



**DISEÑO GEOMETRICO FASE 3
DE LA VIA REMEDIOS – ZARAGOZA K0+000 K10+000
CONTRATO DE CONCESION BAJO EL ESQUEMA DE APP # 009 10 DIC 2014**

Concedente:
Agencia Nacional de Infraestructura

Concesionario:
Autopista Del Nordeste S.A.S

DISEÑO VIAL: APC SAS
DISEÑO GEOMETRICO MG ENGINEERING SAS

JULIAN ANDRES BALLESTEROS LOPEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
INGENIERIA TOPOGRÁFICA

TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE PASANTIA

**DISEÑO GEOMETRICO FASE 3
DE LA VIA REMEDIOS – ZARAGOZA K0+000 K10+000
CONTRATO DE CONCESION BAJO EL ESQUEMA DE APP # 009 10 DIC 2014**

INFORME DE PASANTIA PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO
TOPOGRAFICO

JULIAN ANDRES BALLESTEROS LOPEZ
Código 20142032062

Director Interno

Ing. CARLOS JAVIER GONZALEZ VERGARA

Director Externo

Ing. LUIS MAURICIO GONZÁLEZ MARTINEZ

BOGOTÁ D.C, JULIO DE 2019

| |
|---|
| CONTROL DE LA DOCUMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CALIDAD |
|---|

TÍTULO DEL TRABAJO: DISEÑO GEOMETRICO FASE 3 DE LA VIA
 REMEDIOS – ZARAGOZA K0+000 K10+000
 CONTRATO DE CONCESION BAJO EL ESQUEMA DE
 APP # 009 10 DIC 2014

TÍTULO DOCUMENTO: INFORME UF1-DG-V1

| | Nombre | Firma | Fecha |
|-----------------|---------------------------------|-------|-----------|
| Realizado por: | Julian Ballesteros López | | 8-07-2019 |
| Verificado por: | Carlos Javier González Vergara | | |
| | Luis Mauricio Gonzáles Martínez | | |

| Revisión | Observaciones | Fecha |
|----------|--|---------------|
| V0 | Versión para revisión | 12 Julio 2019 |
| V1 | Se realizaron algunos Ajustes y modificaciones, frente a las observaciones realizadas por el Ingeniero Luis Mauricio Gonzales Martínez | 15 Julio 2019 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

DISEÑO GEOMETRICO FASE 3
DE LA VIA REMEDIOZ – ZARAGOZA K0+000 K10+000
CONTRATO DE CONCESION BAJO EL ESQUEMA DE APP # 009 10 DIC 2014

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 7 |
| 2. OBJETIVOS Y ANTECEDENTES | 8 |
| 2.1. OBJETIVO..... | 8 |
| 2.2. ANTECEDENTES | 8 |
| 3. LOCALIZACION DEL PROYECTO | 9 |
| 4. TRABAJOS DESARROLLADOS | 11 |
| 4.1. INFORMACION EXISTENTE A LA FASE II DE LA VIA REMEDIOS ZARAGOZA | 11 |
| 4.2. RECORRIDOS DE CAMPO..... | 11 |
| 4.3. SITUACION ACTUAL..... | 11 |
| 5. TRAZADO Y DISEÑO GEOMETRICO | 12 |
| 5.1. CRITERIOS DE DISEÑO | 12 |
| 5.1.1. Normas Implementadas | 12 |
| 5.2. VELOCIDAD DE DISEÑO | 13 |
| 5.3. VEHICULO DE DISEÑO | 14 |
| 5.3.1. Dimensiones y trayectorias de giro | 14 |
| 5.4. PERALTE MAXIMO..... | 15 |
| 5.5. RADIOS MINIMOS | 15 |
| 5.6. LONGITUD MINIMA DE ESPIRAL (LE)..... | 16 |
| 5.7. LONGITUD MAXIMA DE LA CURVA ESPIRAL | 17 |
| 5.8. ENTRETANGENCIA HORIZONTAL MINIMA..... | 17 |
| 5.9. ENTRETANGENCIA HORIZONTAL MAXIMA..... | 18 |
| 5.10. RELACION ENTRE LOS RADIOS DE CURVAS CONTIGUAS | 18 |
| 5.11. LONGITUD MINIMA DE CURVA CIRCULAR..... | 20 |
| 6. ESPECIFICACIONES GENERALES DE DISEÑO EN PERFIL | 20 |
| 6.1. PENDIENTE LONGITUDINAL MINIMA | 20 |
| 6.2. PENDIENTE LONGITUDINAL MAXIMA..... | 21 |
| 6.3. LONGITUD CRITICA DE LA TANGENTE VERTICAL..... | 21 |
| 6.4. CARRILES ESPECIALES DE ASCENSO | 22 |
| 6.5. PARAMETROS CURVAS VERTICALES..... | 23 |
| 7. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA | 23 |
| 8. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO | 23 |
| 9. SECCIONES TRANSVERSALES | 24 |
| 9.1. ANCHO DE CALZADA | 24 |
| 9.2. ANCHO DE BERMA..... | 24 |
| 9.3. SOBREANCHO EN LAS CURVAS | 24 |
| 9.4. SECCIONES TRANSVERSAL TIPICA | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 9.5. TALUDES | 25 |
| 10. PARAMETROS DE DISEÑO | 26 |
| 11. RESTRICCIONES ENCONTRADAS DURANTE LA COMPONENTE DE DISEÑO | 27 |
| 12. OBRAS MAYORES..... | 28 |
| 12.1. PUENTES..... | 28 |
| 12.2. CRUCE SOBRE OLEODUCTOS..... | 29 |
| 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 29 |
| 14. BIBLIOGRAFÍA..... | 30 |
| 15. ANEXOS..... | 31 |

TABLA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Localización Proyecto en Colombia. Imagen Tomada de Google Earth con base en el KML del proyecto | 9 |
| Figura 2 Localización Proyecto en Antioquia. Imagen Tomada de Google Earth con base en el KML del proyecto | 10 |
| Figura 3 Localización Proyecto Local. Imagen Tomada de Google Earth con base en el KML del proyecto..... | 10 |
| Figura 4 Camión de Diseño, tomado del manual de diseño Geométrico de Carreteras 2008 | 14 |
| Figura 5 K4+355 Zona de excepción a relación de radios consecutivos..... | 19 |
| Figura 6 K8+245 Zona de excepción a relación de radios consecutivos..... | 19 |
| Figura 7 Figura del manual empleada para el cálculo de longitud crítica de pendiente | 22 |
| Figura 8 Sección típica calzada derecha..... | 24 |
| Figura 9 Sección típica en Puente calzada bidireccional | 25 |

TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 “Valores de la Velocidad de Diseño en tramos homogéneos” (VTR) | 13 |
| Tabla 2 Dimensiones y trayectorias de giro, tomado del manual de diseño Geométrico de Carreteras 2008 | 14 |
| Tabla 3 “Radios mínimos para peralte máximo $e_{max} = \pm 8.00\%$ ” | 15 |
| Tabla 4 Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes | 16 |
| Tabla 5 Puntos donde se incumple la relación entre radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencias de menos de 400m para la calzada izquierda | 20 |
| Tabla 6 Zona de excepción, con pendiente longitudinal Superior a la máxima indicada en la norma | 21 |
| Tabla 7 Parámetros de K adoptados | 23 |
| Tabla 8 Distancia de visibilidad de parada | 23 |
| Tabla 9 Parámetros de Diseño | 26 |
| Tabla 10 Listado de obras Mayores (puentes) | 28 |
| Tabla 11 Localización cruces sobre oleoducto | 29 |

1. INTRODUCCIÓN

La AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA - ANI y la SOCIEDAD AUTOPISTAS DEL NORDESTE S.A.S. suscribieron el contrato 009 DE 2014 del proyecto de Concesión 4G Conexión Norte del tramo Remedios- Zaragoza – Caucasia, cuyo objeto es la construcción de una vía nueva en calzada sencilla entre Remedios -y Zaragoza, el mejoramiento de la calzada actual del Tramo Zaragoza – Caucasia y la construcción de una nueva variante en calzada sencilla en Caucasia. El proyecto Remedios – Caucasia fue dividido en Unidades Funcionales como se describe a continuación:

- Unidad Funcional 1: entre Remedios – Zaragoza con una longitud aproximada de 58 Kilómetros de calzada nueva.
- Unidad Funcional 2: entre Zaragoza y Caucasia con una longitud de 82 Kilómetros de mejoramiento de la vía existente y la construcción de la Variante de Caucasia, en una longitud de 5 Kilómetros de calzada nueva.

La concesión Autopista del Nordeste S.A.S a encomendado el diseño en acompañamiento de la construcción de proyectos Remedios – Zaragoza a la empresa HVM, que ha encomendado el diseño de la segunda calzada fase 3 a la empresa Administradora de proyectos civiles SAS (APC SAS) quien a su vez ha encomendado el diseño geométrico a la empresa MG Engineering SAS.

Los diseños fase III de las obras incluidas en esta concesión podrán tomar como referencia los diseños fase II elaborados previamente por Interconexión Eléctrica S.A (ISA) y en los estudios adicionales realizados por el Estructurador Técnico de la concesión. Las obras objeto de esta concesión consisten en la construcción de una nueva vía en calzada sencilla entre Remedios y Zaragoza; el trazado se corresponde con el de la calzada izquierda de los diseños de ISA.

El presente informe contiene la descripción y resultados del K0+000-K10+000 para el “Diseño Geométrico” del tramo en mención; incluye entre otros aspectos, los antecedentes, parámetros de diseño, restricciones encontradas, así como del resultado final del presente estudio.

2. OBJETIVOS Y ANTECEDENTES

2.1. OBJETIVO

Realizar el diseño geométrico del K0+000-K10+000 correspondiente a la Fase III de la vía Remedios Zaragoza, con base al tipo de vía existente y las necesidades futuras, las condiciones físicas del terreno y de tránsito esperado con el objetivo de ofrecer una vía diseñada bajo las normas colombianas ofreciendo una operación en condiciones excelentes de seguridad y comodidad.

2.2. ANTECEDENTES

El Consorcio DIS S.A. EDL LTDA elaboró los Pre-diseños del megaproyecto Autopistas de la Montaña Para la empresa “Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. – ISA.”, cuyo objeto fue: “Elaboración de los Estudios y Diseños Programación, Financiación y Construcción Comercial del proyecto Autopista de la Montana Bajo el Esquema de concesión” el cual fue dividido en cuatro sectores. El sector 4 Otú – Zaragoza cubre el objeto del presente informe.

El diseño propuesto por El Consorcio DIS S.A. EDL LTDA fue elaborado para velocidad de diseño de 80 Km/h, y consta de una doble calzada de dos carriles cada una, de 3.65 metros de carril, con berma externa de 1.80 metros y berma interna de 0.50 metros. La velocidad de diseño fue de = 80 Km/h.

En el estudio en mención se analizaron varias alternativas, con túnel corto y a cielo abierto, y para velocidades de 60 Km/h y para 80 Km/h. En lo referente a velocidades concluyeron que al diseñar para velocidad de 60 y compararlo con el diseño a 80 Km/h no existe una ganancia en costo que justifique el diseñar para velocidad de 60 Km/h más se reduce la capacidad del corredor vial propuesto. La alternativa seleccionada fue la diseñada para velocidad de 80 Km/h y cuatro túneles en el tramo de Otú – Zaragoza.

Posteriormente, TYPESA elaboró para la Agencia Nacional de Infraestructura- ANI los estudios adicionales cuyo objeto fue: Estudios Técnicos Adicionales y Estructuración Técnica de las Autopistas de la Prosperidad del Grupo 1 y 2”. Consistieron el trazado inicialmente propuesto por El Consorcio DIS S.A. EDL LTDA entre las abscisas K 7+000 – K7+830, K32+740 – K33+800 y K39+450 – K40+380 para eliminar tres túneles proyectados en las abscisas en mención.

Luego, Tecnoconsulta elaboró los estudios y diseños a nivel de construcción (Fase III) para la calzada izquierda o primera calzada bidireccional, actualmente en construcción, y los estudios y diseños fase II para la segunda calzada. Estos últimos son la base del presente proyecto de estudios y diseños de la calzada derecha.

3. LOCALIZACION DEL PROYECTO

La vía Remedios – Zaragoza está ubicada al Nororiente del Departamento de Antioquia. Esta carretera se extiende sobre las vertientes orientales de la Cordillera Central, entre la Serranía de San Lucas, discurre a lo largo de la cuenca del Río Pocuné hasta llegar cerca a la Quebrada Sardinata, en una longitud aproximada de 58 kilómetros, a lo largo de su recorrido se encuentran asentamientos humanos como son: Segovia, los caseríos de Cerro Cabeza, Puerto Calavera, El Encanto, Juan Tereso, Tres Piedras, Playa Chica, Fraguas (Machuca), El Cristo, El Cenizo, El Bosque y Buenos Aires.

El corredor en estudio Remedios – Zaragoza, inicia en la abscisa K0+000 en la zona semi urbana del municipio de Remedios y finaliza en la abscisa de diseño K57+987 en zona rural del Municipio de Zaragoza.

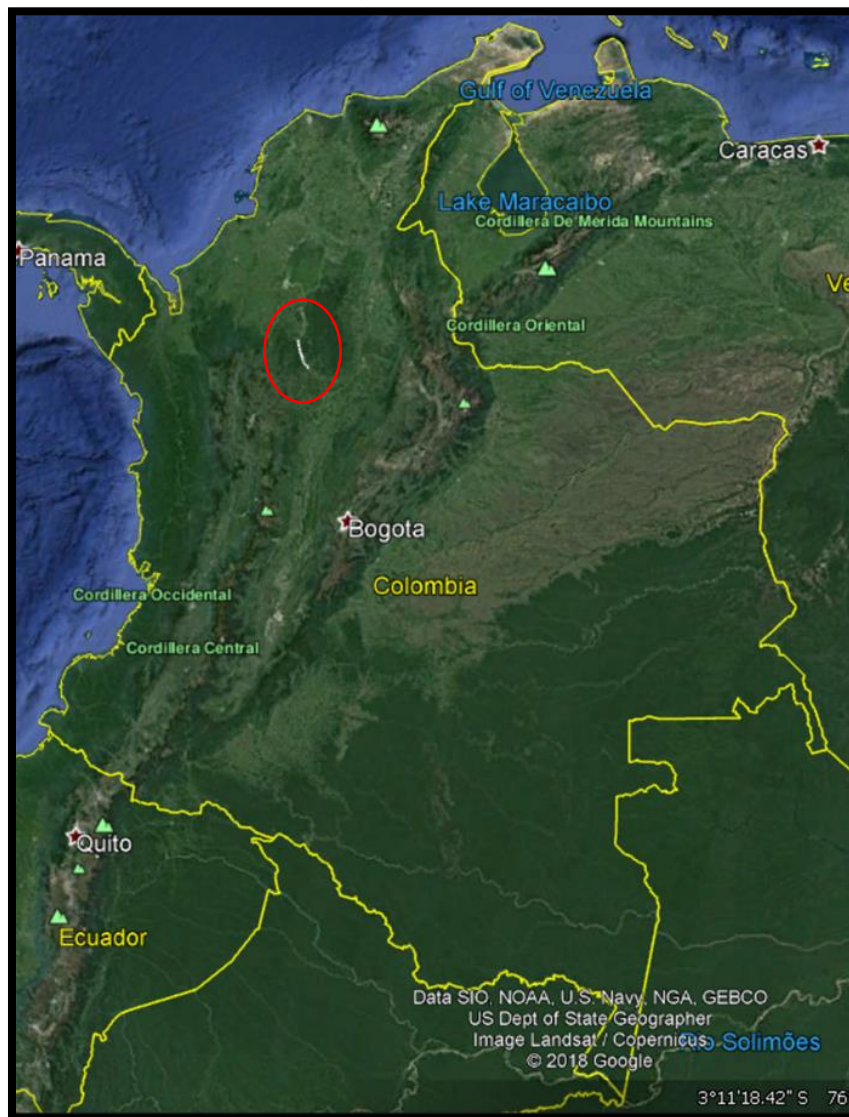


Figura 1 Localización Proyecto en Colombia. Imagen Tomada de Google Earth con base en el KML del proyecto



Figura 2 Localización Proyecto en Antioquia. Imagen Tomada de Google Earth con base en el KML del proyecto

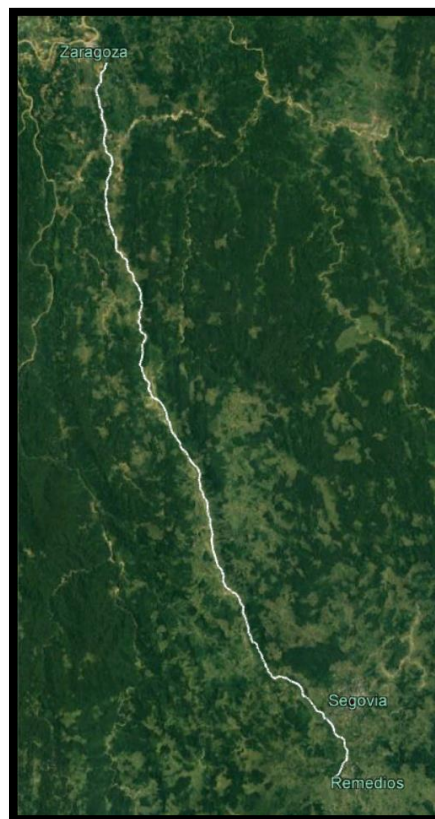


Figura 3 Localización Proyecto Local. Imagen Tomada de Google Earth con base en el KML del proyecto

4. TRABAJOS DESARROLLADOS

4.1. INFORMACION EXISTENTE A LA FASE II DE LA VIA REMEDIOS ZARAGOZA

Para la realización del diseño geométrico se recopiló la siguiente información:

- Información de Planes de Ordenamiento Territorial y Esquemas de Ordenamiento Territorial de las poblaciones aledañas al corredor en estudio.
- Información de redes existentes tanto de Alta Tensión como del Oleoducto Central y Oleoducto de Colombia, obtenidas mediante consulta con las diferentes entidades prestadoras de servicios públicos (ISA, EPM, Oleoducto Central S.A., ECOPETROL).
- Diseño fase III primera calzada de Tecnoconsulta, en construcción.
- Diseño fase II segunda calzada de Tecnoconsulta
- Diseño Sector 1 K0+000 – K4+877 de HMV Primera Calzada
- Diseño Ortiz K0+000 – K1+370 Primera calzada

4.2. RECORRIDOS DE CAMPO

A partir del inicio del contrato, se realizó la campaña de visitas técnicas de campo, con los especialistas de Topografía, Diseño Geométrico, Geología, Geotecnia y posteriormente con los especialistas de las diferentes áreas de diseño.

Con las visitas se persiguió visualizar las condiciones técnicas de las vías existentes, identificando puntos de relevancia como intersecciones, zonas urbanas o pobladas, zonas escolares, así como elementos que pudieran tener incidencia sobre los diseños como la existencia de redes de servicios públicos, infraestructura existente, accidentes topográficos, ríos, quebradas etc., y otros que pudieran delimitar el trazado.

En dichas visitas de campo se evidenció la presencia de redes de servicios públicos NO contemplados en la Componente de factibilidad Fase II de ISA, como son las redes de Alta Tensión (AT) de ISA, Redes de Alta Tensión de EPM, redes de Media Tensión de EPM, las redes del Oleoducto Central S.A., del Oleoducto de Colombia presentes a lo largo del corredor, y adicionalmente redes de Fibra Óptica de EDATEL. Estas redes generaron fuerte impacto en el proyecto, dadas las restricciones que obligaron a delimitar el trazado.

4.3. SITUACION ACTUAL

Se encuentra en construcción la calzada izquierda de acuerdo con los diseños tecnoconsulta, con calzada de dos carriles de 3.65m y bermas de 1.8m, tercer carril para superar algunas pendientes y carriles de desaceleración y aceleración para los accesos.

Para el tramo K0+000-K10+000 se presenta topografía montañosa, pendiente longitudinal alta y cursos de agua secundarios.

El corredor cuenta con pequeños caseríos y poblaciones de mayor tamaño como Fraguas (Machuca) en el K30+400; y el corregimiento La Cruzada (Entrada a Segovia) en el K4+500

5. TRAZADO Y DISEÑO GEOMETRICO

5.1. CRITERIOS DE DISEÑO

Con base en los estudios previos, al diseño de la calzada izquierda y ajustes en los sectores 1 y 2 en la calzada izquierda y los términos de referencia se establecen los criterios de diseño Geométrico procurando que sea la segunda calzada y evitando al máximo hacer par vial teniendo en cuenta en todo caso la norma.

5.1.1. Normas Implementadas

Para el Diseño Geométrico se debe cumplir con los siguientes manuales y normas:

- Ley 105 de 1993.
- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del MINISTERIO DE TRANSPORTE.
- A Policy on Geometric Design of Highways and Street – AASHTO 2011

Anotamos: El manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transporte donde textualmente en el capítulo 1:” Los criterios consignados en el presente Manual corresponden a la sistematización de experiencias obtenidas tanto en Colombia como en otras naciones, expresadas en términos de datos puntuales o rangos admisibles y en ningún momento pretende constituir un texto con fines académicos, ni reemplazar la aplicación del conocimiento profesional en el área. En los casos particulares en que no sea posible cumplir a cabalidad con los parámetros aquí estipulados, quedará al buen juicio y justificada sustentación por parte de los responsables del proyecto la decisión de cambios en las características del mismo, siempre y cuando estos no afecten negativamente la seguridad ni la comodidad de los usuarios, ni impliquen exceder significativamente el presupuesto para la ejecución del proyecto”. De esto se infiere que en el presente diseño hemos aplicado los buenos criterios de la ingeniería y aplicando los conocimientos de la experiencia del equipo de diseño para el caso colombiano.

5.2. VELOCIDAD DE DISEÑO

La ejecución de la unidad Funcional 1 “Remedios Zaragoza”, está en marcha con la construcción de la calzada bidireccional y está prevista la construcción de la doble calzada

De acuerdo con las características de la topografía (Montañosa a ondulada con algunos sectores de característica escarpada) y a la categoría de la carretera a diseñar según lo estipulado por el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 del INVIAS (Tabla 2.1 “Valores de la Velocidad de Diseño en tramos homogéneos”) la vía a diseñar se clasificó como primaria de dos calzadas. En concordancia con los términos de referencia, se adoptó como velocidad de diseño de todo el corredor:

Vd.= 80 Km/h

| CATEGORÍA DE LA CARRETERA | TIPO DE TERRENO | VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h) | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|---|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| | | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| Primaria de dos calzadas | Plano | | | | | | | | | | |
| | Ondulado | | | | | | | | | | |
| | Montañoso | | | | | | | | | | |
| | Escarpado | | | | | | | | | | |
| Primaria de una calzada | Plano | | | | | | | | | | |
| | Ondulado | | | | | | | | | | |
| | Montañoso | | | | | | | | | | |
| | Escarpado | | | | | | | | | | |
| Secundaria | Plano | | | | | | | | | | |
| | Ondulado | | | | | | | | | | |
| | Montañoso | | | | | | | | | | |
| | Escarpado | | | | | | | | | | |
| Terciaria | Plano | | | | | | | | | | |
| | Ondulado | | | | | | | | | | |
| | Montañoso | | | | | | | | | | |
| | Escarpado | | | | | | | | | | |

Tabla 1 “Valores de la Velocidad de Diseño en tramos homogéneos” (VTR)

5.3. VEHICULO DE DISEÑO

El vehículo representativo que puede circular por cada uno de los tramos del proyecto se denomina vehículo de diseño. La selección del vehículo de diseño incide en el dimensionamiento de los anchos de carril, calzada, bermas y sobre anchos de la sección transversal, el radio mínimo de giro en el diseño de las intersecciones y el gálibo bajo las estructuras (pasos elevados).

En general para el proyecto, el vehículo de diseño es un camión 3S2 el cual corresponde a un tracto-camión de tres (3) ejes con Semi-remolque de dos ejes de acuerdo con lo establecido en la tabla 2.4 del Manual de Diseño de Carreteras del Ministerio de Transporte.

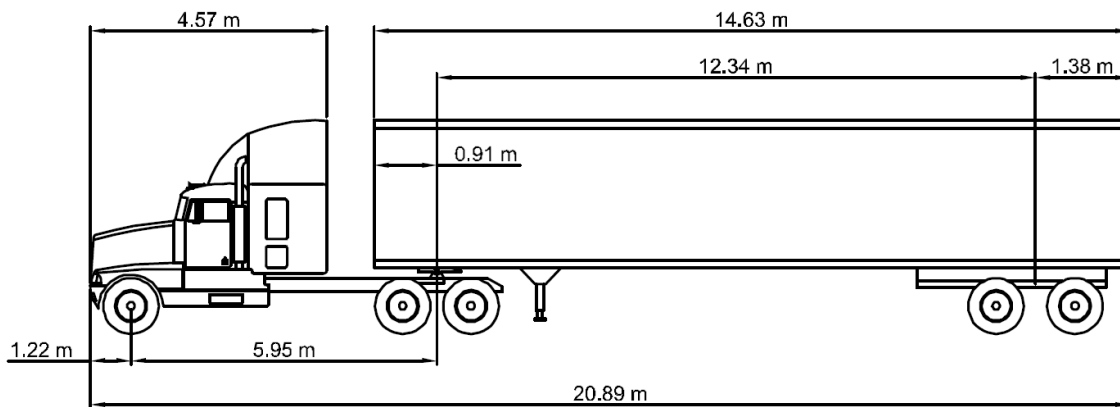


Figura 4 Camión de Diseño, tomado del manual de diseño Geométrico de Carreteras 2008

5.3.1. Dimensiones y trayectorias de giro

Para la condición de la doble calzada entre Remedios Zaragoza se adoptó el vehículo tipo 3S2 con las dimensiones principales de acuerdo con lo establecido en la tabla 2.5 del Manual de Diseño de Carreteras del Ministerio de Transporte.

| CATEGORÍA | LONGITUD TOTAL (m) | ANCHO (m) | LONGITUD TRACTOCAMIÓN (m) | LONGITUD SEMIRREMOLQUE (m) | FIGURA No. |
|------------------|--------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|------------|
| Vehículo liviano | 5.00 | 1.80 | - | - | 2.2. |
| Bus mediano | 10.91 | 2.44 | - | - | 2.3. |
| Bus grande | 13.00 | 2.60 | - | - | 2.4. |
| 2 | 11.00 | 2.50 | - | - | 2.5. |
| 3 | 11.40 | 2.50 | - | - | 2.6. |
| 3S2 | 20.89 | 2.59 | 4.57 | 14.63 | 2.7. |

Tabla 2 Dimensiones y trayectorias de giro, tomado del manual de diseño Geométrico de Carreteras 2008

5.4. PERALTE MAXIMO

El Manual Para Diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transporte 2008 en su numeral 3.1.3.2, establece el valor del peralte máximo, que depende del tipo de vía así:

Para carreteras primarias y secundarias, que es el caso del presente proyecto, se adoptó como peralte máximo para el corredor: $e_{\max} = \pm 8.00\%$.

5.5. RADIOS MINIMOS

Se estableció en el Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, en su numeral 3.-1.3.4. Tabla 3.2 “Radios mínimos para peralte máximo $e_{\max} = \pm 8.00\%$, se tomó como radio mínimo:

| VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h) | PERALTE MÁXIMO (%) | COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{T\max}$ | TOTAL $e_{\max} + f_{T\max}$ | RADIO MÍNIMO (m) | |
|--|--------------------|---|------------------------------|------------------|------------|
| | | | | CALCULADO | REDONDEADO |
| 40 | 8,0 | 0,23 | 0,31 | 40,6 | 41 |
| 50 | 8,0 | 0,19 | 0,27 | 72,9 | 73 |
| 60 | 8,0 | 0,17 | 0,25 | 113,4 | 113 |
| 70 | 8,0 | 0,15 | 0,23 | 167,8 | 168 |
| 80 | 8,0 | 0,14 | 0,22 | 229,1 | 229 |
| 90 | 8,0 | 0,13 | 0,21 | 303,7 | 304 |
| 100 | 8,0 | 0,12 | 0,20 | 393,7 | 394 |
| 110 | 8,0 | 0,11 | 0,19 | 501,5 | 501 |
| 120 | 8,0 | 0,09 | 0,17 | 667,0 | 667 |
| 130 | 8,0 | 0,08 | 0,16 | 831,7 | 832 |

Tabla 3 “Radios mínimos para peralte máximo $e_{\max} = \pm 8.00\%$ ”

5.6. LONGITUD MINIMA DE ESPIRAL (LE)

Las longitudes de transición se consideran a partir del punto donde el borde exterior del pavimento comienza a elevarse partiendo de la zona de aplanamiento, hasta el punto donde se forma el peralte total de la curva.

En el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, en el numeral 3.2. “Transición de peralte” en la tabla 3.6, se adoptaron las pendientes relativas máximas y mínima anotadas en la siguiente tabla.

| VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h) | PENDIENTE RELATIVA DE LA RAMPA DE PERALTES Δ_s | |
|--|---|------------|
| | MÁXIMA (%) | MÍNIMA (%) |
| 20 | 1.35 | 0.1 x a |
| 30 | 1.28 | |
| 40 | 0.96 | |
| 50 | 0.77 | |
| 60 | 0.60 | |
| 70 | 0.55 | |
| 80 | 0.50 | |
| 90 | 0.47 | |
| 100 | 0.44 | |
| 110 | 0.41 | |
| 120 | 0.38 | |
| 130 | 0.38 | |

Tabla 4 Valores máximos y mínimos de la pendiente longitudinal para rampas de peraltes

Donde “a” es la distancia del eje de giro al borde exterior de la calzada, en metros.

De lo antes expuesto es claro que la pendiente relativa mínima es de 0.365%.

Para garantizar condiciones geométricas, es necesario calcular la longitud de espiral mínima para cada curva a partir de la velocidad de diseño y del peralte específico requerido en cada curva del alineamiento. Dicha longitud se determinó para cada curva empleando los criterios del numeral 3.3 del Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 del Ministerio de Transporte.

Se adopta, como premisa fundamental el criterio de diseño II por desarrollo de peralte debido a las restricciones que impone la topografía que delimita el espacio disponible.

5.7. LONGITUD MAXIMA DE LA CURVA ESPIRAL

Según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, en su numeral 3.3.2. se adoptó como valor de referencia A máximo de la espiral.

$$A_{max} = 1.1 * R_c$$

A máx. = 252 para Vch = 80 KPH

A máx. = 334 para Vch = 90 KPH

5.8. ENTRETANGENCIA HORIZONTAL MINIMA

Continuando con el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, en su numeral 3.4.1, y teniendo en cuenta la Velocidad de diseño, Vd=80 Km/h, se tomó como distancia horizontal mínima:

Curvas de distinto sentido:

- Para curvas espirales de distinto sentido, se puede prescindir de tramos de entretangencia rectos.
- Para curvas circulares de distinto sentido, la entretangencia mínima debe ser la mayor de las condiciones entre la distancia recorrida en un tiempo de 5 segundos o la longitud de transición de peralte de las curvas en estudio para Vd= 80 Km/h.

Curvas del mismo sentido:

- Para curvas espirales del mismo sentido, la entretangencia mínima corresponde a una distancia recorrida en 5 segundos a la velocidad específica.

$$Vd= 80 \text{ Km/h. Entretangencia mínima} = (80/3.6) * 5 = 111 \text{ metros.}$$

- Para curvas circulares del mismo sentido la entretangencia no puede ser menor al espacio recorrido en un tiempo no menor a 15 segundos a la velocidad específica.

$$Vd= 80 \text{ Km/h. Entretangencia mínima} = (80/3.6) * 15 = 334 \text{ metros.}$$

5.9. ENTRETANGENCIA HORIENTAL MAXIMA

La entretangencia según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte en su numeral 3.4.2, que dice textualmente: “la longitud máxima de recta no sea superior a quince veces la Velocidad específica de la entretangencia horizontal expresada en kilómetros por hora”, y teniendo en cuenta la velocidad de diseño, $V_d=80$ Km/h y $V_d=90$ Km/h, calculamos la distancia horizontal máxima:

$$V_d=80 \text{ Km/h Long máxima de entretangencia} = 80 \cdot 15 = 1200 \text{ metros.}$$

5.10. RELACION ENTRE LOS RADIOS DE CURVAS CONTIGUAS

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte en su numeral 3.5, teniendo en cuenta la velocidad de diseño de las zonas homogéneas, se tomó como control en la componente de diseño la Tabla 3.9 “Relación entre radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencia de longitud menor o igual cuatrocientos metros (400 m)”.

Sin embargo, existen excepciones a la norma caso:

- K4+355 y K8+245. En estos puntos era necesario emplear varias curvas del mismo sentido con mínima distancia de entretangencia como única posibilidad para acomodar el trazado a la topografía y cumplir con la relación de radios, pero con dificultades de entretangencia. El Manual de diseño Geométrico de carreteras dice textualmente “las curvas del mismo sentido se deben considerar indeseables”, adoptamos una sola curva de mayor diámetro que mejora la condición geométrica sin cumplir la relación entre radios consecutivos mejorando visibilidad, confort y seguridad vial.

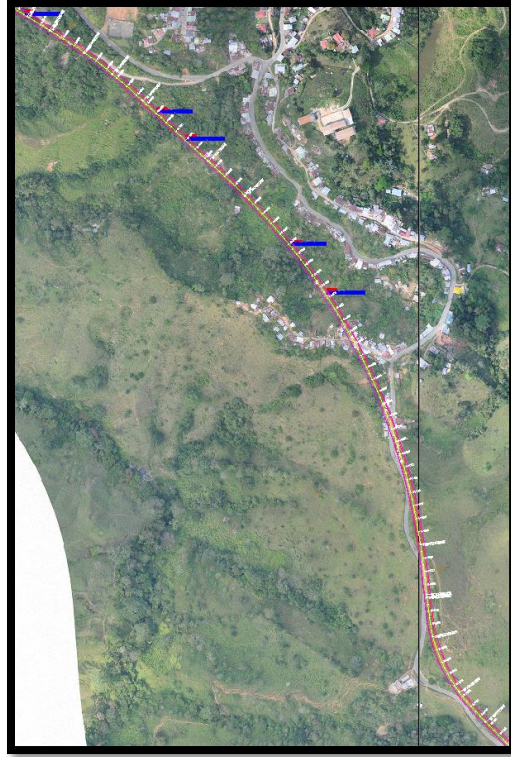


Figura 5 K4+355 Zona de excepción a relación de radios consecutivos



Figura 6 K8+245 Zona de excepción a relación de radios consecutivos

- Cuando el delta de los alineamientos es muy pequeño, fue necesario adoptar la recomendación de longitud mínima de curva circular y se ayuda con la tabla 3.8 del INVIAS, delta muy pequeño que obliga a emplear radio superior al máximo para cumplir con la Longitud de curva circular.

En la siguiente tabla se enumeran los sectores donde no se cumple con la relación entre Radios de curva horizontales consecutivas para la calzada derecha explicando la restricción que obligó a adoptar la curva de mayor radio.

| ABSCISA PI | RADIO | OBSERVACIONES |
|------------|-------|---|
| K4+354.867 | 934 | Se paso de tres curvas horizontales del mismo sentido a una siguiendo la recomendación del manual 3.4.1. Entretangencia mínima tercer párrafo del aparte "- Para curvas del mismo sentido". |
| K8+246.968 | 700 | Se paso de tres curvas horizontales del mismo sentido a una siguiendo la recomendación del manual 3.4.1. Entretangencia mínima tercer párrafo del aparte "- Para curvas del mismo sentido" |

Tabla 5 Puntos donde se incumple la relación entre radios de curvas horizontales consecutivas con entretangencias de menos de 400m para la calzada izquierda

5.11. LONGITUD MINIMA DE CURVA CIRCULAR

Se adoptaron las longitudes mínimas de curva circular de acuerdo a el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, en su numeral 3.6 y, teniendo en cuenta la Vd,

- Para velocidad de 80 Km/h: Long Mínima = $80^2/3.6$

L min= 44.40 metros

Parámetro que se cumple a lo largo del corredor.

6. ESPECIFICACIONES GENERALES DE DISEÑO EN PERFIL

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, en el capítulo 4 indica las especificaciones de diseño en perfil del eje de la carretera. La inclinación de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos.

6.1. PENDIENTE LONGITUDINAL MINIMA

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte en su numeral 4.1.1 la pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas debe ser de cero puntos cinco por ciento ($\pm 0.50\%$) como pendiente mínima deseable y cero puntos tres por ciento ($\pm 0.30\%$) para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable.

6.2. PENDIENTE LONGITUDINAL MAXIMA

Siguiendo lo indicado en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte en su numeral 4.1.2, Tabla 4.2 y teniendo en cuenta la velocidad de diseño, $V_d=80$ Km/h y $V_d=90$ Km/h, se tomó como pendiente longitudinal máxima: $\pm 6.00\%$. Sin embargo, para reducir cortes en algunos tramos, se adoptó como criterio lo mencionado en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras que dice textualmente “Los valores indicados en la Tabla 4.2, que corresponden a los valores máximos para una tangente vertical, pueden ser aumentados en dos por ciento ($\pm 2.00\%$) cuando en una tangente vertical de pendiente máxima se diseñan dos curvas verticales consecutivas, una convexa y la siguiente cóncava o viceversa. Además, no existe segmento recto vertical entre tales curvas verticales consecutivas o lo que es lo mismo, el PTV de la curva anterior coincide con el PCV de la siguiente”. En algunos tramos se emplearon pendientes entre el 6% y 8%, para dar cumplimiento a la norma.

Sectores con pendiente longitudinal mayor respecto a la máxima, pero cumpliendo con la excepción contenida en el numeral 4.1.2 del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

| Abscisa Inicial | Abscisa Final | Pendiente % |
|-----------------|---------------|-------------|
| K4+334.934 | K4+594.934 | -8.00% |

Tabla 6 Zona de excepción, con pendiente longitudinal Superior a la máxima indicada en la norma

6.3. LONGITUD CRITICA DE LA TANGENTE VERTICAL

En el numeral 4.1.4. del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, se tomó como referencia para el análisis de pendiente longitudinal crítica de la tangente vertical la Fig. 4.2 del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, que correspondiente al vehículo de diseño adoptado.

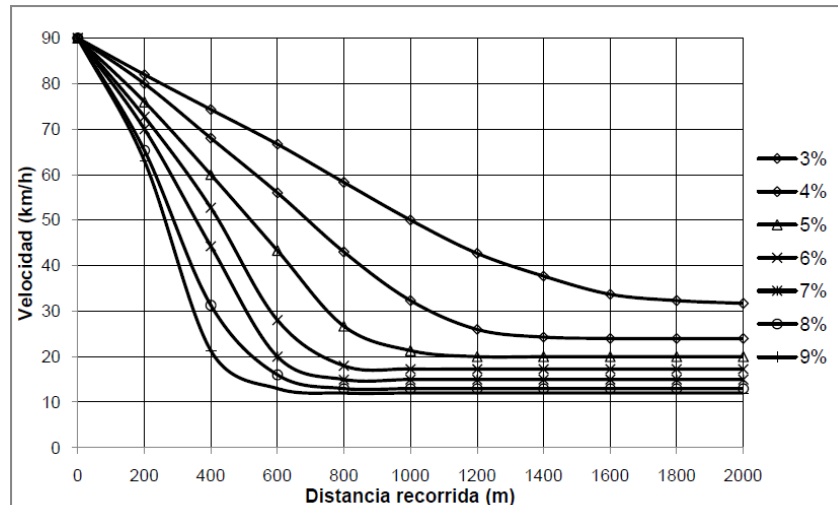


Figura 4.2. – Efecto de las pendientes en los vehículos con relación Peso/potencia de 180 kg/HP

Figura 7 Figura del manual empleada para el cálculo de longitud crítica de pendiente

Cabe anotar que por definición la longitud crítica de pendiente es la distancia que recorre un vehículo que inicia en tangente vertical reduciendo su velocidad en 25 Km/h por efecto de la pendiente. Para cada zona de análisis se calculó la longitud crítica de la siguiente manera.

Para mayor claridad en el cálculo de la longitud crítica de pendiente, se desarrolla el siguiente ejemplo:

Si la pendiente longitudinal del tramo en análisis es del 6 % con velocidad de diseño de 80 Km/h, se localiza la curva que corresponde a la pendiente del 6.0% y se identifica el punto de cruce entre la velocidad de 80 con la curva del 6 % determinando la distancia recorrida en la figura 4.2 del Manual. Para esta condición, la distancia recorrida es de 110 metros, se repite el procedimiento, pero con la velocidad que tendría el vehículo cuando ha perdido 25 Km/h o sea para velocidad de 55 Km/h, en este caso, el vehículo recorre 390 metros. La longitud crítica en el ejemplo corresponde a la diferencia de la distancia recorrida a 80 Km/h y a 55 Km/h.

$$L. \text{ crítica} = 390\text{m} - 110\text{m} = 280\text{m}.$$

6.4. CARRILES ESPECIALES DE ASCENSO

Debido a que se dispone de dos carriles para el sentido Remedios – Zaragoza para la segunda calzada, en las pendientes fuertes los vehículos pesados o con menor capacidad de ascenso deben tomar el carril derecho dejando el carril izquierdo para los vehículos más rápidos, por lo tanto, no se requiere carriles especial de ascenso.

6.5. PARAMETROS CURVAS VERTICALES

De acuerdo al Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte en su numeral 4.2.3; Tabla 4.4 “Valores de $K_{mín}$ para el control de distancias de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales.” y teniendo en cuenta la velocidad de diseño y velocidad específica, $V_d=80$ Km/h y $V_{ch}=80-90$ Km/h, se tomó para las curvas convexas y cóncavas los siguientes valores de $K_{mín}$:

| V diseño (Km/h) | Tipo de Curva | |
|--------------------|-----------------------|---------|
| | Cóncava | Convexa |
| | K mín. (Adimensional) | |
| 80 | 30 | 26 |

Tabla 7 Parámetros de K adoptados

7. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

Según lo indicado en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte en su numeral 2.3.1, Tablas 2.6 “Distancia de visibilidad de parada en tramos a nivel” y Tabla 2.7. “Distancia de visibilidad de parada en tramos con pendiente”; teniendo en cuenta la velocidad de diseño $V_d=80$ Km/h y las velocidades específicas $V_{ch}=80-90$ Km/h, se tomó como distancia de visibilidad de parada los siguientes valores:

| V diseño (Km/h) | Distancia de visibilidad de parada (m). |
|--------------------|---|
| 80 | 130 |

Tabla 8 Distancia de visibilidad de parada

En cada caso se analizó la distancia de visibilidad de parada en función de la pendiente longitudinal, empleando la Tabla 2.6 del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transporte, las curvas verticales cumplen con los valores mínimos de K con lo cual se está garantizando la distancia de visibilidad de parada a lo largo del corredor.

8. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

Debido a que se trata de la segunda calzada de una vía de dos calzadas y que se cuenta con dos carriles en este sentido, las maniobras de adelantamiento se pueden realizar en todo momento y el requisito más importante es disponer de la distancia de visibilidad de parada que ya cumple el alineamiento.

9. SECCIONES TRANSVERSALES

9.1. ANCHO DE CALZADA

Continuando con el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte en su numeral 5.3.1, y teniendo en cuenta la categoría de la Vía y la velocidad de diseño se determinó que el ancho de calzada para el tramo Remedios Zaragoza es de 7.30 metros cumpliendo tanto con la ley 105 de 1993 como con el manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

9.2. ANCHO DE BERMA

De acuerdo con lo indicado en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte en su numeral 5.3.2.1, y teniendo en cuenta la categoría de la Vía y la velocidad de diseño se definió el ancho de berma para el tramo Remedios Zaragoza, se adoptó la condición de doble calzada montañosa con berma externa de 1.80 metros y berma interna de 0.50 metros en la segunda calzada.

9.3. SOBREAÑO EN LAS CURVAS

El ancho de calzada adoptado es de 7.30 metros y no existen ángulos de deflexión mayor de 120 grados, por tal motivo no se requiere el cálculo de sobre anchos.

9.4. SECCIONES TRANSVERSAL TIPICA

Dando cumplimiento a las disposiciones legales del artículo 13 de la ley 105 de 1993 y en concordancia con la Tabla 5.2 “Ancho de calzada recomendado para carreteras” y Tabla 5.4. “Ancho recomendado de berma” del Manual de Diseño Geométrico Para Carreteras 2008 del Ministerio de Transporte, se adoptó la sección transversal que se ilustra a continuación:

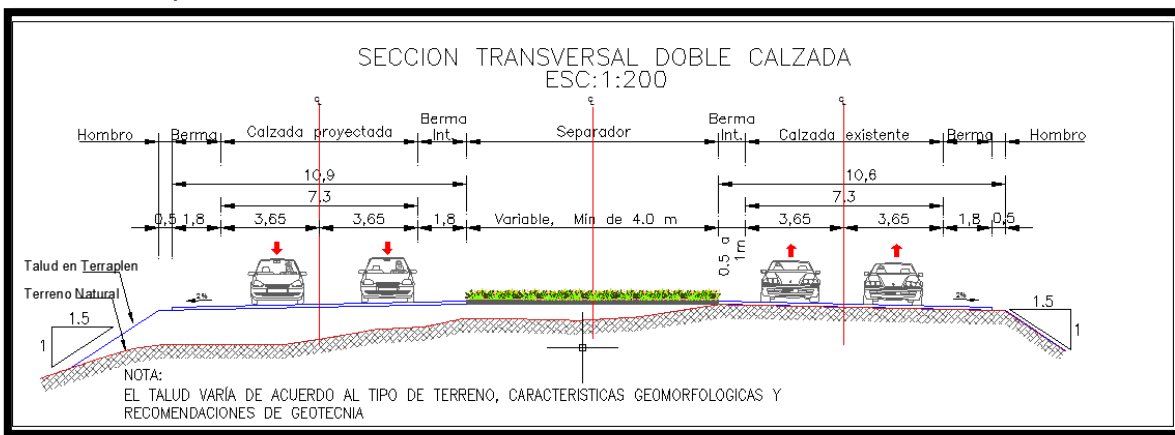


Figura 8 Sección típica calzada derecha

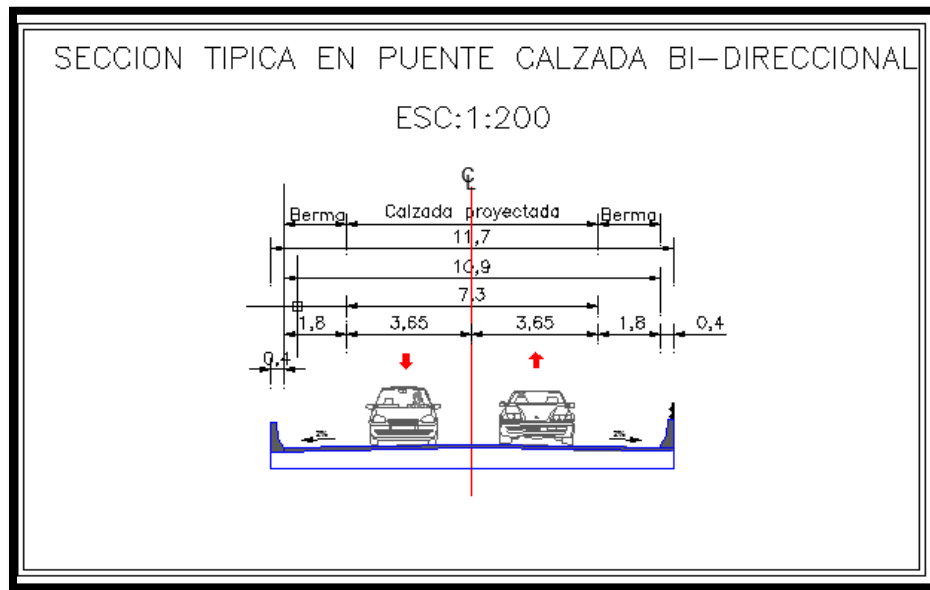


Figura 9 Sección típica en Puente calzada bidireccional

9.5. TALUDES

Para el diseño de secciones transversales en concordancia con las diferentes especialidades, se adoptó:

- Talud de corte 0.5:1.0.
- Talud de relleno 1.5:1.0.
- Terrazas de corte de 3 m cada 8 m de altura.

10. PARAMETROS DE DISEÑO

| CONEXIÓN UNIDAD FUNCIONAL 1 | | |
|-------------------------------------|---------------|--------------------------|
| PARÁMETRO | UNIDAD | VALOR |
| V diseño | Km | 80 |
| Longitud | Km | 10 |
| Tipo de Terreno | N/A | Montañoso |
| Clasificación de la Vía | N/A | Primaria de dos calzadas |
| Velocidad Proyecto | Km/h | 80 |
| Radio Mín. | m | 229 |
| Long min curva horizontal. | m | 44 |
| Pend. Transversal (Bombeo Normal) | % | 2 |
| Peralte Máx. | % | 8 |
| Pendiente Relativa Máxima | % | 0.5 |
| Pendiente Relativa Mínima | % | 0.365 |
| Pte. Longitudinal Máx. | % | 6 |
| Pte. Longitudinal Mínima. | % | 0.3 |
| Distancia. Min entre PIVs | m | 225 |
| Gálibo mínimo | m | 5 |
| Número de Calzadas | Un | 2 |
| Número Carriles por calzada. | Un | 2 |
| Ancho de Carril | m | 3.65 |
| Ancho de Bermas Interna | m | 0.5 |
| Ancho de Bermas Externa | m | 1.8 |
| Separador Mínimo | m | 4 |
| Valores De K (Curvas Verticales) | | |
| Kv Cóncavo mín. | Adim. | 30 |
| Kv Convexo mín. | Adim. | 26 |
| Long min de Curva vertical | m | 48 |
| Distancia de Visibilidad de Parada. | m | 130 |

Tabla 9 Parámetros de Diseño

11. RESTRICCIONES ENCONTRADAS DURANTE LA COMPONENTE DE DISEÑO

Dentro de las restricciones más importantes que delimitaron el trazado del Diseño Geométrico se presentaron las siguientes:

1. A lo largo del corredor se evidenció la existencia de dos redes de transporte de Hidrocarburos: Oleoducto Central S.A. (OCENSA) y el Oleoducto de Colombia (ODC), que transportan aproximadamente 600.000 y 200.000 barriles diarios de petróleo respectivamente, que corresponden aproximadamente al 80 % del petróleo del País, esta condición hace prácticamente imposible su reubicación tanto por los costos de trasladar la tubería como el costo por la no exportación del petróleo durante el traslado o proceso de empalmes de la tubería.
2. Entre las abscisas K0+000 y K14+000 y luego entre el K35+000 y K58+000, la topografía varía de montañosa a ondulada. Esto llevo a realizar un trazado en media ladera en algunos sitios. De igual manera a lo expuesto en el numeral anterior, los cruces de los oleoductos llevo a variar la calzada izquierda en dos sectores K0+000 – K4+877 y K42+110 – K45+892 obligando a un trazado muy diferente al que se entregó en Fase III que especialmente busco evitar los pasos de la vía bajo el oleoducto y por lo tanto con esta misma premisa se varió el trazado de la segunda calzada.
3. Durante la etapa de diseño de la segunda calzada (calzada derecha) se evidenció que en algunos sectores faltó topografía que permitieran la generación de la línea de chaflanes en las abscisas:

1. K5+880 – K6+110

La información topográfica faltante será obtenida e incorporada en el diseño por APC S.A.S.

12. OBRAS MAYORES

12.1. PUENTES

Con base en el diseño horizontal, vertical y transversal del proyecto, se establecieron los puentes, los cuales se presentan a continuación:

| NOMBRE ESTRUCTURA | ABSCISA INICIO PUENTE | ABSCISA FIN PUENTE | LONGITUD DE PUENTE |
|-------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| Puente 1 | K0+250 | K0+325 | 75.00 |
| Puente 2 | K0+610 | K0+685 | 75.00 |
| Puente 3 | K0+980 | K1+000 | 20.00 |
| Puente 4 | K2+425 | K2+515 | 90.00 |
| Puente 5 | K2+660 | K2+760 | 100.00 |
| Puente 6 | K4+450 | K4+540 | 90.00 |
| Puente 7 | K4+763 | K4+823 | 60.00 |
| Puente 8 | K5+070 | K5+130 | 60.00 |
| Puente 9 | K5+470 | K5+500 | 30.00 |
| Puente 10 | K5+840 | K6+180 | 340.00 |
| Puente 11 | K6+400 | K6+420 | 20.00 |
| Puente 12 | K6+540 | K6+560 | 20.00 |
| Puente 13 | K7+130 | K7+200 | 70.00 |
| Puente 14 | K7+270 | K7+320 | 50.00 |
| Puente 15 | K7+550 | K7+577 | 27.00 |
| Puente 16 | K7+630 | K7+640 | 10.00 |
| Puente 17 | K7+833 | K7+841 | 8.00 |
| Puente 18 | K7+990 | K8+067 | 77.00 |
| Puente 19 | K8+235 | K8+267 | 32.00 |
| Puente 20 | K8+328 | K8+365 | 37.00 |
| Puente 21 | K8+640 | K8+690 | 50.00 |
| Puente 22 | K8+990 | K9+023 | 33.00 |
| Puente 23 | K9+075 | K9+150 | 75.00 |
| Puente 24 | K9+331 | K9+390 | 59.00 |
| Puente 25 | K9+733 | K9+745 | 12.00 |

Tabla 10 Listado de obras Mayores (puentes)

12.2. CRUCE SOBRE OLEODUCTOS

Se presentaron un total de 4 cruces sobre el Oleoducto Central S.A. y Oleoducto de Colombia todos pasando por encima de los oleoductos, La localización de los cruces se presenta con abscisas, cota, coordenadas y ángulo de cruce en el siguiente cuadro:

| Id | Este | Norte | Cota | Abscisa | Angulo ° | Oleoducto |
|----|----------|---------|----------|------------|-------------|-----------|
| 1 | 930448.1 | 1271458 | 672.2763 | K2+479.000 | 53.18 | OCENSA |
| 2 | 930442.6 | 1271470 | 676.3082 | K2+466.000 | 57.32 | ODC |
| 3 | 928434.1 | 1274020 | 612.8423 | K6+011.129 | 85.68 | OCENSA |
| 4 | 928425.9 | 1274030 | 613.5179 | K6+023.882 | 83.67 | ODC |

Tabla 11 Localización cruces sobre oleoducto

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Fue necesario ajustes en planta perfil a lo largo del trazado con el objetivo de cumplir con la normativa vigente.
2. Se realizaron cambios radicales al trazado en los sectores K0+000 – K4+877 con el objetivo de pasar la vía por encima del oleoducto, evitando pasos aéreos del oleoducto.
3. El diseño Geométrico cumplió con los parámetros de diseño exigidos por los términos de referencia y la normatividad legal vigente en Colombia.
4. El diseño Geométrico se realizó cumpliendo para una velocidad de diseño igual o superior de 80/Km/h a lo largo del corredor y no requirió de sectores homogéneos de menor velocidad.
5. Para el diseño de la segunda calzada se adoptó como sección transversal calzada de 7.3 metros, berma externa de 1.8 m y berma interna de 0.5 metros.
6. En la etapa de construcción, se debe verificar con topografía los cambios sucedidos en las zonas de minería que atraviesa el proyecto para definir la afectación que estos han ocasionado al diseño.
7. Se debe verificar los cruces con las redes de los oleoductos existentes, adoptando las medidas necesarias para garantizar la estabilidad de los mismos en concordancia con lo exigido por las entidades dueñas de las redes.

8. Se debe verificar en campo los puntos de encuentro o instalaciones con dotaciones (Colegios instituciones educativas e institucionales) adoptando las medidas pertinentes de señalización, información ciudadana, infraestructura etc., para mitigar el impacto que se pueda generar sobre la población más vulnerable Tanto en la etapa de construcción como de operación del corredor vial.

14. BIBLIOGRAFÍA

Libro Diseño Geométrico de Vías

(Carlos Javier Gonzales Vergara-Mario Arturo Rincón Villalba-Wilson Ernesto Vargas)

Manual de INVIAS 2008

15. **ANEXOS**

01 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

02 ALINEAMIENTO VERTICAL

03 SECCIONES TRANSVERSALES

04 MDT

05 PLANOS DE DISEÑO GEOMETRICO