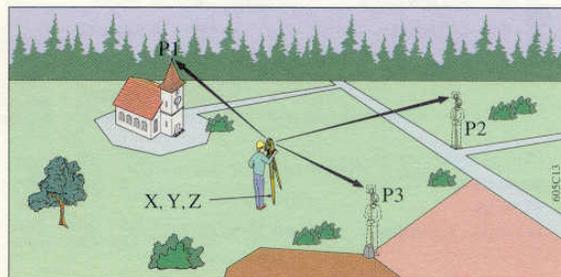
En el instrumento se ajustan las coordenadas de la estación (introducidas manualmente o leídas de la memoria interna) y se orienta el círculo Hz.



1. Ajustar punto estación 2. Ajustar orientación

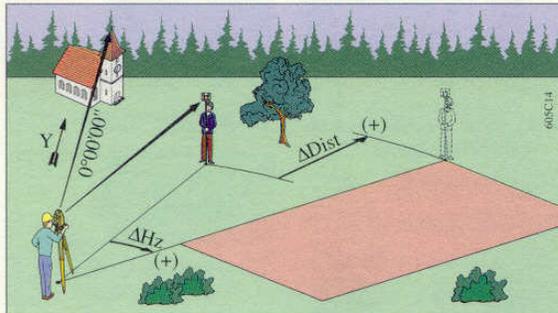
3. Puesta en estación libre

Calcula las coordenadas, la cota y la orientación del círculo horizontal del instrumento a partir de un mínimo de 2 a un máximo de 5 puntos con coordenadas conocidas.



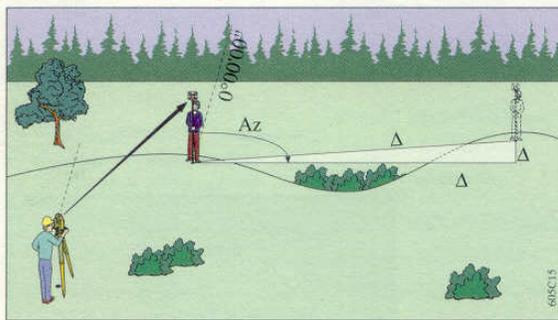
4. Replanteo

El programa calcula los elementos de replanteo (ΔH_z , $\Delta Dist$) a partir de coordenadas o valores introducidos manualmente para ángulos y la distancia horizontal.



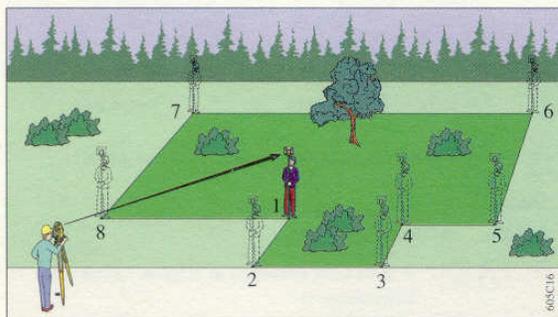
5. Distancia de enlace entre dos puntos

Cálculo de la distancia geométrica, la distancia horizontal, el desnivel y el azimut entre dos puntos.



6. Cálculo de superficies (Calculo Area)

Cálculo de áreas que constan de una serie de puntos unidos entre sí (p.ej. puntos 1...8).



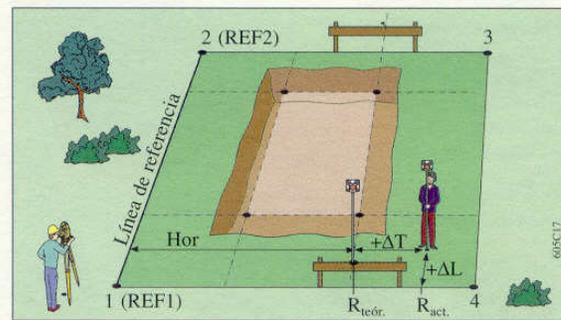
7. Medida rápida y grabación (Med. Rapida)

Este programa permite efectuar una medida rápida con grabación y codificación de los datos medidos, requiere un mínimo de entradas y manejo. Este programa se presta para taquimetría de alta densidad donde no se requiere un empleo continuo de códigos.

8. Línea de referencia (Línea Ref)

Con este programa es posible efectuar replanteos o controles de alineaciones para edificación, de calles rectas, obras simples de movimientos de tierra, etc.

Este programa permite definir una línea de referencia en relación a una línea de base conocida. La línea de referencia puede desplazarse paralelamente respecto a la línea base y/o girarse en el primer punto base.



TCTOOLS

El programa TCTOOLS tiene la función de un administrador de datos externo para los instrumentos TC605/TC805/TC905/L y funciona en el sistema operativo DOS.

TCTOOLS ofrece cinco funciones principales:

Gestión de listas de códigos, entrada coordenadas, enviar datos, recibir datos, INFO/AYUDA.

Leica

664959-1.0.0es

Impreso en Suiza - Copyright Leica Geosystems AG,
Heerbrugg, Suiza 1997
Traducción de la versión original (664959-1.0.0de)

Leica Geosystems AG
Geodesy
CH-9435 Heerbrugg
(Switzerland)
Phone +41 71 727 31 31
Fax +41 71 727 46 73
www.leica.com

Anexo III: ESTUDIO DEL TRÁNSITO

Para la composición del tráfico se determinó, de acuerdo al estudio de tránsito, cuatro subtramos de la vía, los cuales son:

- Subtramo 1 Autopista a Comalapa – Retorno N° 1
- Subtramo 2 Retorno N° 1 – Calle “A”³³
- Subtramo 3 Calle “A” – Retorno N° 2
- Subtramo 4 Retorno N° 2 – Intersección Blvd. Orden de Malta

La composición del tránsito se indica en los cuadros que más adelante se muestran, de la siguiente manera:

- Tramo 1 desde el 5+160 al 5+806.81 cuadro N° 2
- Tramo 2 desde el 3+740 al 5+160 cuadro N° 3
- Tramo 3 desde el 3+120 al 3+740 cuadro N° 4
- Tramo 4 desde el 2+877.47 al 3+320 cuadro N° 5

La tasa de crecimiento anual proyectada para los diferentes tramos y de acuerdo al estudio de tráfico realizado es como sigue:

- Para el Tramo 1 desde el Km. 5+160 al Km. 5+806.81 la tasa de crecimiento es de 1.20 % promedio
- Para el Tramo 2 desde el Km. 3+740 al Km. 5+160 la tasa de crecimiento es de 1.00 % promedio
- Para el Tramo 3 desde el Km. 3+120 al Km. 3+740 la tasa de crecimiento es de 1.00 % promedio
- Para el Tramo 4 desde el Km. 2+887.47 al Km. 3+120 la tasa de crecimiento es de 1.35 % promedio

³³ La calle “A” está ubicada en la intersección del Est. 3+740, que lleva a la Urb. La Cima I.

Pero considerando las variaciones en las proyecciones de tráfico para los diferentes tramos, se debe tomar aquel que mas incidencia tiene en estas proyecciones, por lo que para el diseño se considerará la proyección de tráfico que corresponde al tramo N° 2 con una tasa de crecimiento del 1.00 %

El coeficiente de distribución de dirección D_D a utilizar será de 0.5, y el numero de carriles por dirección es de dos (2) por lo que el coeficiente de carril D_L será de 0.80 (AASHTO 93 sección 2.1.2 Tráfico).

CUADRO I

TRAFICO FUTURO TRAMO 1

AUTOPISTA COMALAPA (5+806.81) – RETORNO 2 (5+160)

VOLUMEN DE TRAFICO FUTURO TOTAL

TABLA 9

PROYECTO: PROLONGACION BLVD... ORDEN DE MALTA
Y AMPLIACION CALLE A HUIZUCAR (TRAMO II)

TRAFICO FUTURO TOTAL					
SUBTRAMO 1: AUTOPISTA COMALAPA – RETORNO N 2				AMBOS SENTIDOS	
AÑO	TOTAL	VL	PP	C2	T
2004	12752	11993	101	654	4
2005	17655	15966	103	1335	251
2006	18134	16400	105	1373	257
2007	18385	16613	106	1403	263
2008	18639	16829	108	1434	268
2009	18897	17048	110	1466	274
2010	14775	13831	112	806	26
2011	14975	14011	114	824	27
2012	15178	14193	116	842	27
2013	15384	14377	118	860	28
2014	15592	14564	120	879	29
2015	15803	14753	122	899	29
2016	15995	14916	124	926	30
2017	16063	14975	126	938	24
2018	16259	15140	127	966	25
2019	16457	15307	129	995	26
2020	16658	15475	131	1025	27
2021	16861	15645	133	1056	27
2022	17068	15817	135	1087	28
2023	17277	15991	137	1120	29
2024	17489	16167	139	1153	30
2025	17705	16345	141	1188	31
2026	17923	16525	143	1224	32
2027	18145	16707	145	1260	33
2028	18369	16890	147	1298	34
2029	18597	17076	149	1337	35

FUENTE: TABLA 4 + TABLA 8

CUADRO II

TRAFICO FUTURO TRAMO 2 RETORNO 2 (5+160) – CALLE “A” (3+740)

VOLUMEN DE TRAFICO FUTURO TOTAL

TABLA 18

PROYECTO: PROLONGACION BLVD. ORDEN DE MALTA
Y AMPLIACION CALLE A HUIZUCAR (TRAMO II)

TRAFICO FUTURO TOTAL					
SUBTRAMO 2: RETORNO 2 - CALLE "A"				AMBOS SENTIDOS	
AÑO	TOTAL	VL	PP	C2	T
2004	26468	24324	1075	1059	10
2005	31472	28373	1094	1748	258
2006	32092	28922	1113	1794	263
2007	32445	29211	1132	1834	269
2008	32803	29503	1151	1874	275
2009	33165	29798	1171	1915	281
2010	29210	26718	1192	1267	33
2011	29526	26985	1212	1295	34
2012	29846	27255	1233	1323	35
2013	30170	27528	1254	1352	35
2014	30497	27803	1276	1382	36
2015	30829	28081	1298	1413	37
2016	31172	28362	1317	1455	38
2017	31519	28645	1336	1499	39
2018	31871	28932	1355	1544	40
2019	32227	29221	1375	1590	41
2020	32588	29513	1394	1638	43
2021	32954	29809	1415	1687	44
2022	33324	30107	1435	1737	45
2023	33699	30408	1456	1789	47
2024	34079	30712	1476	1843	48
2025	34465	31019	1498	1898	50
2026	34855	31329	1519	1955	51
2027	35250	31642	1541	2014	53
2028	35651	31959	1563	2074	54
2029	36057	32278	1586	2137	56

FUENTE: TABLA 13 +TABLA 17

CUADRO III

TRAFICO FUTURO TRAMO 3 CALLE "A" (3+740) – RETORNO 1 (3+320)

VOLUMEN DE TRAFICO FUTURO TOTAL

TABLA 27

PROYECTO: PROLONGACION BLVD. ORDEN DE MALTA
Y AMPLIACION CALLE A HUIZUCAR (TRAMO II)

TRAFICO FUTURO TOTAL					
SUBTRAMO 3: CALLE A -RETORNO 1				AMBOS SENTIDS	
AÑO	TOTAL	VL	PP	C2	T
2004	17765	16279	930	551	5
2005	22684	20257	946	1228	252
2006	23111	20629	962	1262	258
2007	23377	20844	979	1290	264
2008	23646	21062	996	1318	269
2009	23919	21283	1013	1347	275
2010	19872	18128	1031	686	27
2011	20097	18319	1049	701	28
2012	20324	18512	1067	717	29
2013	20554	18707	1085	733	29
2014	20787	18904	1104	749	30
2015	21023	19104	1123	765	30
2016	21254	19295	1139	788	31
2017	21488	19488	1156	812	32
2018	21724	19683	1172	836	33
2019	21964	19879	1189	861	34
2020	22207	20078	1206	887	35
2021	22453	20279	1224	914	36
2022	22702	20482	1241	941	38
2023	22954	20687	1259	969	39
2024	23209	20893	1277	998	40
2025	23467	21102	1296	1028	41
2026	23729	21313	1314	1059	42
2027	23994	21527	1333	1091	43
2028	24263	21742	1353	1124	45
2029	24535	21959	1372	1157	46

FUENTE: TABLA 22 + TABLA 26

CUADRO IV

TRAFICO FUTURO TRAMO 4 RETORNO 1 (3+320) – INICIO (2+877.47)

VOLUMEN DE TRAFICO FUTURO TOTAL

TABLA 36

PROYECTO: PROLONGACION BLVD. ORDEN DE MALTA
Y AMPLIACION CALLE A HUIZUCAR (TRAMO II)

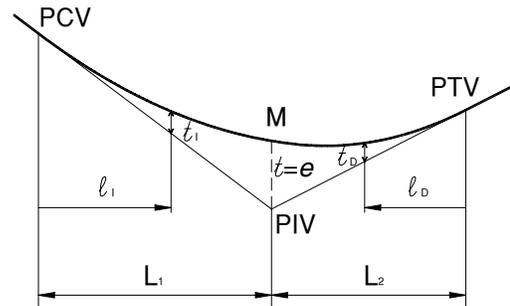
TRAFICO FUTURO TOTAL					
SUBTRAMO 4: RETORNO 2 -INTERS. BLVD. MALTA				AMBOS SENTIDS	
AÑO	TOTAL	VL	PP	C2	T
2004	2599	2256	189	153	1
2005	8007	6690	192	878	247
2006	8163	6815	196	900	253
2007	8294	6918	199	919	258
2008	8427	7021	202	940	264
2009	8563	7127	206	960	270
2010	4256	3764	209	259	24
2011	4323	3821	213	265	24
2012	4390	3878	217	271	25
2013	4459	3936	221	276	26
2014	4528	3995	224	283	26
2015	4599	4055	228	289	27
2016	4660	4104	232	297	27
2017	4722	4153	235	306	28
2018	4786	4203	238	316	29
2019	4850	4253	242	325	30
2020	4915	4304	245	335	31
2021	4981	4356	249	345	32
2022	5048	4408	252	355	33
2023	5116	4461	256	366	34
2024	5186	4515	260	377	35
2025	5256	4569	263	388	36
2026	5327	4624	267	400	37
2027	5400	4679	271	412	38
2028	5473	4735	275	424	39
2029	5548	4792	279	437	40

FUENTE: TABLA 31 + TABLA 35

Anexo IV: CURVA VERTICAL ASIMÉTRICA³⁴

CURVAS VERTICALES ASIMÉTRICAS

Hay casos especiales en los que una curva vertical asimétrica se adapta mejor a ciertas exigencias impuestas, que las curvas simétricas, por ejemplo: cuándo se llega o se aleja de un puente, es posible introducir curvas verticales asimétricas para evitar que dentro del puente quede una rama de la curva. También se puede emplear una de estas curvas cuando se hace el empalme de una vía existente a una proyectada con diferente pendiente, en la que introducir una curva simétrica quizá signifique demoler más pavimento que si se utiliza la asimétrica.



M no es el punto medio de la curva.

Figura IV-1

Para estas curvas, el valor de t en el PIV se acostumbra designarlo con la letra e y tiene como expresión la siguiente:

$$t = \frac{P_2 - P_1}{200L} (L_1 L_2) = e$$

En la rama izquierda $t_I = \left(\frac{l_I}{L_1}\right)^2 e$ (l medido desde el PCV)

En la rama derecha $t_D = \left(\frac{l_D}{L_2}\right)^2 e$ (l medido desde el PTV)

El cálculo de cotas en estas curvas se hace por separado para cada rama.

EJEMPLO: Una pendiente de +5.0% encuentra a otra de -0.7% en la estación 320+000 de cota 115 m. Las tangentes son desiguales, $L_1=300$ m y $L_2=400$ m. La longitud de la curva es de 700 m. Calcular las cotas a cada 50 m.

$$\text{Elev. PCV} = 115 - 5\% \times 300 = 100.000 \text{ m.}$$

$$\text{Elev. PTV} = 115 - 7\% \times 400 = 87.000 \text{ m.}$$

$$P_2 - P_1 = (-7) - (+5) = -12\%$$

$$t \text{ en el PIV} = e = \frac{-12}{200 \times 700} \times 300 \times 400$$

$$t \text{ en el PIV} = -10.2857 \text{ m.}$$

$$t_I = \left(\frac{l}{300}\right)^2 (-10.2857) = -0.00011429 l^2$$

$$t_D = \left(\frac{l}{400}\right)^2 (-10.2857) = -0.00006429 l^2$$

³⁴ Adaptado de Apuntes de Topografía, Guía II, Ing. Mario Urey López, FIA-UES, S. S.

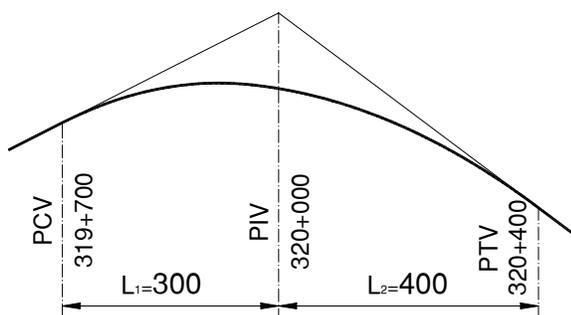


Figura IV-2

Elevaciones en rama izquierda

ESTAC.	l	$t_I =$ $0.00011429l^2$	Elevac. s/tg entrada	Elevaciones sobre la curva
PCV 319+700	0	0	100.000	100.000
319+750	50	-0.2857	102.500	102.214
319+800	100	-1.1429	105.000	103.857
319+850	150	-2.5715	107.500	104.929
319+900	200	-4.5716	110.000	105.428
319+950	250	-7.1431	112.500	105.357
PIV 320+000	300	-10.2861	115.000	104.714

Elevaciones en rama derecha

ESTAC.	l	$t_D =$ $0.00006429l^2$	Elevac. s/tg salida	Elevaciones sobre la curva
PTV 320+400	0	0	87.000	87.000
320+350	50	-0.1607	90.500	90.339
320+300	100	-0.6429	94.000	93.357
320+250	150	-1.4465	97.500	96.054
320+200	200	-2.5716	101.000	98.428
320+150	250	-4.0181	104.500	100.482
320+100	300	-5.7861	108.000	102.214
320+050	350	-7.8755	111.500	103.625
PIV 320+000	400	-10.2864	115.000	104.714

Si el estudiante lo desea, puede consultar temas especiales sobre curvas verticales en el libro "Levantamientos y Trazado de Caminos" de Thomas F. Hickerson.

BIBLIOGRAFÍA

Hickerson, THOMAS F.: Levantamientos y Trazado de Caminos, 5ª. Ed. 1969, Mc. Graw-Hill Book Company.

GLOSARIO

Alineamiento horizontal: es la proyección sobre un plano horizontal del eje real de la carretera, constituido por una serie de tramos rectos, llamados tangentes, enlazados entre si por curvas circulares simples en su mayoría.

Alineamiento vertical: es la proyección de sobre un plano vertical del desarrollo de una rasante o de una subrasante.

Bombeo: es la pendiente transversal hacia fuera que se da a uno y otro lado del eje de cualquier vía terrestre, para permitir que el agua que cae directamente sobre ella, escurra hacia sus dos hombros.

Bordillo: Son pequeños bordos que forman una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos y las bajadas, evitando erosiones en los taludes y saturación de éstos por el agua que cae sobre la corona del camino.

Contracunetas: son canales excavados en el terreno natural o formados con pequeños bordos, que se localizan aguas arriba de los taludes de los cortes.

Cunetas: son canales que se adosan a los lados de la corona de la vía terrestre, con el objeto de evacuar los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y los del área comprendida entre el coronamiento del corte y la contracuneta.

Curvas circulares: son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas.

Derecho de vía: es la franja de terreno que adquiere el dueño de una carretera, normalmente el Estado, para la construcción de la misma.

Derramaderos: son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, para conducir el agua lluvia que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes.

Diseño geométrico: el diseño geométrico de una carretera es la ordenación de sus elementos físicos, alineamiento vertical y horizontal, pendientes, distancia de visibilidad, peraltes, ancho de carril, etc.

Distancia de visibilidad: longitud de la carretera que un conductor ve continuamente delante de él, cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables.

Estabilización de taludes: es el mejoramiento de las condiciones mecánicas del suelo para mantener por más tiempo su configuración según el diseño de la sección transversal.

Esviaje: es el ángulo menor que forman el eje de la carretera y el eje de una obra hidráulica transversal.

Guitarra: gráfica que se incluye al pie de los planos de planta y perfil en la cual se detallan el sobreelevación, peralte o sobreelevación y radios de curvatura.

Peralte: es la inclinación transversal de la vía en las curvas y el elemento que actúa en conjunto con la fuerza de fricción para que un vehículo pueda circular con seguridad en curvas de menor radio a una determinada velocidad.

Pavimento: es una estructura constituida por varias capas de materiales, que tienen por objeto permitir el tránsito de vehículos en forma cómoda, segura y eficiente a un costo mínimo.

Pavimento rígido: consiste en una mezcla relativamente rica de cemento, arena y agregados gruesos.

Planos: son los dibujos del proyecto que muestran la ubicación, índole y características geométricas del trabajo, incluyendo la disposición, perfil longitudinal, perfil transversal y otros detalles.

Rasante: es la línea que define la posición que un determinado eje de la obra ha de tener en el espacio una vez construida.

Sección transversal: corte vertical normal al alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección.

Talud: se definen como la superficie vertical o inclinada entre porciones de terreno a diferente nivel, producto de movimientos de terracería de un proyecto carretero y forman parte de los accidentes topográficos más comunes.

Tangente horizontal: es la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que contienen las curvas horizontales.

Usuario: término que se refiere al ser humano, ya sea como peatón o como conductor.

Velocidad de operación: es la máxima velocidad a la cual un conductor puede viajar por una carretera dada, bajo condiciones climáticas favorables y las condiciones prevalecientes del tránsito, sin que en ningún momento se excedan los límites de seguridad que determina la velocidad de diseño.

Apéndice I

GUIA PARA EL REDISEÑO GEOMÉTRICO

Metodología para el rediseño vial: su planificación se realiza en las siguientes 3 etapas.

Etapa 1. Pasos para el rediseño geométrico de carreteras:

- Revisión de datos topográficos
- Realizar el diseño geométrico
- Revisión de la línea principal
- Planteamientos de alternativas de alineamientos
- Cumplimiento de los parámetros de diseño
- Diseño geométrico final
- Planos finales

Etapa 2. El rediseño de los elementos de la geometría de los alineamientos y sección transversal de la vía revisando posición final y requisitos como se detalla a continuación.

PARTE I. GEOMETRÍA GENERAL EN DISEÑO VIAL.

Ruta: Estudio topográfico de la faja de ancho variable a lo largo del tramo, tomando en cuenta, todo lo existente por donde pasa la vía y extendieran los derechos de vía (ver cuadro 3 página 315).

Tangentes del eje del alineamiento horizontal: Longitudes máximas en tramos rectos, puntos de intersección horizontal y posición del eje, puntos de estacionamiento, subtangentes de curvas, longitud mínima entre curvas, radios mínimos.

Tangentes del eje del alineamiento vertical: longitudes máximas en bajada y subida, posición de la rasante y rasante de proyecto, distancia entre curvas verticales, pendientes de rasante de proyecto.

Sección transversal: derechos de vía, estructura del pavimento y servidumbres, posición de drenajes, señales e iluminación.

PARTE II. REDISEÑO DE LOS ALINEAMIENTOS.

1. ALINEAMIENTO HORIZONTAL				
CONCEPTO	DISEÑAR USANDO	DESCRIPCIÓN	DATOS, PARÁMETROS	RESULTADOS
Posición del eje	Posición: coordenadas geográficas X, Y, Z de tangentes de alineamiento definiendo el eje	Puntos de intersección PI localizados a lo largo del tramo de proyecto y puntos de referencia y de amarre, basados en la poligonal levantada en la ruta elegida. Localizar detalles existentes.	Referencia X, Y, Z, niveles o cotas obligadas, curvas de nivel.	Poner datos en planta, planimetría del terreno natural con todos los detalles.
Curvas circulares simples	Ec. 24 a 29	Arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas para unir dos tangentes consecutivas.	Tabla 17	Poner datos de curva en planta, planimetría del terreno natural y detalles.
Radio de curvatura (R)	Ec. 4	Un vehículo operando seguro en curva circular simple con el radio que necesita para describirla lo hace mejor con el radio mayor que el mínimo y sobreelevación adecuada e igualmente el pavimento (f)	$V_d=50$ Km/h, arco= 20 m R_{min} . "e" y "f" (ver tabla 6).	Poner datos de curva en el eje.
Grado de curvatura (G)	Ec. 5	Para arco de 20 m según el tipo de terreno por donde pasa la vía, el grado de curvatura condiciona el valor del radio, aumentando este disminuye el otro ($G=k \cdot R^{-1}$)	Para G según tipo de terreno ver tabla 2	Poner datos de curva en el eje.

1. ALINEAMIENTO HORIZONTAL (CONT.)				
CONCEPTO	DISEÑAR USANDO	DESCRIPCIÓN	DATOS, PARÁMETROS	RESULTADOS
Sobre-elevación o peralte e y e_{nec}	Ec. 1, 2 y 4	Evita el efecto de fuga y violencia de la fuerza centrípeta dando estabilidad al vehículo.	Ver tablas 4 y figuras 6 y 7. También tablas 7 a 11.	Dar detalles del desarrollo en curva.
Factor de fricción (f)	Ec. 1, 2 y 4	Contribuye a la estabilidad del vehículo, evita resbalamientos.	Ver tablas 4 y 5 y figuras 6 y 7.	
Curvas de transición o espira de transición, usar la clotoide	Ec. 30 a 41	Se adaptan a la curva circular para el desarrollo moderado y uniforme a la entrada y salida de una curva muy cerrada.	Usar tablas 7 y 9 y figuras 41 a 43.	Poner datos de curva en el eje.
Sobreancho en curva	Ec. 7	Al vehículo que describe a la curva le corresponde un ancho de calzada y la acomoda en el giro para la maniobra. Se usa en la curva de transición y en la curva circular.	Usar tabla 12. Ver figuras 9 a 12.	Poner datos de curva planta con sus detalles.
Distancia de visibilidad	Ec. 9, 10 y 11	Garantiza funcionamiento seguro de la curva para ambos sentidos de la curva, sin obstáculos	R y L de la curva determinan su valor. Da seguridad y comodidad al conductor	Detallar en curvas.

2. ALINEAMIENTO VERTICAL				
CONCEPTO	DISEÑAR USANDO	DESCRIPCIÓN	DATOS, PARÁMETROS	RESULTADOS
Alineamiento Vertical		Cotas obligadas de proyecto, rasante de proyecto con 315pendientes según especificaciones 4% a 12% y tipo de terreno, pendiente gobernadora.	Puntos de intersección que mejor definan rasante y cumplen las cotas de instalaciones, propietarias de terreno, etc. Longitud de curva según concavidad.	Uso del perfil de terreno natural poniendo cotas de detalle existentes y las que necesite para el proyecto. Pendiente gobernadora de la rasante.
Curvas verticales parabólicas simétricas en cresta	Ec. 13 a 17	Para cálculo, tomar en cuenta los datos de las tablas 13 a 15 y figuras 16 y 17.	Revisar distancias de visibilidad de parada y de rebase, eficiencia del drenaje. Cotas de instalaciones.	Poner datos de curva en el perfil de terreno natural, acotar.
Curvas verticales parabólicas simétricas en columpio	Ec. 18 a 23	Para cálculo, tomar en cuenta los datos de tabla 16 y figuras 19 y 20.	Revisar distancia de visibilidad de parada y de rebase, eficiencia del drenaje.	Poner datos de curva en el perfil de terreno natural, acotar.

3. ALINEAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL COMBINADOS				
CONCEPTO	DISEÑAR USANDO	DESCRIPCIÓN	DATOS, PARÁMETROS	RESULTADOS
Combinación de ambos alineamientos		Aplicar criterios de diseño, normas y especificaciones.	Revisar criterios.	Revisar diseños y planos.

PARTE III. SECCIÓN TRANSVERSAL.

1. SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA				
CONCEPTO	DISEÑAR USANDO	DESCRIPCIÓN	DATOS, PARÁMETROS	RESULTADOS
Sección dotada de corona, rodaje, hombros, cunetas, derecho de vía, pavimento e instalaciones subterráneas	Cotas y rasante, derecho de vía	Adoptar en cada estacionamiento la que mejor pueda tenerse económicamente en el terreno. Figuras 24 y 25.	Buen criterio de diseño, normas y especificaciones. Dotar de obras de drenaje eficientes y bombeo.	Dibujar para cada estacionamiento.

PARTE IV. OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE Y TALUDES.

<ol style="list-style-type: none"> 1. Bombeo, cordones o bordillos, lavaderos, bajadas, bermas, cunetas, contracunetas. 2. Protegen y estabilizan taludes, evitan erosión.
--

Etapas 3. Elaboración de planos conceptuales revisados, de construcción y finales “como construido”.

Nota: en cualquiera de las etapas se elaboran planos y se trabaja en ellos incluyendo memorias de cálculo.

Apéndice II

IMPACTO DEBIDO AL DISEÑO, AL REDISEÑO O COMPLICACIONES DEL DISEÑO

La ampliación de la calle a Huizucar y el mejoramiento de su geometría, en los alineamientos horizontal, vertical y de la sección transversal, afecta a los usuarios, por ejemplo conductores, porque se convertirá en una mejor alternativa para evitar internarse en las calles urbanas de la ciudad de San Salvador, haciéndolo por la periferia sur-poniente hasta llegar a integrarse a la Carretera Panamericana (CA-1). Este proyecto tendrá un efecto positivo sobre la economía de la zona en cuanto a bienes inmuebles, ya que las propiedades ubicadas estratégicamente a lo largo del proyecto aumentarán su plusvalía; con el aumento de un carril en ambas direcciones de la vía; los usuarios sentirán mayor seguridad ya que los carriles mantendrán anchos uniformes de 3.50 m en el cuerpo principal, contrario a lo que se tenía con la calle existente que en ciertos tramos la sección de dos carriles (uno por sentido) era estrangulada por los límites de propiedad o cercos, apropiándose de zonas del derecho de vía; las curvas muy cerradas o de radio de curvatura muy pequeños constituían un serio peligro porque no se tomaron en cuenta parámetros de seguridad como distancias de visibilidad o de parada para su realización.

La construcción de pasarelas es necesaria para los peatones con el propósito de evitar atropellamientos por los altos volúmenes de tráfico (Anexo III) que esta arteria manejará cuando se encuentre trabajando a su máxima capacidad. En este proyecto se contempla la construcción de dos pasarelas, la primera estará ubicada en la Est. 3+580, la segunda en la Est. 4+450. La contaminación del agua, acústica³⁵, por emanación de gases, y lumínica³⁶ alterarán inevitablemente las condiciones actuales. Hay que conceder especial atención a la disposición final del agua colectada, de manera que se evite el daño físico a las propiedades contiguas y el agua resultante esté, en lo posible, libre de contaminación. Los ingenieros deben considerar el probable efecto en el ambiente, a largo plazo, del drenaje del pavimento y de acotamientos. Los taludes con altura igual o mayor que 4.00 m son las barreras que ayudarán a minimizar los ruidos a los habitantes de las colonias aledañas por el efecto de rebote de las ondas sonoras contra ellas y con la contaminación lumínica se puede tratar de minimizar su efecto utilizando lámparas específicamente diseñadas para ello o tomando en cuenta los factores de mitigación detallados en el Apéndice III. El último factor contaminante escapa a los alcances del diseño de este proyecto porque para reducir las emisiones se deben evitar las pendientes de fuerte inclinación, las condiciones que requieren

³⁵ El término contaminación acústica hace referencia al ruido cuando éste se considera como un contaminante, es decir, un sonido molesto que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos nocivos para una persona o grupo de personas.

³⁶ Se denomina contaminación lumínica al brillo o resplandor de luz en el cielo nocturno producido, principalmente por el alumbrado público y el uso de luminarias inadecuadas y/o excesos de iluminación.

aceleración y desaceleración y los segmentos de caminos encerrados con poca circulación de aire, particularmente en zonas urbanas y suburbanas. Por este motivo, es el Viceministerio de Transporte quien deberá regular o controlar las emanaciones tóxicas de los vehículos.

Al final del proyecto se dejará una intersección semaforizada de cuatro fases, permitiendo un giro más del que se tiene actualmente. Este giro será desde la calle a Huizucar doblando a la izquierda e incorporándose a los carriles que conducen a San Salvador. Pero, el inconveniente que se tiene al quitar el bordillo separador sobre la intersección es que no se puede restringir el cruce directo de vehículos desde la calle a Huizucar hacia la calle a Vista Hermosa (trayectoria recta), siendo una maniobra muy peligrosa si se tiene en cuenta que los vehículos que circulan de Oriente a Poniente (de Comalapa a San Salvador) tendrán derecho de paso al mismo tiempo que se habilite el cruce izquierdo citado al principio de este párrafo.

Otro de los inconvenientes a salvar sobre la proyección del eje central del proyecto es la afectación del parque ecológico de la colonia Lomas de Altamira y el centro escolar (figura 30). Si afectamos una parte de la escuela se tendrá inconvenientes para los estudiantes mientras se trabaja en la construcción del nuevo perímetro; además de las molestias por la emisión de polvo, si esta no se controla, afectará la salud de las personas. Al afectar el parque, el área se

reducirá y las personas que deseen utilizarlo no sentirán mucha seguridad lo que podría provocar que se vuelva obsoleto para esparcimiento.

Apéndice III

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA³⁷

¿CÓMO PODRÍA SOLUCIONARSE EL PROBLEMA?

Una buena iluminación permite:

- Ahorro de energía.
- Mejor aprovechamiento de los recursos naturales.
- Aumento de la seguridad, un exceso de luz o una luz mal dirigida deslumbra o puede provocar accidentes. También puede ser un factor de inseguridad ciudadana.
- Una mejor adaptación de la luz a la iluminación ambiente; una mejor visión.
- Enviar la luz allí donde es necesario y evitar sombras indeseadas.

Utilizar lámparas de sodio de baja presión dado que consumen:

- 5 veces menos que las lámparas incandescentes,
- 2 veces menos que las lámparas de mercurio,
- 5 veces menos que las lámparas de sodio de alta presión y fluorescentes.

Utilizar lámparas de bajo consumo y de luz roja en escaparates y rótulos publicitarios.

Usar proyectores de pantallas asimétricas para iluminar amplias superficies, siempre que sea posible. Son 25% más eficientes en términos de iluminación.

³⁷ Artículo adaptado del sitio web www.elrincondelvago.com con la siguiente referencia: Contaminación Lumínica - 00038423.DOC.

Otras sugerencias serían eliminar los obstáculos a las luminarias, lo que no es otra cosa que reducir una parte de los árboles que acompañan las calles, y así la luz, en lugar de encontrarse con las ramas y el follaje, podría llegar directamente al suelo, por lo que se podría prescindir de iluminación.

También es importante mencionar la necesaria modificación y retirada paulatina de todas las luminarias esféricas, tipo globo. Este tipo de luminarias son las de menor rendimiento energético ya que más del 50% de la luz se pierde hacia el cielo, y al final apenas ilumina el suelo, que sería lo suyo. Por esto sería conveniente mejorar el diseño de las farolas de tipo antiguo para que no lancen la luz hacia el cielo. Al igual que la iluminación que reciben muchos monumentos, edificios artísticos, anuncios, escaparates, etc., que su luz debería ir de arriba hacia abajo.

CONSECUENCIAS IMPORTANTES

El deslumbramiento

Se origina cuando la luz de una fuente artificial incide directamente sobre el ojo, y es tanto más intenso cuanto más adaptada a la oscuridad esté la visión. Al ser éste un efecto indeseado, toda la luz que lo origina no se aprovecha, cosa que no sólo es un despilfarro, sino que constituye un elemento evidente de inseguridad vial y personal. Una persona deslumbrada carece de seguridad, es vulnerable a las agresiones físicas y también ve mermada su capacidad de respuesta en la carretera al no poder su ojo percibir los detalles inmediatos. Exceso de luz mal dirigida y buena visibilidad son términos opuestos.

Todo el mundo ha experimentado lo que sucede cuando pasamos de un ámbito muy iluminado a otro totalmente oscuro: necesitamos tiempo para adaptarnos a la oscuridad y pasamos de no ver nada en absoluto a percibir,

primero, formas inconcretas; después formas más específicas y, finalmente, detalles menores y distintos niveles de brillo en ellos. Al estar situados los bastones en los alrededores de la retina, su máximo rendimiento se obtiene cuando observamos indirectamente los objetos, lo que se denomina visión lateral. Algo parecido sucede cuando pasamos repentinamente de la oscuridad a la luz muy intensa: quedamos deslumbrados y durante un cierto tiempo no tenemos la agudeza visual necesaria para percibir los objetos con nitidez, con lo que nuestra capacidad de respuesta frente a los obstáculos se ve muy mermada hasta que no nos adaptamos a la luz. Ambas situaciones se producen cuando salimos de un entorno urbano muy iluminado a una carretera oscura o cuando, procedentes de ella, llegamos al entorno urbano. A nadie se le ha ocurrido aplicar la idea de progresividad en el alumbrado de estas zonas. Un alumbrado ideal sería aquél que disminuiría paulatinamente el nivel de luz en dirección saliente, dando al ojo un mínimo tiempo para empezar a adaptarse a la oscuridad. En sentido contrario, el sistema sería igualmente adecuado.

El alumbrado de carreteras representa un punto crítico en esta cuestión. Se tiende a iluminar con exceso de potencia el mayor número posible de tramos de carretera, en la creencia de que ello supone un aumento de la seguridad vial. Habría que ver los estudios estadísticos sobre siniestralidad nocturna en carreteras iluminadas y no iluminadas para poder evaluar con equidad la conveniencia de hacerlo o no. Porque hay algo que sí es evidente: los conductores corren más en los tramos iluminados y esto supone un incremento del factor de riesgo velocidad. Por otra parte, a veces se instalan en carreteras de circulación densa y autopistas puntos de luz con luminarias incorrectamente apantalladas que deslumbran y, sorprendentemente, no se ve en ello un factor de inseguridad. Finalmente, tampoco nadie se preocupa del enorme deslumbramiento que suponen las instalaciones privadas o públicas situadas en las inmediaciones de la carretera: campos de deportes con proyectores

apuntando directamente a ella y focos exteriores de industrias o de particulares con la misma orientación inadecuada, son un espectáculo común en nuestras vías de circulación.

El sobreconsumo, finalmente, es la consecuencia indeseada e inevitable de los factores anteriormente descritos. Si éstos se evitaran, ahorraríamos porcentajes mínimos de un 25% en la factura de la luz, pudiéndose alcanzar porcentajes mayores del 40% en ciertos casos, si existiera la voluntad de utilizar lámparas de sodio de baja presión y se hiciera una fuerte apuesta por rebajar potencias en las luminarias. Provoca también un abuso de los recursos naturales, un sobreconsumo de combustibles fósiles, energía y recursos. Mucho más de lo que realmente necesitamos.

El alumbrado público no es el único responsable de la contaminación lumínica. Cualquier iluminación proyectada al exterior, como la luz que sale por las ventanas, los rótulos, los escaparates, etc., es también un contaminante lumínico. Tampoco se tiene en cuenta que la dirección de la luz del alumbrado privado debe ir de arriba a abajo, hacia el suelo. Y cada vez es más intensa y habitual, en la sociedad desarrollada, la luminaria privada con afectación al exterior.

Apéndice IV

CONTAMINACIÓN ACÚSTICA³⁸

La contaminación acústica es considerada por la mayoría de la población de las grandes ciudades como un factor medioambiental muy importante, que incide de forma principal en su calidad de vida. La contaminación ambiental urbana o ruido ambiental es una consecuencia directa no deseada de las propias actividades que se desarrollan en las grandes ciudades.

El término contaminación acústica hace referencia al ruido cuando éste se considera como un contaminante, es decir, un sonido molesto que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos nocivos para una persona o grupo de personas. La causa principal de la contaminación acústica es la actividad humana; el transporte, la construcción de edificios y obras públicas, la industria, entre otras. Los efectos producidos por el ruido pueden ser fisiológicos, como la pérdida de audición, y psicológicos, como la irritabilidad exagerada.

Técnicamente, el ruido es un tipo de energía secundaria de los procesos o actividades que se propaga en el ambiente en forma de ondulatoria compleja desde el foco productor hasta el receptor a una velocidad determinada y disminuyendo su intensidad con la distancia y el entorno físico.

Existe documentación sobre las molestias de los ruidos en las ciudades desde la antigüedad, pero es a partir del siglo pasado, como consecuencia de la Revolución Industrial, del desarrollo de nuevos medios de transporte y del crecimiento de las ciudades cuando comienza a aparecer realmente el problema de la contaminación acústica urbana. Las causas fundamentales son,

³⁸ Artículo adaptado del sitio web www.elrincondelvago.com con la siguiente referencia: contaminación acústica - 00014084.PDF.

entre otras, el aumento espectacular del parque automovilístico en los últimos años y el hecho particular de que las ciudades no habían sido concebidas para soportar los medios de transporte, con calles angostas y firmes poco adecuados.

La contaminación sonora se puede reducir, obviamente, produciendo menos ruido. Esto se puede conseguir disminuyendo el uso de sirenas en las calles, controlando el ruido de motocicletas, coches, maquinaria, etc. La instalación de pantallas o sistemas de protección entre el foco de ruido y los oyentes son otra forma de paliar este tipo de contaminación. Así, por ejemplo, cada vez es más frecuente la instalación de pantallas a los lados de las autopistas o carreteras, o el recubrimiento con materiales aislantes en las máquinas o lugares ruidosos.

ESCALA DE RUIDOS Y EFECTOS QUE PRODUCEN

Cada vez que la potencia del sonido aumenta al doble, la ganancia expresada en decibeles se incrementa 3 dB. Es decir, si la intensidad de un ruido crece 3 dB, significa que éste tiene una sonoridad el doble de fuerte.		Muy calmado	
		10 dB	Murmullo de las hojas
		15 dB	Murmullo del mar
		20 dB	Conversación normal
		30 dB	Radio a bajo volumen
		Calmado	
		40 dB	Refrigerador
		50 dB	Calle tranquila
		Molesto	
Presión sonora (dB)	Tiempo máximo de exposición sin daños permanentes	60 dB	Serrucho normal
		70 dB	Tráfico intenso, bocinazos
		80 dB	Coches, camiones, motos
90	8 horas	Muy molesto	
93	4 horas	90 dB	Lancha de motor
96	2 horas	Muy fuerte	
99	1 hora	100 dB	Licuada, moto c/escape abierto
102	30 minutos	Extremadamente fuerte	
105	15 minutos	110 dB	Avión jet a 100 m
108	7 minutos, 30 segundos	120 dB	Sierras y taladros
		Dolorosamente fuerte	
111	3 minutos, 45 segundos	130 dB	Remachado de acero
		Pérdida irremediable del oído	
120	28 segundos	140 dB	Avión supersónico

Fuente: Popular Mechanics En Español N° 56/08 agosto de 2003, pág. 25.

PLANOS

PLANO GENERAL

PLANO GENERAL.dwg

PLANTA Y PERFIL

PP-1 a PP-3.dwg

PP-4 a PP-6.dwg

**SECCIONES TRANSVERSALES DE
TRAMO MÁS REPRESENTATIVO**

EST. 5+200 a 5+800.dwg