



**REPÚBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE TRANSPORTE  
AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA**

**CONTRATO DE CONCESIÓN BAJO EL ESQUEMA DE APP No 004 DEL 18 DE OCTUBRE DE 2016**

**ESTUDIOS, DISEÑOS, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO, GESTIÓN SOCIAL, PREDIAL Y AMBIENTAL DE LA AMPLIACIÓN DEL TERCER CARRIL – DOBLE CALZADA BOGOTÁ- GIRARDOT**



Interventoría

**CONSORCIO SEG-INCOPLAN**



**Concesionario**



Visa:

**Diseño y Construcción**



Visa:

**Emisor**



Visa:

**G-CSM-000-UF2E-XXXXX-A-INF-INGET-10305-A1 CAPÍTULO 3  
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Rev.	Fecha	Descripción de la revisión
A0	2017-07-31	Primera Emisión
A1	2017-12-07	Complemento con información suministrada por CR40

Elaboró: Angélica CUBILLOS Fecha: 2017-12-07	Revisó y Aprobó: Margarita CARRASCO Fecha: 2017-12-07	Verificó: Mauricio MUÑOZ Fecha: 2017-12-07
Formato: Carta	Escala: N/A	Páginas: 1 / 55

**Documento N°**

Fase	Disciplina	Obra	Zona UF	PM	Sentido	Tipo	Emisor	Número	Rev.
G	CSM	000	UF2E	XXXXX	A	INF	INGET	10305	A1

**PRELIMINAR**

**DOCUMENTO PRELIMINAR SUSCEPTIBLE DE MODIFICACIÓN**

**ÍNDICE DE MODIFICACIONES**

SECCIÓN MODIFICADA	OBSERVACIONES
Todas	Complemento con información suministrada por CR40

PRELIMINAR

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO  
CONCESIONARIA VÍA 40 EXPRESS S.AS.  
CONTRATO DE CONCESIÓN APP No. 4 DEL 18 DE OCTUBRE DE 2016**



Fuente: Concesionario Vía 40 Express

**OBJETO:** Ampliación Tercer Carril - Doble Calzada Bogotá – Girardot.

**ALCANCE DEL PROYECTO:** Estudios, Diseños, Construcción, Operación, Mantenimiento, Gestión Social, Predial y Ambiental de la Ampliación Tercer Carril – Doble Calzada Bogotá - Girardot, de acuerdo con el Apéndice Técnico 1 y demás Apéndices del Contrato.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>8</b>
3.1. LOCALIZACIÓN .....	10
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.....	11
3.2.1. Infraestructura existente .....	11
3.2.2. Fases y actividades del proyecto .....	11
3.2.3. Diseño del proyecto .....	12
3.2.3.1. Trazado y características geométricas de las vías a construir objeto del proyecto.....	12
3.2.3.1.1. Diseño geométrico en planta perfil y secciones transversales .....	12
3.2.3.1.2. Velocidad de diseño .....	13
3.2.3.1.3. Calzada .....	13
3.2.3.1.4. Berma .....	13
3.2.3.1.5. Separadores y zonas laterales externas de las calzadas .....	14
3.2.3.1.6. Cunetas.....	14
3.2.3.1.7. Zanjas de coronación .....	14
3.2.3.1.8. Vehículo de diseño .....	19
3.2.3.1.9. Peralte máximo .....	19
3.2.3.1.10. Rampa de peraltes .....	19
3.2.3.1.11. Radios de giro .....	20
3.2.3.1.12. Pendiente longitudinal .....	23
3.2.3.1.13. Longitud mínima de la curva vertical .....	23
3.2.3.1.14. Estructura pavimento.....	24
3.2.3.2. TÚNELES.....	25
3.2.3.2.1. Secciones tipo de sostenimiento.....	25
3.2.3.2.2. Revestimientos adoptados.....	26
3.2.3.2.3. Impermeabilización .....	27
3.2.3.2.4. Fases de excavación .....	28
3.2.3.2.5. Excavación mediante perforación y voladura .....	29
3.2.3.2.6. Excavación mediante métodos mecánicos .....	33
3.2.3.2.7. Carga del escombros.....	33
3.2.3.2.8. Colocación del sostenimiento .....	35
3.2.3.2.9. Colocación del revestimiento.....	37
3.2.3.2.10. Maquinaria .....	38
3.2.3.3. Infraestructura asociada al proyecto.....	39
3.2.3.4. Infraestructura y servicios interceptados por el proyecto .....	41
3.2.4. Insumos del proyecto.....	48
3.2.4.1. Uso de explosivos .....	48
3.2.4.1.1. Ciclo básico de excavación .....	49
3.2.4.1.2. Esquemas de voladura .....	49
3.2.4.1.3. Suministro, gestión y almacenaje de explosivos .....	51
3.2.5. Manejo y disposición de materiales sobrantes de excavación y de construcción y demolición. ....	54
3.2.6. Costos del proyecto .....	54
3.2.7. Cronograma del proyecto .....	54

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Localización político administrativa obras UF2 .....	10
Tabla 2 Vías existentes .....	11
Tabla 3 Fases y actividades del proyecto .....	11
Tabla 4 Túneles UF2 .....	12
Tabla 5 Ancho de carril (a) de acuerdo con el Apéndice Técnico 1.....	13
Tabla 6 Ancho de carril (a) en túneles de acuerdo con el Apéndice Técnico 1.....	13
Tabla 7 Dimensiones vehículo articulado.....	19
Tabla 8 Pendiente máxima relativa de la rampa de peraltes.....	19
Tabla 9 Relación de Radios y longitudes de espiral eje principal .....	20
Tabla 10 Relación de Radios y longitudes de espiral eje aux.....	21
Tabla 11 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 1 .....	21
Tabla 12 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 2 .....	21
Tabla 13 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 3 .....	21
Tabla 14 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 4 .....	22
Tabla 15 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 5 .....	22
Tabla 16 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 6 .....	22
Tabla 17 Pendiente máxima en túneles .....	23
Tabla 18 Parámetros de Diseño Geométrico UF2 .....	23
Tabla 19 Prediseño de pavimentos en el corredor de la unidad Funcional 2 .....	24
Tabla 20. Sostenimientos adoptados para los túneles.....	25
Tabla 21. Sostenimientos adoptados para las galerías .....	26
Tabla 22. Equipos de desescombro .....	34
Tabla 23. Equipos de excavación y desescombro .....	38
Tabla 24. Numero equipos excavación túnel .....	39
Tabla 25 Infraestructura asociada al proyecto .....	39
Tabla 26 Infraestructura y servicios interceptados por el proyecto .....	41
Tabla 27 Resumen cantidades movimiento de tierras UF-2 .....	48
Tabla 28 Resumen cantidades de materiales UF-2 .....	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localización general del proyecto y de cada Unidad Funcional .....	9
Figura 2 Localización general del proyecto .....	10
Figura 3 Esquema de Cuneta utilizada para la Unidad Funcional 2. ....	14
Figura 4 Sección Transversal zanja de coronación .....	14
Figura 5 Sección típica 1 .....	15
Figura 6 Sección típica 2 .....	15
Figura 7 Sección típica 3 .....	16
Figura 8 Sección típica 4 .....	16
Figura 9 Sección típica 5 .....	17
Figura 10 Sección típica 6 .....	17
Figura 11 Sección típica 7 .....	18
Figura 12 Sección típica 8 .....	18
Figura 13 Vehículo de diseño C3S2 .....	19
Figura 14. Geometría del cierre inferior propuesto .....	27
Figura 15. Esquema de drenaje de plataforma .....	28
Figura 16. Fases de excavación.....	29
Figura 17. Ciclo de excavación .....	30
Figura 18. Perforación en el frente con jumbo .....	31
Figura 19. Martillo COP 1838 .....	32
Figura 20. Gálibo de la sección tipo .....	34
Figura 21. Pala cargadora .....	34
Figura 22. Equipo de hormigonado .....	35
Figura 23. Bulonado del frente .....	36
Figura 24 Localización Fuentes de Materiales - Proveedores .....	40
Figura 25 Localización Zonas de Acopio (Portales de túneles).....	41
Figura 26. Esquema de voladura .....	50
Figura 27. Ejemplo De Una Zona De Almacenamiento De Explosivos En Colombia.....	51
Figura 28 Localización Zodme del proyecto.....	54

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto se gesta a partir de la necesidad imperante de mejorar las condiciones del servicio, de seguridad vial y de ofrecer mayor confort a los usuarios de la infraestructura perteneciente a la Autopista que de Bogotá conecta a Girardot. Así mismo, el Proyecto busca armonizar las facilidades existentes y las condiciones operativas y de mantenimiento ejecutadas en la actualidad con los más altos estándares aplicables, así como con las Especificaciones Técnicas Constructivas, de operación y de mantenimiento acogidas por la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI dentro del marco de la estructuración de la cuarta generación (4G) de concesiones viales en Colombia.

El desarrollo del Proyecto Tercer Carril Bogotá – Girardot se plantea a lo largo de una longitud aproximada de 145 kilómetros, iniciando en el PR0+000 en la ciudad de Girardot, el cual se encuentra localizado en el límite con la Población de Flandes y crece hacia la ciudad de Bogotá.

Las obras objeto de esta concesión consisten en la ejecución de trabajos constructivos divididos en ocho (8) Unidades Funcionales constructivas y una Unidad Funcional de Operación y Mantenimiento – UF 0, definidos en el Apéndice Técnico 1 “Alcance del proyecto” del contrato de concesión.

**Unidad Funcional de Operación y Mantenimiento - UF 0:** Ejecución de Operación y Mantenimiento rutinario del corredor existente, y Operación de las Unidades Funcionales 1 a la 8, para los periodos de Reconstrucción, Construcción, y Operación y Mantenimiento, y Reversión de la Concesión. (ESTA UNIDAD FUNCIONAL NO SERA OBJETO DE LA PRESENTE CONSULTORIA).

**Unidad Funcional 1:** Rehabilitación de vía existente desde Girardot (PR0+000) hasta entrada Túnel Sumapaz (PR37+0000), intersección San Rafael (PR0+000) hasta El Paso (PR9+0535), y variante de Melgar; incluyendo la Rehabilitación, Operación y Mantenimiento.

**Unidad Funcional 2:** Construcción de túneles cortos y ampliación de vía existente, para tercer carril en ambos sentidos (Sentido Girardot – Bogotá, y sentido Bogotá – Girardot) por el paso de la Nariz del Diablo desde el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Melgar) (PR37+0000) hasta el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Bogotá) (PR42+0000); incluyendo la Construcción, Rehabilitación, Operación y Mantenimiento de la carretera existente.

**Unidad Funcional 3:** Construcción de tercer carril sentido Girardot – Bogotá desde el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Bogotá) (PR42+0000) hasta intersección Jaibaná (PR63+0000), y Construcción de tercer carril sentido Bogotá – Girardot desde la intersección Jaibaná (PR63+0000) hasta el peaje Chinauta (PR52+0000); incluyendo el Mejoramiento, la Rehabilitación, Operación y Mantenimiento de las anteriores vías y la infraestructura existente sentido Bogotá – Girardot y Girardot – Bogotá entre los PR42+0000 al PR63+0000. Esta Unidad Funcional incluye también la rehabilitación de 1 km de la vía de acceso a Pandi.

**Unidad Funcional 4:** Construcción de tercer carril en ambos sentidos (Girardot – Bogotá, y Bogotá – Girardot) desde la intersección Jaibaná (PR63+0000) hasta la intersección Cucharal (PR71+0000) por la variante Fusagasugá incluyendo el Mejoramiento, la Rehabilitación, Operación y Mantenimiento. Se incluye también la rehabilitación, Operación y Mantenimiento del paso urbano por Fusagasugá desde la intersección Jaibaná (PR63+0000) hasta la intersección Cucharal (PR71+0000), la construcción de las intersecciones el Indio (PR67+0950) y Palmas (PR69+0250) en Fusagasugá con su respectiva Operación y Mantenimiento. Nota: la vía Novilleros que inicia en la intersección las Palmas (paso urbano Fusagasugá), y termina en la intersección Lucho Herrera (variante Fusagasugá), incluye únicamente la rehabilitación de la misma, sin incluir operación ni mantenimiento.

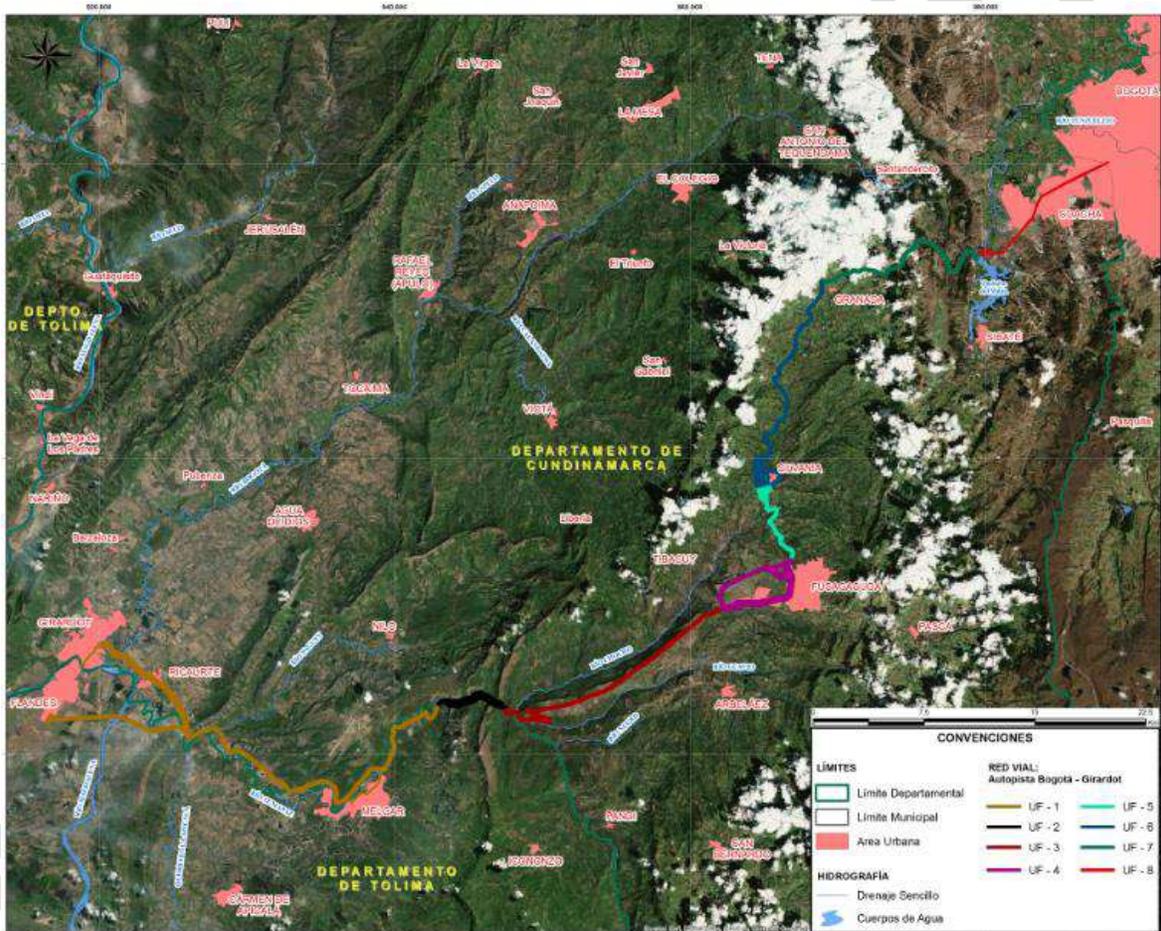
**Unidad Funcional 5:** Construcción de tercer carril en ambos sentidos (Girardot – Bogotá, y Bogotá - Girardot) desde la intersección Cucharal (PR71+0000) hasta Silvania (PR77+0560); incluyendo el Mejoramiento, la Rehabilitación, y Operación y Mantenimiento.

**Unidad Funcional 6:** Construcción de tercer carril en ambos sentidos (Girardot – Bogotá, y Bogotá - Girardot) desde Silvania (PR77+0560) hasta Granada (PR96+0480); incluyendo el Mejoramiento, la Rehabilitación, Operación y Mantenimiento.

**Unidad Funcional 7:** Construcción de tercer carril en ambos sentidos (Girardot – Bogotá, y Bogotá - Girardot) desde Granada (PR96+0480) hasta El Muña (PR111+0374); incluyendo el Mejoramiento, Rehabilitación, Operación y Mantenimiento.

**Unidad Funcional 8:** Construcción de tercer carril en ambos sentidos, y rehabilitación de la calzada existente (Girardot – Bogotá, y Bogotá – Girardot) desde el PR111+200 hasta el PR112+600 (nuevo acceso a Sibaté). Rehabilitación de vía existente desde el PR112+600 hasta Puente La Despensa en Soacha (PR122+0500); incluyendo la Operación y Mantenimiento.<sup>1</sup>

Figura 1 Localización general del proyecto y de cada Unidad Funcional



Fuente: Figura 1 – Términos de Referencia para Consultoría Ambiental. Ruta 40 Consorcio Vial

El alcance del presente estudio corresponde a las actividades a ejecutar en la Unidad Funcional 2: *Construcción de túneles cortos y ampliación de vía existente, para tercer carril en ambos sentidos (Sentido Girardot – Bogotá, y sentido Bogotá – Girardot) por el paso de la Nariz del Diablo desde el Acceso Túnel Sumapaz (Costado*

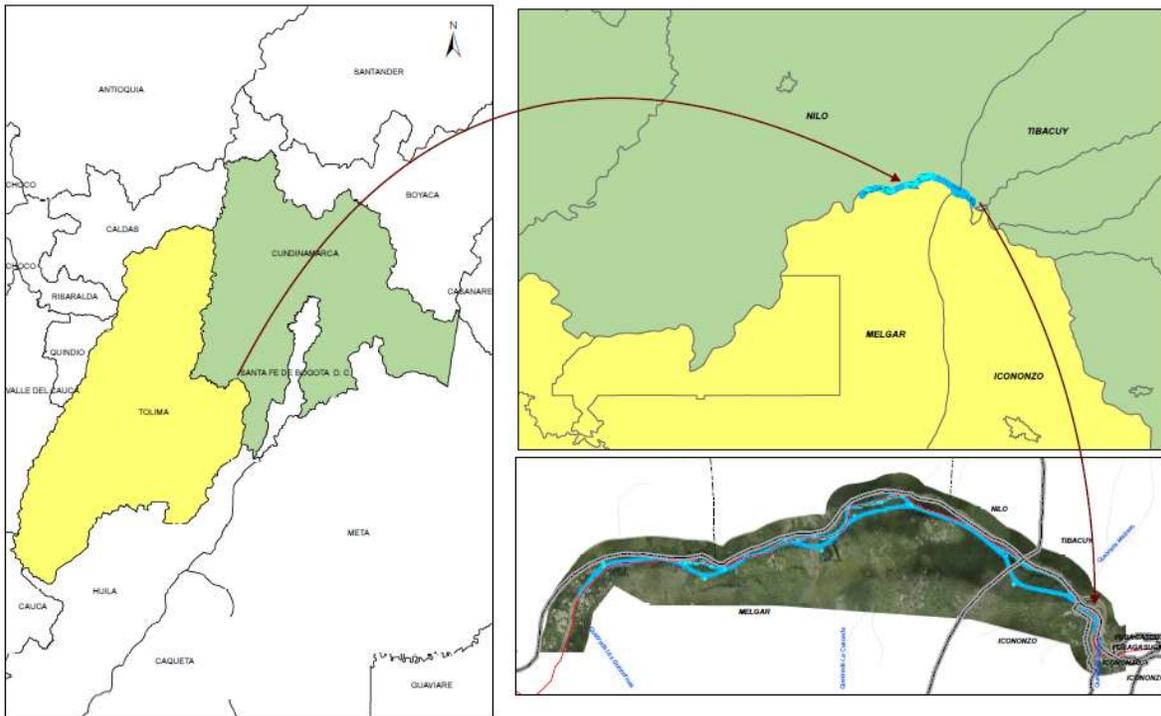
<sup>1</sup> Términos de Referencia para Consultoría Ambiental. Ruta 40 Consorcio Vial.

Melgar) (PR37+0000) hasta el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Bogotá) (PR42+0000); incluyendo la Construcción, Rehabilitación, Operación y Mantenimiento de la carretera existente.

### 3.1. LOCALIZACIÓN

Las obras previstas para la construcción de túneles cortos y ampliación de vía existente para tercer carril en ambos sentidos (Sentido Girardot – Bogotá, y sentido Bogotá – Girardot) por el paso de la Nariz del Diablo desde el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Melgar) (PR37+0000) hasta el Acceso Túnel Sumapaz (Costado Bogotá) (PR42+0000); incluyendo la Construcción, Rehabilitación, Operación y Mantenimiento de la carretera existente se encuentran localizadas en los municipios de Melgar e Icononzo del departamento del Tolima. (Véase Figura 2).

Figura 2 Localización general del proyecto



Fuente: INGETEC. 2017

Adicionalmente como infraestructura de apoyo para el desarrollo del proyecto se requiere la destinación de zonas para la disposición de material estéril producto de las excavaciones a ejecutar. Para esta actividad, se presenta una zona localizada en la UF1, municipio de Nilo jurisdicción del departamento de Cundinamarca.

Tabla 1 Localización político administrativa obras UF2

Obra	Vereda	Municipio	Departamento
Área de obras del proyecto (túnel, vía superficial, zodme).	Malachí	Melgar	Tolima
	Tokio		
	La Reforma		
	Boquerón	Icononzo	
Área de zodme predio Luis Parada	La Esmeralda	Nilo	Cundinamarca

### 3.2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

#### 3.2.1. Infraestructura existente

Las vías existentes en el área del proyecto se describen en la Tabla 2.

Tabla 2 Vías existentes

Código de vía (nomenclatura)	Ente competente	Estado Actual
4005	ANI - Concesión Bogotá - Girardot	La calzada sentido Girardot - Bogotá tiene una longitud de 4,0 Km unidireccional y pasa por el actual túnel "Guillermo León Valencia" o también conocido como el Túnel del Sumapaz, con un ancho de 8,3 m, con dos carriles unidireccionales de 3,65m y bermas externas y/o internas de 0,5 m.
		La calzada sentido Bogotá - Girardot tiene una longitud de 5,35 km unidireccionales y pasa por el paso de la Nariz del Diablo, atravesando una topografía montañosa. La calzada cuenta con un ancho de 10,30 m, compuesta de 3,65 m y bermas externas y/o internas de 1,5 m

Fuente: Tabla 1 – Apéndice Técnico. Contrato de Concesión bajo el esquema de APP No. 4 de 2016

#### 3.2.2. Fases y actividades del proyecto

En la Tabla 3 se relacionan las fases y actividades del proyecto.

Tabla 3 Fases y actividades del proyecto

FASE		ACTIVIDADES
PRE CONSTRUCCIÓN		Instalación de infraestructura temporales (Sitios de acopio y almacenamiento temporal de materiales)
		Contratación de personal
		Compra de predios y replanteo
CONSTRUCCIÓN	<b>Construcción de (2) carriles: Paso antiguo por la Nariz del Diablo y construcción de cuatro (4) túneles cortos</b>	Señalización y demarcación
		Manejo de tráfico*
		Relocalización de Infraestructura y servicios interceptados
		Desmante y Limpieza
		Excavaciones (incluye voladuras)
		Rellenos y Terraplenes
		Transporte y colocación de material granular, pavimento flexible y concreto, hidráulico (rígido)
		Construcción de obras subterráneas (túneles, portales, ventanas de construcción)
Construcción / Ampliación de obras sobre cauces naturales (alcantarillas)		

FASE		ACTIVIDADES
		Instalación de prefabricados (incluye postes y luminarias)
		Transporte de materiales, maquinaria y equipos
		Transporte y disposición de material sobrante de excavación
		Estabilización de taludes
		Empradización
		Pintura y señalización Horizontal y vertical
<b>CIERRE Y ABANDONO</b>		Recuperación áreas intervenidas
		Limpieza final del sitio de los trabajos
		Desmantelamiento de instalaciones temporales

\*Para la construcción de la vía y túneles se prevé el cierre de la vía de la UF2 por un lapso de 26 meses.

### 3.2.3. Diseño del proyecto

Dadas las condiciones topográficas del sector, el proyecto plantea la construcción del tercer carril, mediante la ampliación de dos carriles por el paso de la Nariz del Diablo, considerando la combinación de cuatro (4) túneles cortos, y ampliación de vía a cielo abierto donde la topografía lo permita.<sup>2</sup>

En la Tabla 4 se presenta la descripción de cada uno de los cuatro túneles.

Tabla 4 Túneles UF2

Túnel	Longitud (m)
Túnel Ermitaño	414,62
Túnel Divino Niño	290,33
Túnel Palmichala	521,36
Túnel Nariz del Diablo	755,36

#### 3.2.3.1. Trazado y características geométricas de las vías a construir objeto del proyecto

##### 3.2.3.1.1. Diseño geométrico en planta perfil y secciones transversales

Para la definición de parámetros de diseño de la unidad funcional 2, como criterios de diseño se partió de los parámetros para la velocidad de diseño, pendiente máxima y sección transversal de la vía, definidos por el Apéndice Técnico 1 del Contrato. Los documentos que se usaron de referencia para la elaboración de los diseños fueron:

- Apéndice técnico, contrato APP N°4 de 2016
- MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA CARRETERAS, adoptado mediante Resolución No. 000744 del 4 de marzo de 2009 del INVIAS.
- Criterios para el diseño geométrico y paisajístico de la franja de aislamiento y la calzada de desaceleración establecidos en los decretos 3600 de 2007 y 4066 de 2008
- Ley 105 de 1993

<sup>2</sup> Apéndice Técnico 1. Alcance del Proyecto. Contrato de Concesión bajo el esquema de APP No. 4 de 2016

- Ley 1682 de 2013, por la se adoptan medidas y disposiciones para los proyectos de infraestructura de transporte y se conceden facultades extraordinarias.
- AASHTO.GEOMETRIC DESIGN OF HIGHWAYS AND STREETS.2004

La Unidad Funcional 2 tiene una longitud aproximada de 5,0 km y se encuentra localizada entre el PR37+000 al PR42+000, atraviesa terreno predominantemente escarpado, donde está presente el cañón del río Sumapaz conformado por altos y pronunciados escarpes de roca, como punto de referencia el sitio conocido como “La Nariz del Diablo”.

Dadas las condiciones topográficas y geométricas especiales del sector, el alcance propuesto para la Unidad Funcional 2 corresponde a la construcción de tercer carril, mediante la ampliación de dos carriles por el paso antiguo de la Nariz del Diablo, considerando la combinación de construcción de cuatro túneles cortos, y ampliación de vía a cielo abierto donde la topografía lo permita.

### 3.2.3.1.2. Velocidad de diseño

La velocidad de diseño es 60 Km/h y para el caso de la vía existente, se conservará la velocidad de diseño existente.

### 3.2.3.1.3. Calzada

El ancho de carril y ancho de calzada de la Unidad Funcional 2 para las vías a cielo abierto se presenta a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5 Ancho de carril (a) de acuerdo con el Apéndice Técnico 1.

Requisito Técnico	Subsector 1	
	Calzada nueva a cielo abierto	Calzada existente
Ancho de carril mínimo (m)	3,65	Existente
Ancho de calzada mínimo (m)	7,30	Existente

Fuente: Elaboración propia

El ancho de carril y ancho de calzada de la Unidad Funcional 2 para los túneles se presenta a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6 Ancho de carril (a) en túneles de acuerdo con el Apéndice Técnico 1.

Requisito Técnico	Túnel 1 Ermitaño	Túnel 2 Divino Niño	Túnel 3 Palmichara	Túnel 4 Nariz del Diablo
Ancho de carril mínimo (m)	3,65	3,65	3,65	3,65
Ancho de calzada más bermas mínimo (m)	8,0	8,0	8,0	8,0

### 3.2.3.1.4. Berma

Para la Unidad Funcional 2 el ancho de berma interna y externa es de 1,80 m en ambos costados en las vías nuevas a cielo abierto, para las vías existentes el ancho de berma es el existente, y para los túneles el ancho de berma mínimo es de 0,35 m.

### 3.2.3.1.5. Separadores y zonas laterales externas de las calzadas

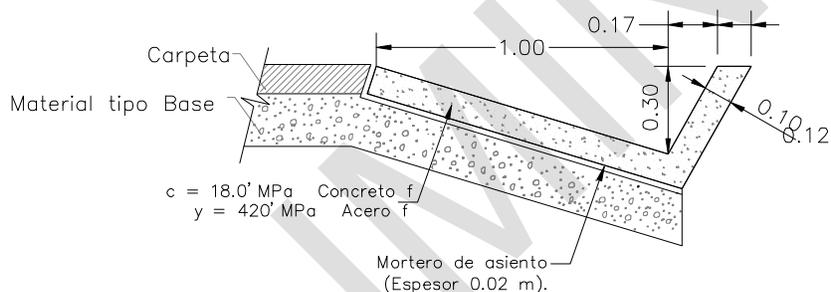
De acuerdo con el análisis de los sistemas de contención vehicular de la Unidad Funcional, se definieron dos tipologías de sistemas, a saber: barreras tipo New Jersey de nivel de Alta Contención, para implementarse en el separador central y defensa metálica doble onda de nivel de Media Baja Contención, para implementarse en las zonas laterales externas de las calzadas.

### 3.2.3.1.6. Cunetas

De acuerdo con las especificaciones y necesidades del corredor, en las vías nuevas a cielo abierto se localizarán en zonas de excavación; de una longitud determinada por el requerimiento hidráulico.

Adicionalmente, se contemplara la localización de una **zona de servicio** al finalizar la localización de las cunetas longitudinales, la cual tendrá un ancho mínimo de **1,0m** con el fin de proveer un espacio adicional para caída de material y/o localización de dispositivos asociados al corredor. El esquema de la cuneta utilizada en la unidad funcional 2 se puede observar en la Figura 3.

Figura 3 Esquema de Cuneta utilizada para la Unidad Funcional 2.

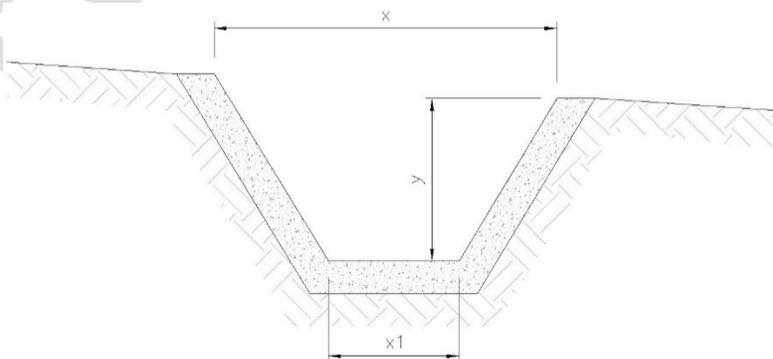


Fuente: INGETEC. 2017

### 3.2.3.1.7. Zanjas de coronación

Se prevé la implementación de zanjas de coronación en la parte superior de los taludes de corte como medida de manejo de las aguas, esta zanja se ubicara a una distancia mínima de 3 m del corte final del talud. A continuación en la Figura 4, se presenta un esquema típico de la zanja de coronación.

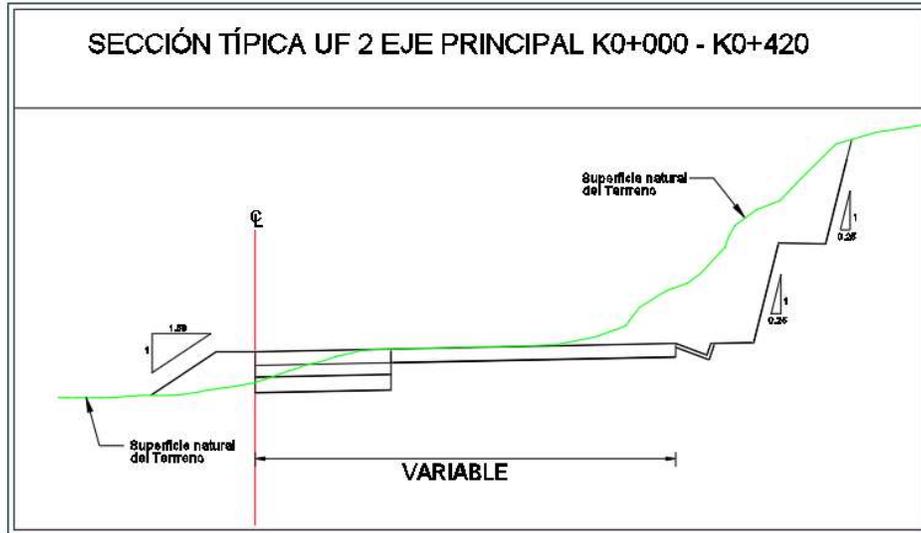
Figura 4 Sección Transversal zanja de coronación



Fuente: INGETEC. 2017

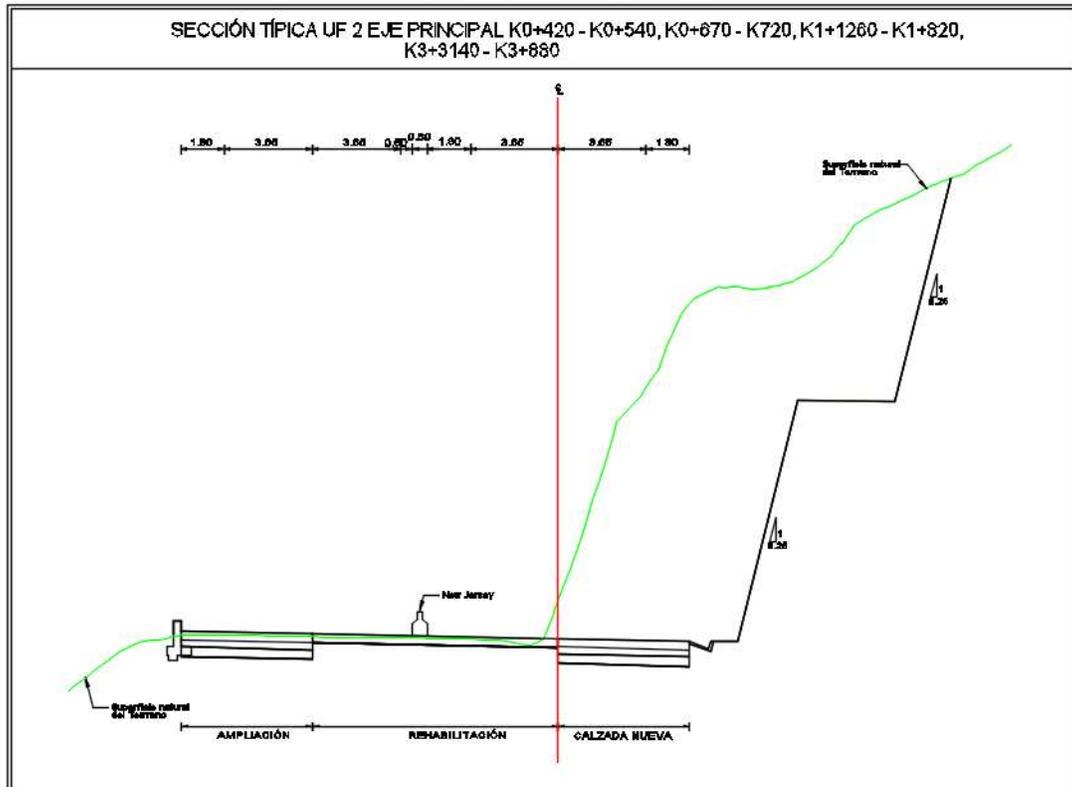
Las características transversales se presentan a continuación.

Figura 5 Sección típica 1



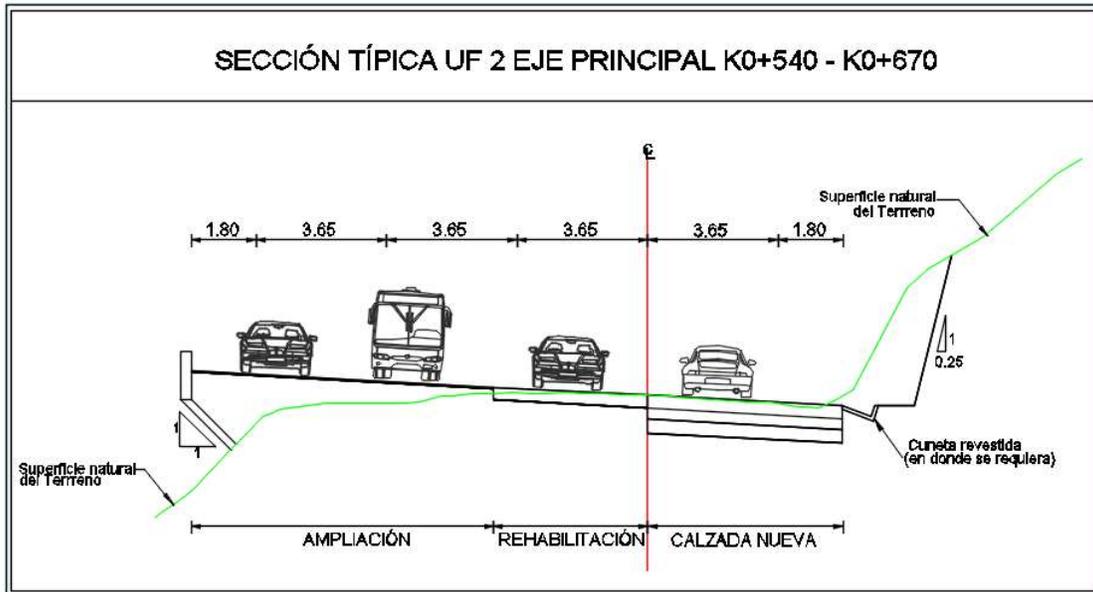
Fuente: INGETEC. 2017

Figura 6 Sección típica 2



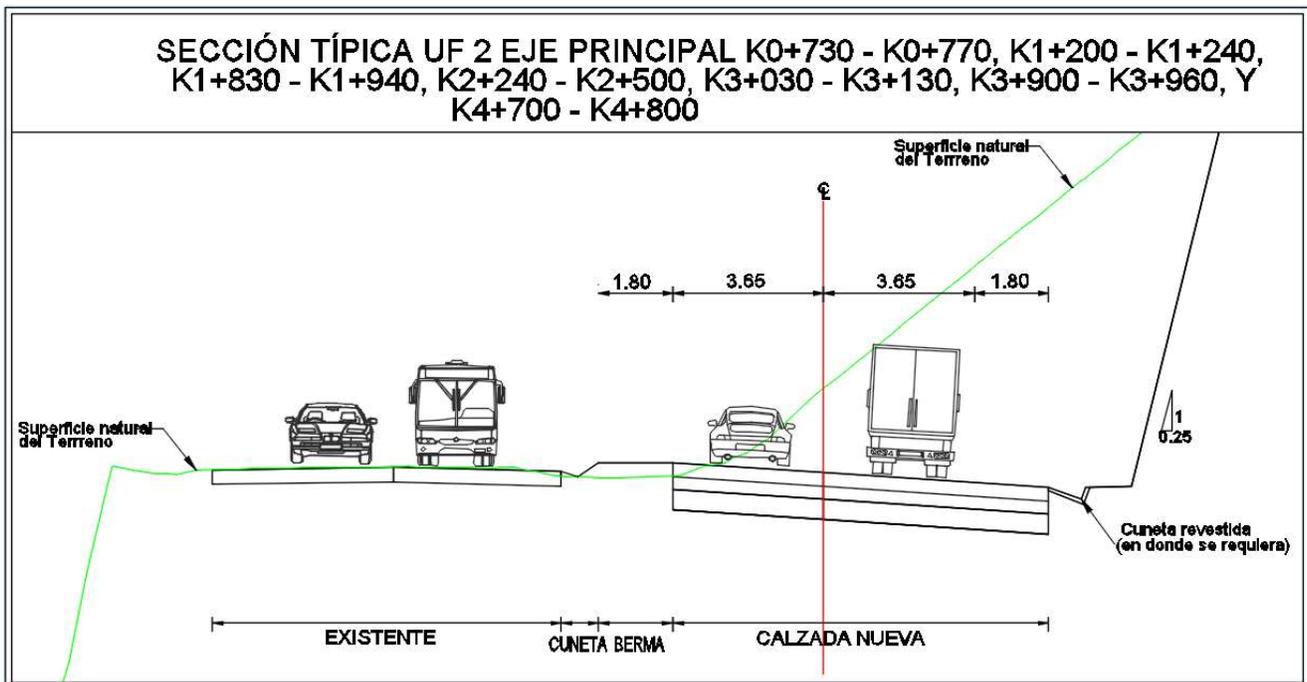
Fuente: INGETEC. 2017

Figura 7 Sección típica 3



Fuente: INGETEC. 2017

Figura 8 Sección típica 4



Fuente: INGETEC. 2017

Figura 9 Sección típica 5

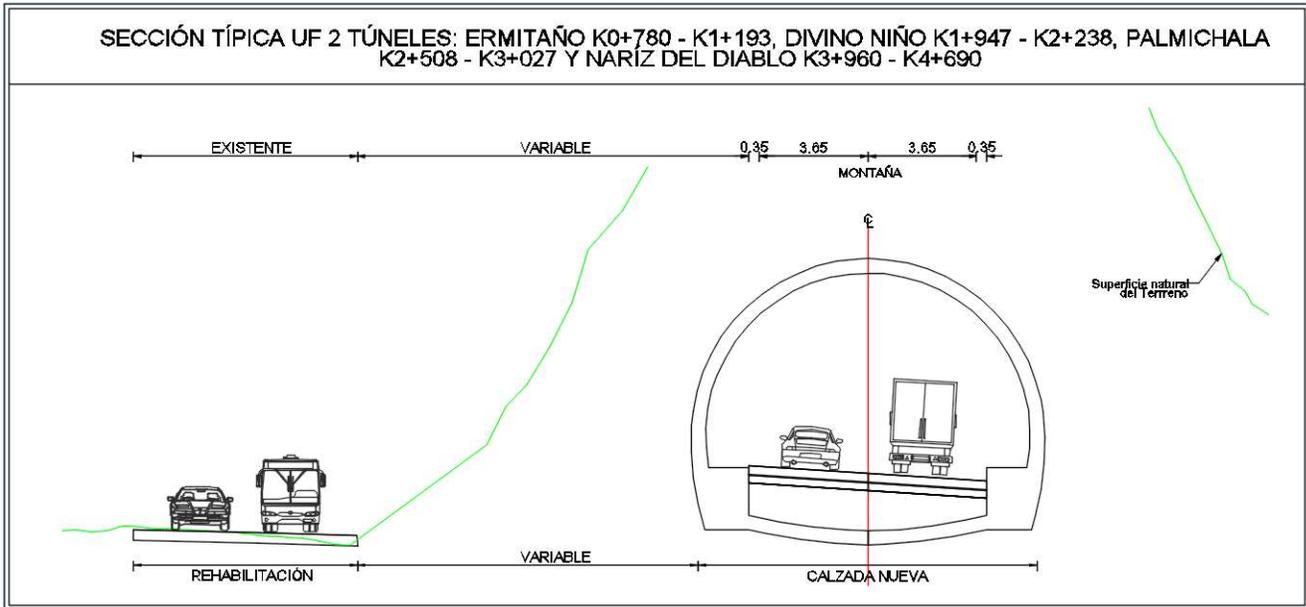


Figura 10 Sección típica 6

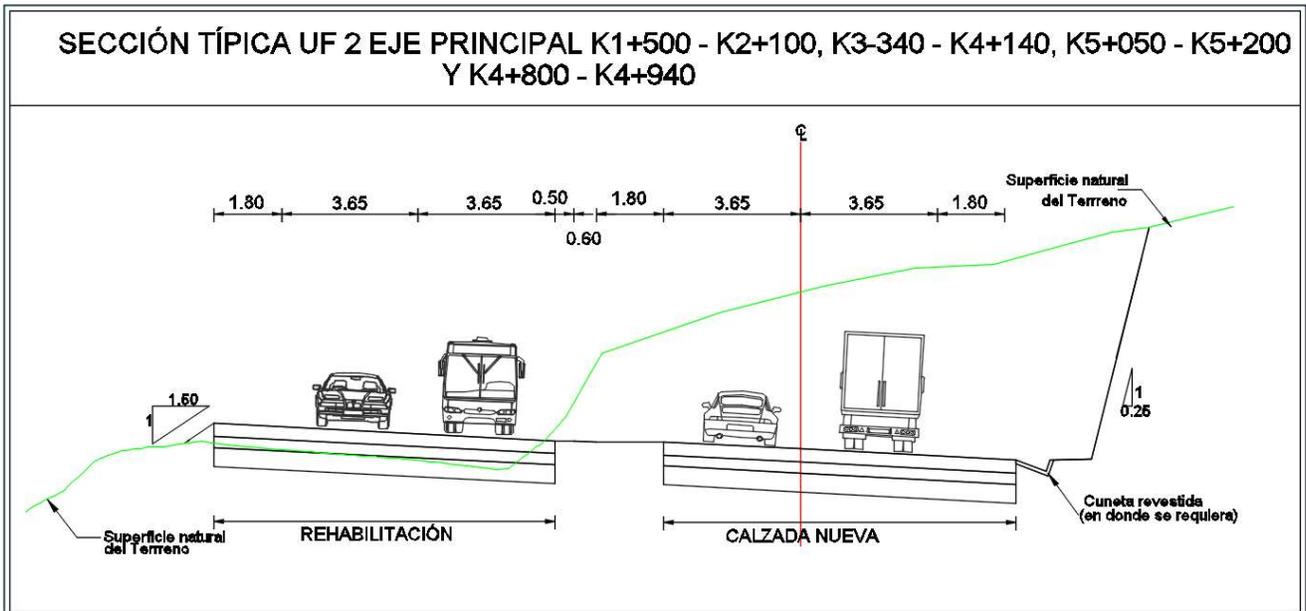
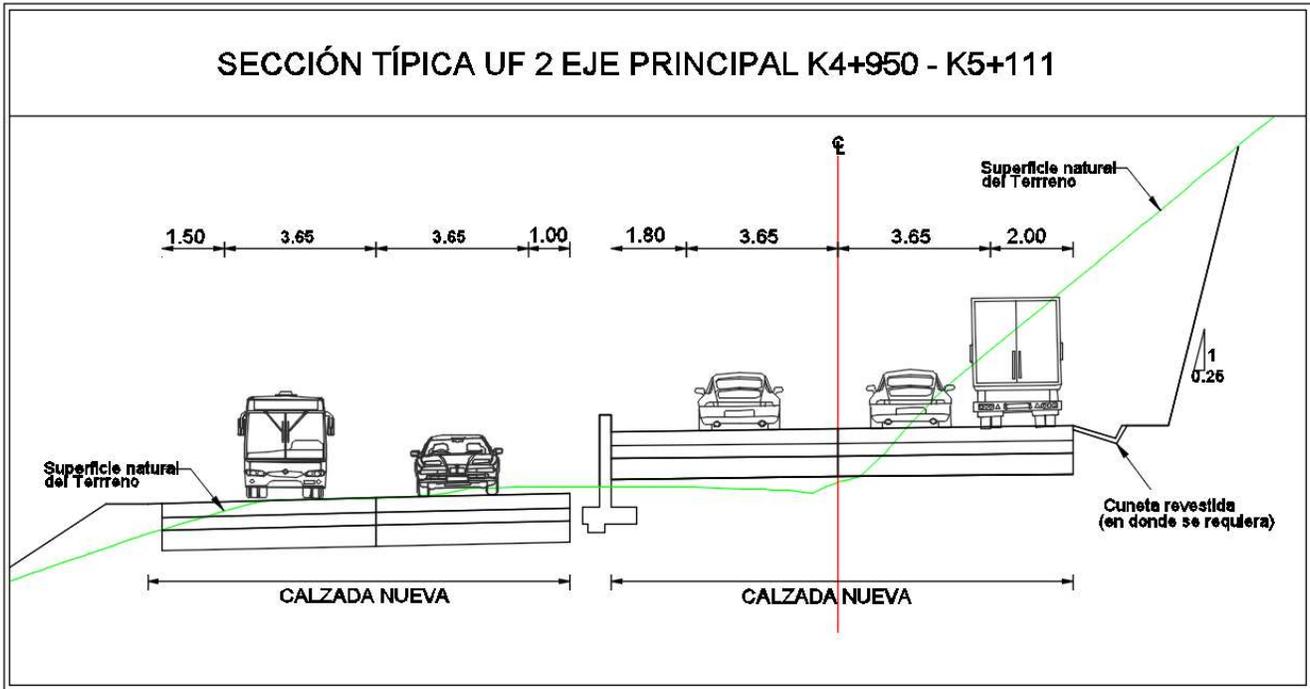
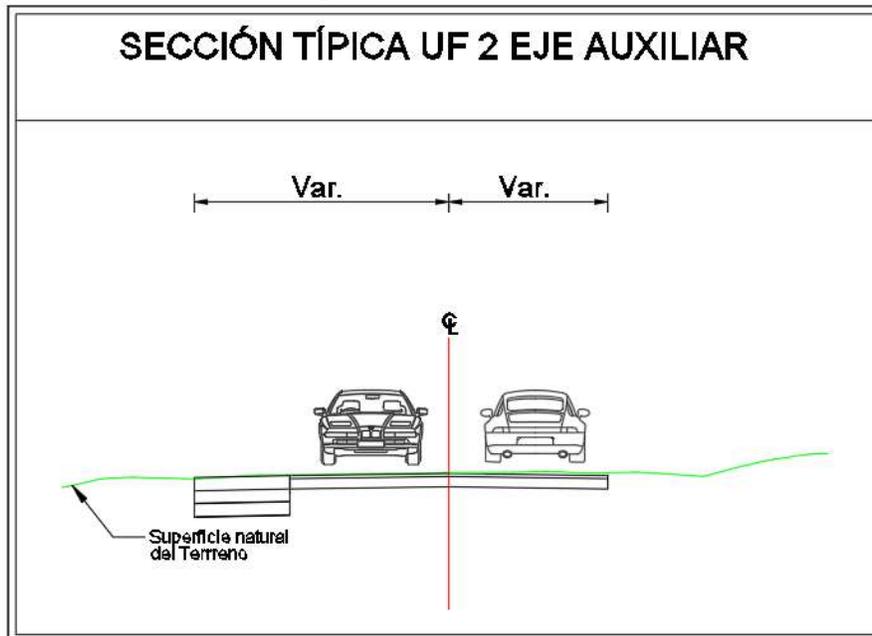


Figura 11 Sección típica 7



Fuente: INGETEC. 2017

Figura 12 Sección típica 8

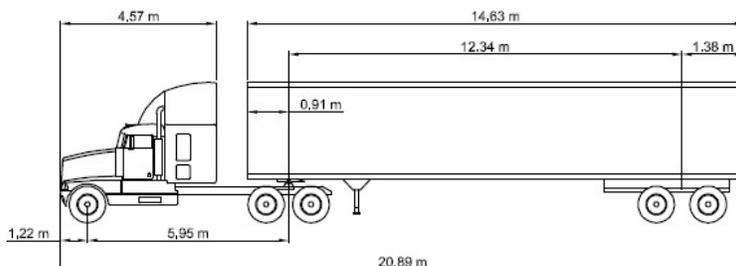


Fuente: INGETEC. 2017

### 3.2.3.1.8. Vehículo de diseño

Con base en las especificaciones del Manual de Diseño de Carreteras versión 2008, se establece como vehículo de diseño el vehículo articulado C3S2 (Ver Figura 13) el cual representa adecuadamente los efectos de los radios de giro requeridos en el diseño de enlaces en intersecciones y sobre-anchos en curvas de radio reducido.

Figura 13 Vehículo de diseño C3S2



Fuente: Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

Tabla 7 Dimensiones vehículo articulado

	CATEGORÍA	A (m)	L <sub>1</sub> (m)	L <sub>2</sub> (m)	L <sub>3</sub> (m)	u (m)
3S2	Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes	1.22	5.95	0.0	12.97	2.59

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008

### 3.2.3.1.9. Peralte máximo

Para carreteras Primarias, como es el caso de la vía nueva a cielo abierto de la Unidad Funcional 2, se establece un peralte máximo del ocho por ciento (8%), el cual permite mantener aceptables velocidades específicas en la curva (VCH) sin incomodar a vehículos en curvas con radios mínimos.

Para el caso de los tramos de las vías de rehabilitación, se conservan los peraltes máximos existentes.

### 3.2.3.1.10. Rampa de peraltes

Con base en la Tabla 3.6 del Manual de diseño, se consideran los siguientes valores de pendiente relativa de la rampa de peralte basados en la velocidad de diseño, que para la Unidad Funcional 2 es 60 km/h.

Con relación a la mínima pendiente relativa de la rampa de peraltes ha de tenerse en cuenta el ancho de carril proyectado para el corredor el cual está establecido en 3.65 m (ver Tabla 8).

Tabla 8 Pendiente máxima relativa de la rampa de peraltes.

Velocidad de diseño	Pendiente relativa de la rampa de peraltes	
	Máxima	Mínima
60 km/h	0,60%	0,37%

Fuente: Manual de Diseño Geométrico 2008

Dado que el contrato contempla la Ampliación del Tercer Carril –Doble calzada Bogotá Girardot y teniendo en cuenta las condiciones actuales de este corredor en donde se tiene un eje central para cada calzada a partir del

cual se maneja el diseño geométrico de los elementos del corredor; con el fin de minimizar las intervenciones a ejecutar sobre esta parte de la calzada el proyecto contempla el diseño de peraltes manteniendo la velocidad estipulada para el sector de diseño de tal forma que se mantiene el eje actual y se prolonga el carril externo en condiciones similares en cuanto a rampa de peraltes.

### 3.2.3.1.11. Radios de giro

En concordancia con el parámetro de velocidad de diseño establecido y peralte máximo, y teniendo en cuenta que la velocidad de diseño en la Unidad Funcional 2 es de 60 km/h, se tiene un radio mínimo de 113 m para los tramos de vía a cielo abierto. Para las zonas de los túneles proyectados, el radio mínimo es 214 m.

Con respecto a los tramos de vías de rehabilitación, la filosofía implementada en el trazado fue manejar radios que se ajustaran a la geometría existente.

A continuación se hace una relación de los radios y longitudes de espirales utilizadas, en los diferentes tramos de la unidad Funcional 2. Ver Tabla 9 a Tabla 16.

Tabla 9 Relación de Radios y longitudes de espiral eje principal

Curva #	Abscisa PI	Radio de curvatura	Espiral de Entrada	Espiral de Salida
		(m)	(m)	(m)
C-1	K0+098.15	140.00	49	49
C-2	K0+529.00	371.81	110	110
C-3	K0+774.17	340.00	62	62
C-4	K1+044.71	260.00	50	50
C-5	K1+317.10	212.98	55	55
C-6	K1+441.59	198.00	50	50
C-7	K1+597.37	366.56	76	76
C-8	K1+855.22	228.70	70	70
C-9	K2+149.22	248.00	60	60
C-10	K2+555.14	455.00	60	60
C-11	K3+017.13	235.00	60	60
C-12	K3+590.01	999.00	120	120
C-13	K4+265.97	578.82	110	110
C-14	K4+701.03	508.70	110	110
C-15	K4+881.96	247.37	50	50
C-16	K5+028.45	80.00	49	49

Tabla 10 Relación de Radios y longitudes de espiral eje aux

Curva #	Abscisa PI	Radio de curvatura	Espiral de Entrada	Espiral de Salida
		(m)	(m)	(m)
C-1	K0+344.15	270	60	60
C-2	K0+656.91	420		

Tabla 11 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 1

Curva #	Abscisa PI	Radio de curvatura	Espiral de Entrada	Espiral de Salida
		(m)	(m)	(m)
C-1	K0+064.00	59.724		
C-2	K0+113.20	35.477		
C-3	K0+153.61	29.646		
C-4	K0+212.25	28.461		
C-5	K0+277.21	54.118		
C-6	K0+357.47	38.784		
C-7	K0+489.04	83.463		

Tabla 12 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 2

Curva #	Abscisa PI	Radio de curvatura	Espiral de Entrada	Espiral de Salida
		(m)	(m)	(m)
C-1	K0+086.37	380		
C-2	K0+191.47	218		
C-3	K0+345.06	140		
C-4	K0+420.81	87		
C-5	K0+495.06	215		
C-6	K0+554.61	99		

Tabla 13 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 3

Curva #	Abscisa PI	Radio de curvatura	Espiral de Entrada	Espiral de Salida
		(m)	(m)	(m)
C-1	K0+029.41	58.19		
C-2	K0+172.63	45.08		
C-3	K0+274.11	1125.24		
C-4	K0+431.87	94.08		
C-5	K0+466.49	77.48		
C-6	K0+561.40	126.55		

Curva #	Abscisa PI	Radio de curvatura	Espiral de Entrada	Espiral de Salida
		(m)	(m)	(m)
C-7	K0+664.78	58.77		
C-8	K0+780.01	201.28		

Tabla 14 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 4

Curva #	Abscisa PI	Radio de curvatura	Espiral de Entrada	Espiral de Salida
		(m)	(m)	(m)
C-1	K0+056.47	180		
C-2	K0+131.46	112.24		
C-3	K0+243.78	136.23		
C-4	K0+318.24	166.45		
C-5	K0+389.42	111.62		
C-6	K0+488.37	784.36		
C-7	K0+652.26	152.58		
C-8	K0+748.49	183.34		
C-9	K0+822.13	52		
C-10	K0+890.74	62.42		
C-11	K1+032.72		50	50
C-12	K1+201.53	50.382		
C-13	K1+287.54	180	22	22

Tabla 15 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 5

Curva #	Abscisa PI	Radio de curvatura	Espiral de Entrada	Espiral de Salida
		(m)	(m)	(m)
C-1	K0+169.97	600		
C-2	K0+303.47	120		
C-3	K0+421.85	600		
C-4	K0+519.25	300		

Tabla 16 Relación de Radios y longitudes de espiral eje rehabilitación 6

Curva #	Abscisa PI	Radio de curvatura	Espiral de Entrada	Espiral de Salida
		(m)	(m)	(m)
C-1	K0+038.28		49	49
C-2	K0+233.63	80	60	60

### 3.2.3.1.12. Pendiente longitudinal

La pendiente mínima establecida por el Manual de diseño es de **0,5%** como pendiente mínima recomendada y cero punto tres por ciento (**0,3%**) para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseada, teniendo en cuenta que se podrán proyectar pendientes menores siempre y cuando sean justificadas.

En las zonas de mejoramiento en donde las pendientes existentes son menores a 0,30% y con el fin conservar el pavimento existente, se mantienen dichas pendientes dando tratamiento transversal mediante el bombeo normal de la calzada.

Para la Unidad Funcional 2 se establece una pendiente longitudinal máxima de **8,0%** en los tramos de calzada nueva a cielo abierto, y se conservará la pendiente existente para las calzadas existentes; para los túneles aplican las pendientes longitudinales relacionadas en la Tabla 17.

Tabla 17 Pendiente máxima en túneles

Requisito Técnico	Túnel 1 Ermitaño	Túnel 2 Divino Niño	Túnel 3 Palmichara	Túnel 4 Nariz del Diablo
Pendiente máxima (% sentido)	3,65%	5,94%	4,69%	0,93%

### 3.2.3.1.13. Longitud mínima de la curva vertical

Para la Unidad Funcional 2 en los tramos de vía nueva a cielo abierto, partiendo del criterio de seguridad de visibilidad de parada (K) y de velocidad, la longitud mínima de curva vertical para una velocidad de diseño de 60 km/h es de 36 m.

Las curvas verticales de la vía existente fueron diseñadas ajustándose a la geometría vertical de la carretera existente, por tratarse de un tramo de rehabilitación, por lo tanto no se define una longitud mínima de curva vertical.

En la Tabla 18 se presenta el resumen de parámetros aplicables al diseño del corredor vial:

Tabla 18 Parámetros de Diseño Geométrico UF2

Parámetro	Subsector 1		Túneles
	Calzada nueva a cielo abierto	Calzada existente	
Velocidad de Diseño	Existente	60 km/h	60 km/h
Vehículo de diseño	C3S2	C3S2	C3S2
Radio mínimo de curvatura	113 m	Existente	214 m
Peralte máximo	8,0%	Existente	8,0%
Pendiente relativa de la rampa de peraltes	0,6	Existente	0,6
Longitud mínima de la espiral	49	Existente	49

Parámetro	Subsector 1		Túneles
	Calzada nueva a cielo abierto	Calzada existente	
Pendiente Longitudinal máxima	8,0%	Existente	3,65% Túnel 1 5,94% Túnel 2 4,69% Túnel 3 0,93% Túnel 4
Pendiente Longitudinal mínima	0,3%	Existente	0,3%
Excepciones a la velocidad de diseño (% de long.)	0%	NA	NA
Excepciones al radio mínimo (% de longitud)	NA	NA	NA
Excepciones a la pendiente máxima (% de long. a un determinado %)	NA	NA	NA
Longitud mínima de la curva vertical	36 m	Existente	36 m
Número de Carriles por calzada	2 nuevos 2 existentes	2	2
Ancho de Carril	3,65 m	Existente	3,65 m
Ancho de berma interna mínimo	1,8 m	Existente	0,35 m
Ancho de berma externa mínimo	1,8 m	Existente	0,35 m

#### 3.2.3.1.14. Estructura pavimento

En la Tabla 19 se presenta las diferentes estructuras de pavimento utilizadas en el corredor de la unidad Funcional 2

Tabla 19 Prediseño de pavimentos en el corredor de la unidad Funcional 2

UF	SECTOR	CALZADA DERECHA				CALZADA IZQUIERDA			
		SUBBASE	BASE	MDC	AJUSTE COTA ROJA	AJUSTE COTA ROJA	MDC	BASE	SUBBASE
UF2	CALZADA NARIZ DEL DIABLO					0,00 m	0,35 m	NA	NA
UF2	CALZADA NUEVA	0,40 m	0,30 m	0,35 m	NA	NA	0,35 m	0,30 m	0,40 m

Fuente: INGETEC. 2017

En el ANEXO B 1 se presenta los planos de diseño.

### 3.2.3.2. TÚNELES

#### 3.2.3.2.1. Secciones tipo de sostenimiento

Se proponen los tipos de sostenimiento descritos en la Tabla 20 para la ejecución de los túneles nuevos del tramo.

Tabla 20. Sostenimientos adoptados para los túneles

SECCIÓN TIPO	RANGO DE APLICACIÓN	PASE MÁXIMO	SOSTENIMIENTO			
			PERNOS (De anclaje por fricción de 15 ton y 2,4 m de longitud)	CONCRETO LANZADO (HM-30 con adición de 4 kg/m <sup>3</sup> de fibras sintéticas)	ARCOS METÁLICOS	TRATAMIENTOS ESPECIALES
<b>ST-I</b>	$RMR > 80$	6 m	Ocasionales en sección de Bóveda	5 cm de espesor	---	
<b>ST-II</b>	$60 < RMR \leq 80$	5 m	Cuadrícula de 2 m (T) x 2,5 m (L)	8 cm de espesor	---	
<b>ST-III</b>	$40 < RMR \leq 60$	4 m (RMR > 50) 3 m (RMR < 50)	Cuadrícula de 1,5 m (T) x 2 m (L)	13 cm de espesor	---	
<b>ST-IV</b>	$30 < RMR \leq 40$	1,5 m	Ocasionales (para refuerzo)	18 cm de espesor	TH-29 cada 1,5 m	
<b>ST-V</b>	$20 < RMR \leq 30$	1 m	---	23 cm de espesor	TH-29 cada 1,0 m	
<b>ST-VI</b>	$RMR \leq 20$	1 m	---	30 cm de espesor	HEB-160 cada 1,0 m	Paraguas de micropilotes $\Phi_{ext} 88,9$ mm y 12 m de longitud con 3 m de traslape, espaciados 40 cm entre ejes y separados 15 cm sobre la línea exterior del sostenimiento, cubriendo 120°

En el caso de las galerías de evacuación, las secciones de sostenimiento serán las que se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Sostenimientos adoptados para las galerías

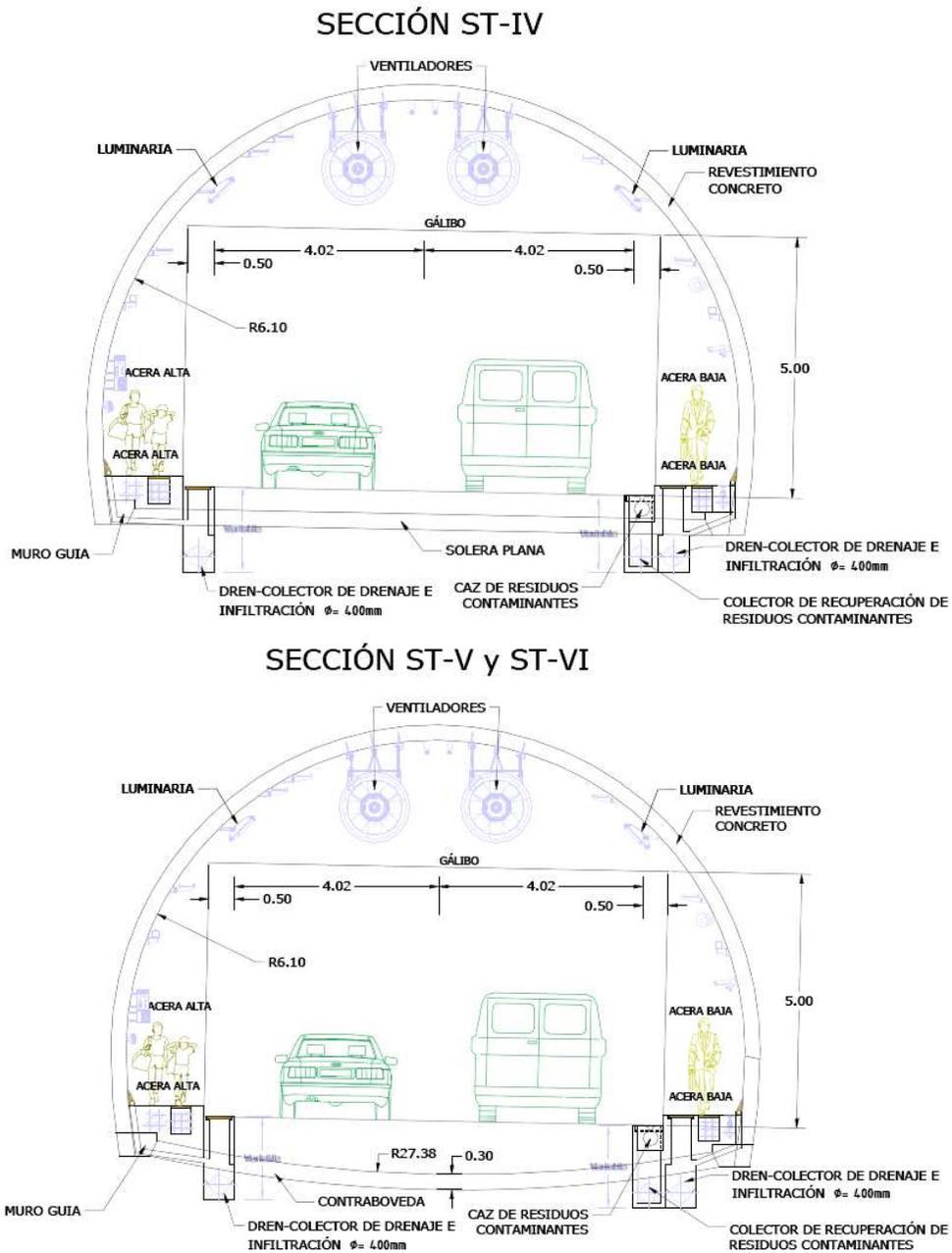
SECCIÓN TIPO	RANGO DE APLICACIÓN	PASE MÁXIMO	SOSTENIMIENTO		
			PERNOS (De anclaje por fricción de 15 ton y 2,4 m de longitud)	CONCRETO LANZADO (HM-30 con adición de 4 kg/m <sup>3</sup> de fibras sintéticas)	ARCOS METÁLICOS
<b>SG-I</b>	<i>RMR &gt; 60</i>	<i>4 m</i>	<i>Cuadrícula de 2 m (T) x 2,5 m (L)</i>	<i>5 cm de espesor</i>	---
<b>SG-II</b>	<i>40 &lt; RMR ≤ 60</i>	<i>4 m</i>	<i>Cuadrícula de 2 m (T) x 2 m (L)</i>	<i>10 cm de espesor</i>	---
<b>SG-III</b>	<i>30 &lt; RMR ≤ 40</i>	<i>1,5 m</i>	<i>Ocasionales (para refuerzo)</i>	<i>15 cm de espesor</i>	<i>TH-16,5 cada 1,5 m</i>
<b>SG-IV</b>	<i>RMR ≤ 30</i>	<i>1 m</i>	---	<i>20 cm de espesor</i>	<i>TH-16,5 cada 1,0 m</i>

#### 3.2.3.2.2. Revestimientos adoptados

El revestimiento a ejecutar en los túneles Ermitaño, Divino Niño, Palmichala y Nariz del Diablo será de 30 cm de espesor de concreto hidráulico convencional.

Las soluciones para el cierre inferior de la sección (solera plana o contrabóveda), que se ejecutarán con concreto bombeado de tipo HM-25, cuentan con un espesor de 30 cm y quedan definidas geoméricamente según el esquema que se presenta en la Figura 14.

Figura 14. Geometría del cierre inferior propuesto



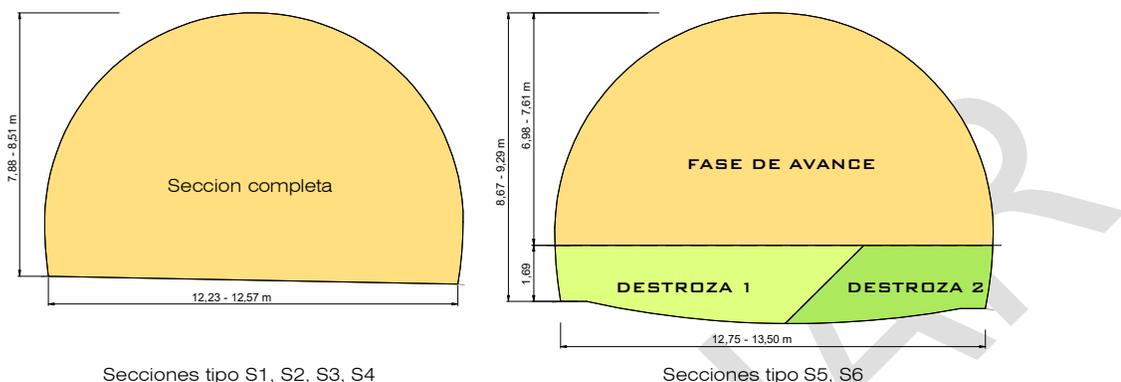
### 3.2.3.2.3. Impermeabilización

La impermeabilización del túnel tiene como finalidad captar y conducir las filtraciones de agua que se produzcan en el paramento del túnel hasta los conductos de drenaje del mismo, eliminándose así surgencias y goteos difusos en el paramento que puedan dificultar la circulación por el interior del túnel y dañar el nivel de acabado del mismo.



En zonas donde el índice RMR sea inferior a 30, la excavación está prevista realizarla con medios mecánicos y se realiza en dos fases, fase de bóveda y fase de banca, tal y como se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Fases de excavación



- Sección completa:

Las secciones tipo ST-I, ST-II, ST-III y ST-IV se excavarán a sección completa mediante perforación y voladura.

Los equipos existentes en el mercado permiten alcanzar los 8,50 m de altura de excavación del túnel y por tanto se ha tenido en cuenta este condicionante a la hora de dimensionar los equipos de excavación y sostenimiento.

- Fase de bóveda y fase de banca:

Para las secciones tipo ST-V y ST-VI se excavará en primer lugar la parte superior del túnel a sección completa, llevando inmediatamente detrás de cada avance el sostenimiento tipo que corresponda a cada tipo de terreno. La altura de esta fase se ha considerado entre 6,98 – 7,61 m.

La excavación de la fase banca se excavará en dos bataches laterales, de forma contrapeada, de manera que en ningún momento se descalce el túnel simultáneamente en los dos hastiales.

### 3.2.3.2.5. Excavación mediante perforación y voladura

De acuerdo con las características geológicas y geotécnicas del material atravesado por los nuevos túneles, se considera que el método de perforación y voladura es el más adecuado para la excavación de las zonas de roca con RMR superior a 30.

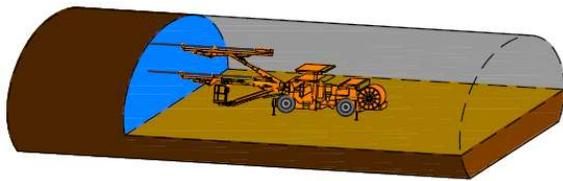
Los túneles se han previsto excavarlos a sección completa, a excepción de las zonas de peor calidad geotécnica cuya excavación se realizará en dos fases (bóveda y banca).

La longitud máxima del pase de excavación será también función del tipo de terreno, entendiendo por longitud máxima de pase la distancia entre el frente excavado y la sección del túnel con el sostenimiento parcialmente completado.

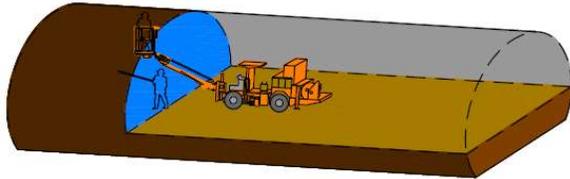
- Ciclo básico de excavación

El ciclo básico de excavación mediante perforación y disparo se compone de las operaciones que se muestran en la Figura 17.

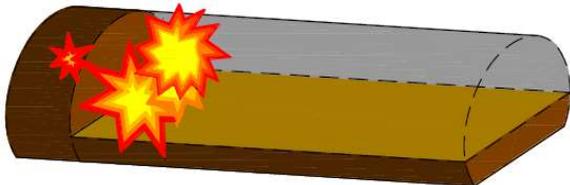
Figura 17. Ciclo de excavación



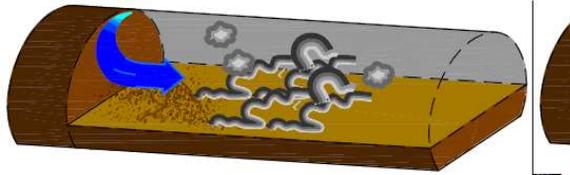
**Perforación:** Para la ejecución de los barrenos de la voladura se utilizarán jumbos de 3 brazos. El funcionamiento de estos jumbos es eléctrico cuando están estacionados en su posición de trabajo, para el correcto funcionamiento del jumbo se deberá contar con agua (para eliminar el polvo de la perforación y refrigeración de las bocas) y aire comprimido.



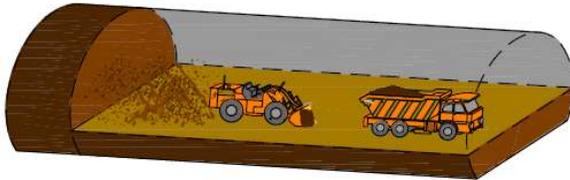
**Carga de explosivo:** La carga de explosivo se realizará mediante cargas preformadas, colocando los cartuchos sobre vainas de plástico rajadas longitudinalmente.



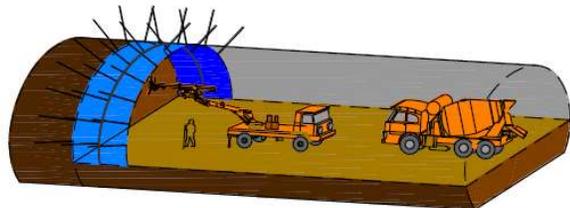
**Voladura:** Una vez cargados los taladros se efectuará la pega según la secuencia y las cargas diseñadas en los esquemas de voladura.



**Ventilación:** Tras la voladura se esperará el tiempo necesario para la evacuación de los gases producidos, aproximadamente unos 30 min.



**Desescombro:** El desescombro se realizará con palas cargadoras Komatsu WA-430 o similares, que cargan en el frente o en los entronques sobre camiones de 20 ton



**Colocación del sostenimiento:** Tras la proyección de la capa de sellado se colocarán los bulones y las cerchas del sostenimiento. Para la colocación de bulones se empleará el mismo equipo utilizado para la perforación de los taladros de la voladura. Para la colocación de cerchas se utilizará una plataforma elevadora tipo Manitou MRT-1440 o similar

La perforación se realizará con jumbos hidráulicos robotizados con tres brazos tipo Atlas Copco Rocket Boomer E3C o similar.

Estos jumbos, tienen paralelismo automático en sus brazos de perforación, lo que permite una buena ejecución de la perforación de los taladros, tanto en lo que se refiere al paralelismo entre ellos como a la dirección de todos, esta es una propiedad muy importante para el buen resultado de las voladuras y también para conseguir un buen acabado de los túneles. De manera que el perfilado es excelente a través de los tiros de recorte.

Figura 18. Perforación en el frente con jumbo



El funcionamiento de estos jumbos es eléctrico-hidráulico cuando están estacionados en su posición de trabajo. Para su correcto funcionamiento se dispondrá del adecuado suministro de electricidad, agua y aire hasta el frente de excavación.

Cada brazo de perforación tiene instalado un martillo perforador hidráulico tipo COP 1838 ME con el que se puede obtener hasta un rendimiento neto de perforación de 4 m/min. Este rendimiento en cualquier caso después de considerar los tiempos de maniobras, emboquilles, cambios de boca, etc., queda reducido aproximadamente a 1,50 m/min.

Para mantener estos rendimientos es siempre necesario llevar a cabo un control riguroso sobre las bocas de perforación, así como sobre el material de perforación (barras, manguitos, adaptadores...).

Una vez determinados los consumos por voladura del material de perforación (característico de cada tipo de roca) se le suministrará al capataz de turno el número necesario de los mismos.

- Sistema de marcación de los disparos en el frente

La situación del jumbo en los diferentes frentes deberá ser centrada según el eje, ya que estos equipos desde esta posición son capaces de perforar la voladura completa evitando de esta forma tener que tomar dos posiciones distintas con la pérdida de tiempo que eso supone.

El eje, contorno y rasante de las excavaciones serán replanteadas en el frente con pintura de algún color llamativo que resalte en el terreno, por otra parte en el suelo se situarán unas señales que marcarán la dirección de las perforaciones, éstas se comprobarán en cada tiro para poder hacer las oportunas modificaciones que hiciese falta.

El diámetro de perforación de los barrenos será de 51 mm, mientras que la longitud de perforación dependerá de la sección y calidad de la roca. Los tiros vacíos (cuelos) para el inicio de la voladura serán de 75 mm y la longitud será variable dependiendo de la calidad del macizo rocoso.

Dado que los jumbos son robotizados, en cada pase de excavación se introducirá el plan de tiro en el ordenador del jumbo y este realizará la voladura de forma automática.

Es importante hacer notar que los tiros de precorte llevarán una pequeña desviación inevitable hacia el exterior con el objeto de poder emboquillar la siguiente voladura.

Teniendo en cuenta las dimensiones de los túneles y la experiencia de operadores, se considera un coeficiente de interferencia entre los brazos del 15% (equivalente a utilización efectiva de 1,85 Brazos) parámetro ya considerado para efectos de cálculos en los tiempos de ciclo de perforación.

Sobre la base de las características de la roca y la velocidad de perforación que se requiere, se han elegido como perforadoras adecuadas para estos trabajos unas de potencia de 18 kW y diámetro de pistón de 38 mm. Estas características las cumple el martillo COP 1838 instalado en los jumbos ATLAS COPCO E3C.

Figura 19. Martillo COP 1838



Se entregará a cada operador de jumbo un diagrama de disparo para cada una de las secciones especificadas en los planos aptos para construir, los cuales son cargados directamente al Jumbo y el operador puede ver la frente marcada en la pantalla integrada al equipo en el panel de mando. Para cumplir efectivamente con esta condición, la topografía debe estar al día.

Antes de instalar el jumbo se debe verificar si los servicios de electricidad, ventilación, agua y drenaje se encuentran instalados y en condiciones que permitan realizar el trabajo en forma segura en el frente.

Verificado lo anterior, se procede a conectar el jumbo a las redes de energía eléctrica y agua. Mientras esté el equipo conectado a la energía eléctrica, los cables permanecerán colgados junto a una de las cajas, por medio de ganchos revestidos en material aislante, para evitar así cualquier contacto con superficies mojadas y objetos metálicos. Cabe destacar que el área de trabajo del jumbo se encuentra con la respectiva señalética y cenefas necesarias para trabajar en forma segura.

Antes de iniciar la perforación del pase de excavación, se debe posicionar el equipo de acuerdo a las referencias ubicadas en el túnel en cuanto a su alineación, además del previo trabajo en oficina donde se define la información que se entregara al equipo en concordancia con el tipo de disparo que debe perforar es decir tipo de roca y sección. Una vez alineado y posicionado comienza a perforar.

El frente de excavación debe estar limpio, saneado y ordenado y con buena visibilidad para llevar a cabo las operaciones de la perforación. Sólo una vez tomadas todas las medidas anteriormente mencionadas, el operador del jumbo comenzará con la perforación del disparo.

Durante la perforación de un disparo de excavación el operador de jumbo debe chequear permanentemente el paralelismo de los tiros, verificando que el dispositivo correspondiente este operativo.

Los operadores y sus ayudantes al igual que el personal de sostenimiento y los cargadores de la voladura deben estar permanentemente observando el comportamiento de la roca de manera de tomar las acciones complementarias en el momento en que sean necesarias.

El tiempo requerido para el desarrollo de esta actividad está dado por el número de perforaciones, la longitud de perforación y la velocidad de perforación del Jumbo.

Durante todo el proceso de perforación se contará con una bomba eléctrica en el frente para el drenaje de las aguas aportadas por esta actividad y las posibles filtraciones producidas, la cual se descargará en la red de drenaje principal del túnel.

#### 3.2.3.2.6. Excavación mediante métodos mecánicos

Las secciones tipo ST-V y ST-VI de aplicación en zonas de falla y emboquille serán excavadas mediante medios mecánicos. Para esta labor se utilizará un martillo hidráulico de 2.000 kg o cazo de 0,8 m<sup>3</sup> montado sobre excavadora sobre orugas de 24 ton tipo Caterpillar 321 o similar.

Tras la excavación mediante martillo hidráulico o cazo se procederá a la carga y transporte del escombros a la escombrera designada.

Se sanea el frente de excavación, con el mismo martillo empleado en la excavación, desprendiendo las piedras y bloques pequeños que puedan caer, ocasionando situaciones de peligro tanto para el personal como para la maquinaria de trabajo en el frente.

Por último se procederá a la colocación del sostenimiento que según la sección tipo empleada corresponda.

#### 3.2.3.2.7. Carga del escombros

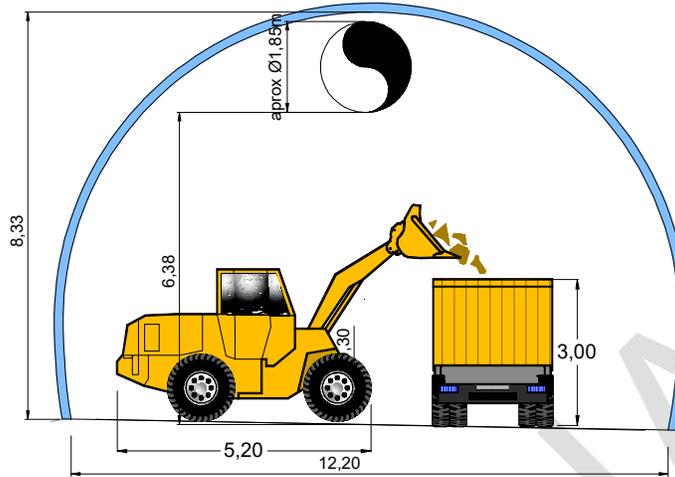
De forma general el desescombros se realizará con palas cargadoras Komatsu WA-430 o similar, cargando sobre camiones de 20 ton. El número de camiones para transportar el material de la voladura dependerá de la distancia al frente.

Los condicionantes que presentan estos túneles para el estudio de los equipos de desescombros son los siguientes:

- Las dimensiones de la sección de excavación.
- El gálibo de los túneles una vez ubicada la tubería de ventilación a lo largo del mismo.
- Longitud de los túneles.
- Rendimientos de desescombros óptimos para mejorar los ciclos de trabajo.

El gálibo disponible una vez colocada la tubería de ventilación sería el que se presenta en la Figura 20.

Figura 20. Gálbo de la sección tipo



Se propone como equipo de desescombro una pala cargadora frontal tipo Komatsu WA-430 y camiones de 20 ton.

Tabla 22. Equipos de desescombro

MÁQUINA	CARACTERÍSTICAS
<b>Pala cargadora frontal Komatsu wa430</b>	Capacidad del cazo: 3,3-4,2 m <sup>3</sup> Potencia: 173 kW, 232 HP Peso operativo: 20.000 kg Anchura: 2,99 m; Altura: 3,39 m
<b>Camión 20 ton</b>	Potencia: 201 kW Capacidad de carga: 20 ton Volumen de bañera colmada: 12 m <sup>3</sup> Velocidad máxima: 46 km/h

Figura 21. Pala cargadora



Antes de comenzar el desescombro, se regará abundantemente la zona con el fin de producir el menor polvo posible al remover el escombro.

Al final de la excavación se realizará una inspección del estado del terreno a fin de sanearlo, con el objeto de evitar desprendimientos durante el resto de fases del ciclo de excavación. Esta revisión, por su importancia y

peligrosidad, es necesaria que la lleve a cabo el capataz y los oficiales barrenistas, expertos en estas actividades.

#### 3.2.3.2.8. Colocación del sostenimiento

A continuación se describe el modo operativo para la colocación de los diferentes tipos de sostenimiento empleados.

- Concreto lanzado

El concreto lanzado, que se requiere durante la excavación, se proyectará en sucesivas capas de concreto hasta conseguir el espesor indicado para cada sección tipo.

- Maquinaria

Para la proyección de concreto se utilizarán robots de gunitado tipo Robot Jet PUTZMEISTER PM-4210. Estos equipos disponen de todos los accesorios necesarios: gunitadora, brazo de proyección articulado, tolvas para la recepción del concreto y la adición de aditivos, y chasis automóvil.

- Práctica operativa

Como consecuencia del avance de la excavación subterránea, el estado de equilibrio de éste se ve notablemente trastornado por el efecto de la descompresión del terreno, por ello inicialmente se proyectará una capa de sellado según el sostenimiento tipo y seguidamente se procederá a colocar el resto del sostenimiento proyectado.

Se utilizará concreto lanzado por vía húmeda principalmente por las siguientes ventajas:

- La adición del agua se controla perfectamente
- Menor necesidad de aire comprimido
- Menos polvo que en el caso de la vía seca
- Se adapta perfectamente para la utilización de robots
- Menor rebote
- Mayor producción como consecuencia del tamaño de los equipos
- 

Figura 22. Equipo de hormigonado



Para aumentar las propiedades resistentes del concreto lanzado se añadirán fibras sintéticas con características de 750J de energía de absorción.

- Colocación de anclajes

La perforación se realiza con los mismos jumbos empleados en la perforación de barrenos.

Figura 23. Bulonado del frente



Los pernos de anclaje por fricción que se pretenden colocar en los sostenimientos de los túneles, serán de acero tubular de anclaje mecánico repartido, que han sido doblados longitudinalmente para reducir su diámetro, y se necesitará un brazo de instalación y una bomba de inyección de agua (neumática, hidráulica o eléctrica) de alta presión.

Una vez introducido el bulón en el taladro, se bombea en su interior agua a alta presión a través del orificio del casquillo inferior.

Una vez instalado el bulón y al soltar el brazo de instalación del mismo, el agua alojada en el interior es expulsada por el orificio del casquillo inferior.

- Colocación de arcos

En función de la sección tipo y de las características del terreno, el proyecto propone la utilización de dos tipos de arcos:

- Arcos TH-29
- Arcos HEB-160

Los arcos se colocarán utilizando una plataforma elevadora, sobre la cual irá centrado, transversalmente el módulo central, para con la plataforma conseguir su elevación hasta la clave, además con la plataforma elevadora se pueden acoplar los módulos laterales que se unirán al tramo central mediante grapas en el caso de los arcos tipo TH o mediante tornillos y tuercas de empalme de arcos en el caso de los arcos tipo HEB.

Una vez colocado el arco, éste debe ser arriostrado a lo largo del desarrollo del mismo mediante tresillones de barras anclados mediante grapas de unión.

- Colocación de paraguas con el jumbo, mediante el sistema Symmetrix

El sistema Symmetrix permite la ejecución de micropilotes empleando el mismo Jumbo que se utiliza durante la ejecución del túnel. Este sistema permite no emplear un equipo específico de micropilotes, que no es habitual en obra.

Este sistema permite la colocación de paraguas según la siguiente secuencia:

- Posicionamiento y estabilización del equipo en el frente de trabajo
- Perforación de los taladros y colocación simultánea de la armadura
- Inyección de la lechada de cemento

Para que el jumbo pueda ejecutar estos paraguas, se tienen que realizar unas pequeñas adaptaciones, que son las siguientes:

- Colocación de un dispositivo de guía frontal de avance para la tubería
- Colocación de un centralizador de desplazamiento de la tubería
- Herramientas especiales para la desconexión de la sarta y el roscado de los tubos.

#### 3.2.3.2.9. Colocación del revestimiento

La secuencia constructiva para el revestimiento de los túneles con concreto hidráulico será la siguiente:

- Ejecución de la losa de solera o contrabóveda.

La primera actividad a ejecutar consiste en el hormigonado de la losa de solera o de la contrabóveda (en función de la calidad del terreno).

- Ejecución de los muretes de arranque o contrabóveda:

Posteriormente a la ejecución de la solera y previo a la ejecución de la bóveda, se ejecutarán los muretes de arranque mediante encofrados metálicos en cada hastial, para su posterior hormigonado. Los muretes llevarán un tacón donde apoyará el carro de encofrado, por lo que deberán estar fraguados con resistencia suficiente antes de iniciar la ejecución de la bóveda.

- Ejecución de la bóveda:

Para la ejecución de la bóveda se contará con un carro de encofrado (formaleta móvil).

El carro se moverá sobre una vía colocada previamente por delante del frente de avance.

Para la creación de plataformas de trabajo en la ejecución de cierres de encofrado y hormigonado, se utilizarán carretones ligeros de cimbra con andamiajes a varias alturas.

Una vez posicionado el carro de encofrado se procede a realizar el tape frontal.

El hormigón se suministrará en camiones mezcladores y será colocado mediante bombas de concreto, rellenando el módulo por capas horizontales de altura compatible con la capacidad de consolidación de los vibradores utilizados.

La conducción del hormigón se hará con tubería metálica de, vertiéndose a través de las ventanas del encofrado, el vibrado se realizará mediante vibradores de aguja al principio y de superficies adosados al encofrado en donde éstos no puedan acceder.

En el ANEXO B 1 se presenta los planos de diseño.

### 3.2.3.2.10. Maquinaria

En la Tabla 23 se muestran las características principales unos equipos análogos a los que se podrían emplear para la ejecución de los túneles (si bien las marcas o modelos definitivos dependerán en gran medida de la disponibilidad y criterios de la empresa ejecutora).

Tabla 23. Equipos de excavación y desescombro

ACTIVIDAD	MAQUINARIA	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN MÁQUINA
<b>Perforación barrenos voladura</b>	Jumbo de tres brazos tipo Atlas Copco Rocket Boomer E3C	Martillo hidráulico COP 1838ME. Corredera BMH 6800 3 Brazos BUT 45L. Potencia total instalada: 237 kW Compresor GAR 5 Anchura: 2.25 mm; Altura: 3.123 mm Peso: 41.200 kg Velocidad de desplazamiento en horizontal: >15 km/h Pendiente máxima superable: hasta 25%	
<b>Excavación mecánica</b>	Retroexcavadora tipo Cat 321 con cazo de 0,8 m <sup>3</sup> o martillo de 2000 kg	Potencia: 110 Kw, 147 CV Peso operativo: 24 ton Velocidad máxima: 5,7 km/h Anchura: 2,38 m Altura: 3,03 m Alcance máximo excavación: 11 m	
<b>Colocación de cerchas</b>	Plataforma elevadora tipo Manitou MRT-1440	Altura máxima de elevación: 13,80 m Longitud: 6,260 m Ancho: 3,975 m Altura: 2,970 m Peso operativo: 12490 kg	
<b>Proyección de concreto</b>	Robojet de gunitado tipo Putzmeister PM-4210	Alcance máximo: 10 m Vehículo diesel Longitud: 7100 mm, Anchura: 2000 mm, Altura: 2500 mm Potencia del motor 55 kW. Vel: 0-20 km/h	
<b>Colocación de bulones</b>	Jumbo de tres brazos tipo atlas Copco Rocket Boomer E3C	Mismo equipo empleado en la excavación mediante perforación y voladura.	
<b>Desescombro</b>	Pala cargadora frontal tipo Komatsu WA430	Capacidad del cazo: 3,3-4,2 m <sup>3</sup> Potencia: 173 kW, 232 HP Peso operativo: 20.000 kg Anchura: 2,99 m Altura: 3,39 m	
<b>Transporte de escombros</b>	Camiones 20 ton	Potencia: 201 kW Capacidad de carga: 24 ton Volumen de bañera al ras: 9,4 m <sup>3</sup> Volumen de bañera colmada: 12 m <sup>3</sup> Velocidad máxima: 46 km/h	

ACTIVIDAD	MAQUINARIA	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN MÁQUINA
<b>Transporte de concreto</b>	<i>Camión hormigonera</i>	<i>Capacidad: 6 m<sup>3</sup></i>	

Teniendo en cuenta lo indicado anteriormente, un ejemplo de maquinaria necesaria para ejecutar los nuevos túneles se indica en la Tabla 24.

Tabla 24. Numero equipos excavación túnel

MÁQUINARIA TUNELES	MARCA	MODELO	CARACTERIST	Nº MAQ
<b>Jumbo hidráulico</b>	<i>ATLAS COPCO</i>	<i>E3C</i>	<i>3 brazos</i>	<i>2</i>
<b>Pala cargadora</b>	<i>KOMATSU</i>	<i>WA-430</i>	<i>3-4 m3</i>	<i>2</i>
<b>Retroexcavadora</b>	<i>CAT</i>	<i>321</i>		<i>2</i>
<b>Camiones</b>			<i>20 ton</i>	<i>(S/N)</i>
<b>Plataforma elevadora</b>	<i>MANITOU</i>	<i>MRT-1440</i>		<i>2</i>
<b>Robot de gunitado</b>	<i>PUTZMEISTER</i>	<i>PM-4210</i>	<i>4-8 m<sup>3</sup>/h</i>	<i>2</i>

### 3.2.3.3. Infraestructura asociada al proyecto

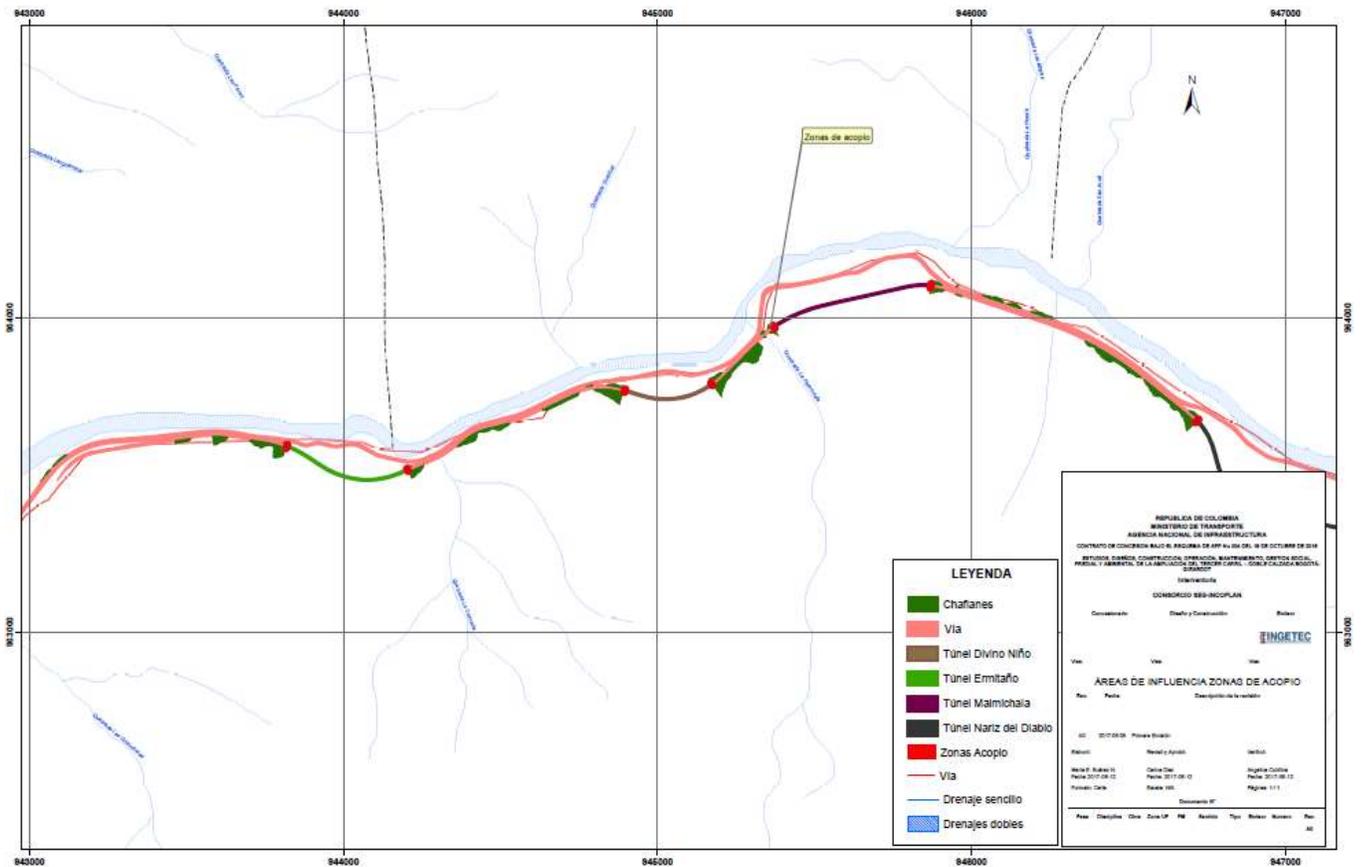
En la Tabla 25 se presenta la descripción de la infraestructura asociada al proyecto de la Unidad Funcional 2.

Tabla 25 Infraestructura asociada al proyecto

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Campamentos	No se instalarán campamentos
Zonas de disposición de material estéril - Zodme	Se presenta una zona de disposición de material estéril localizada en el predio de propiedad del señor Luis Parada frente a Piscilago. El área total del zodme corresponde a 22,95 ha.
Fuentes de materiales	La adquisición de materiales necesarios para las actividades de rehabilitación, ampliación a tercer carril y construcción de túneles cortos será realizada a proveedores que cumplan con los permisos ambientales y mineros correspondientes.  En la Figura 24 se presenta la localización de las fuentes de materiales presentes en la zona.
Plantas de procesos	La adquisición de materiales necesarios para las actividades de rehabilitación, ampliación a tercer carril y construcción de túneles cortos será realizada a proveedores que cumplan con los permisos ambientales y mineros correspondientes.
Zonas de acopio	La zona de acopio de materiales se realizará en los portales de los túneles. (Véase Figura 25)



Figura 25 Localización Zonas de Acopio (Portales de túneles)



Fuente: INGETEC. 2017

### 3.2.3.4. Infraestructura y servicios interceptados por el proyecto

En la Tabla 26 se presenta la relación de la infraestructura y servicios interceptados por el proyecto.

Tabla 26 Infraestructura y servicios interceptados por el proyecto

CÓDIGO	TIPO DE RED	COORDENADAS		EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN
		LATITUD	LONGITUD		
UF-2 RS 756	Energía	4° 15' 43.8444" N	74° 33' 1.0260" W	CODENSA ECC	NO ESPECIFICA
UF-2 RS 757	Energía	4° 15' 44.0820" N	74° 33' 0.8964" W	CODENSA ECC	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 758	Energía	4° 15' 44.4816" N	74° 33' 1.8612" W	CODENSA ECC	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 759	Energía	4° 15' 45.1260" N	74° 33' 2.4264" W	CODENSA ECC	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 760	Energía	4° 15' 45.6048" N	74° 33' 2.0592" W	CODENSA ECC	(vi) Otros: No presenta afectación por trazado
UF-2 RS 761	Energía	4° 15' 44.0712" N	74° 33' 2.8008" W	CODENSA ECC	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 762	Energía	4° 15' 44.5356" N	74° 33' 3.4200" W	CODENSA ECC	(vi) Otros: No presenta afectación por trazado

CÓDIGO	TIPO DE RED	COORDENADAS		EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN
		LATITUD	LONGITUD		
UF-2 RS 763	Energía	4° 15' 45.4464" N	74° 33' 2.7720" W	CODENSA ECC	(vi) Otros: No presenta afectación por trazado
UF-2 RS 764	Energía	4° 15' 45.0072" N	74° 33' 4.7556" W	CODENSA ECC	(vi) Otros: No presenta afectación por trazado
UF-2 RS 765	Energía	4° 15' 44.9388" N	74° 33' 5.1516" W	CODENSA ECC	(vi) Otros: No presenta afectación por trazado
UF-2 RS 766	Energía	4° 15' 46.1376" N	74° 33' 4.9140" W	CODENSA ECC	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 767	Energía	4° 15' 46.3572" N	74° 33' 5.9580" W	CODENSA ECC	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 795	Energía	4° 15' 44.2404" N	74° 32' 58.7724" W	CODENSA ECC	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 796	Energía	4° 15' 44.4888" N	74° 32' 58.7616" W	CODENSA ECC	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 797	Energía	4° 15' 44.9640" N	74° 32' 59.3628" W	CODENSA ECC	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 798	Energía	4° 15' 45.6012" N	74° 33' 0.5508" W	CODENSA ECC	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 799	Energía	4° 15' 46.0368" N	74° 33' 0.7560" W	CODENSA ECC	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 800	Energía	4° 15' 46.6920" N	74° 33' 1.9872" W	CODENSA ECC	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 801	Energía	4° 15' 46.9872" N	74° 33' 2.2860" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 802	Energía	4° 15' 46.6020" N	74° 33' 2.8584" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 803	Energía	4° 15' 48.4380" N	74° 33' 4.8996" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 804	Energía	4° 15' 48.8376" N	74° 33' 4.6512" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 805	Energía	4° 15' 48.8592" N	74° 33' 5.1084" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 806	Energía	4° 15' 53.6868" N	74° 33' 7.2936" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 807	Energía	4° 15' 57.5892" N	74° 33' 10.4040" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 808	Energía	4° 15' 56.8548" N	74° 33' 12.1212" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 809	Energía	4° 15' 57.4020" N	74° 33' 13.4568" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 810	Energía	4° 16' 1.0344" N	74° 33' 15.0012" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 811	Energía	4° 16' 2.0388" N	74° 33' 17.1468" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 812	Energía	4° 16' 8.0256" N	74° 33' 20.8296" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 813	Energía	4° 16' 8.9580" N	74° 33' 22.7052" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 814	Energía	4° 16' 9.6780" N	74° 33' 22.6764" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 815	Energía	4° 16' 5.9232" N	74° 33' 29.6892" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 816	Energía	4° 16' 7.7268" N	74° 33' 31.3524" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia

CÓDIGO	TIPO DE RED	COORDENADAS		EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN
		LATITUD	LONGITUD		
UF-2 RS 817	Energía	4° 16' 7.7520" N	74° 33' 31.4640" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 818	Energía	4° 16' 9.3576" N	74° 33' 33.8652" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 819	Energía	4° 16' 11.3376" N	74° 33' 36.6948" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 820	Energía	4° 16' 11.4564" N	74° 33' 36.7056" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 821	Energía	4° 16' 12.5688" N	74° 33' 39.2040" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 822	Energía	4° 16' 12.9252" N	74° 33' 40.4028" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 823	Energía	4° 16' 13.6704" N	74° 33' 42.2244" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 824	Energía	4° 16' 13.7208" N	74° 33' 42.3072" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 825	Energía	4° 16' 12.5580" N	74° 33' 42.6780" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 826	Energía	4° 16' 12.9936" N	74° 33' 43.1280" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 827	Energía	4° 16' 13.8432" N	74° 33' 42.8436" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 828	Energía	4° 16' 14.1240" N	74° 33' 42.8652" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 829	Energía	4° 16' 13.9656" N	74° 33' 44.0208" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 830	Energía	4° 16' 14.4336" N	74° 33' 44.2800" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 831	Energía	4° 16' 14.8332" N	74° 33' 46.1412" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 832	Energía	4° 16' 14.9916" N	74° 33' 46.3140" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 833	Energía	4° 16' 15.0744" N	74° 33' 46.1772" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 834	Energía	4° 16' 15.1824" N	74° 33' 47.5308" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 835	Energía	4° 16' 15.4668" N	74° 33' 47.7144" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 836	Energía	4° 16' 16.1904" N	74° 33' 49.4640" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 837	Energía	4° 16' 15.9492" N	74° 33' 49.4100" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 838	Energía	4° 16' 16.4028" N	74° 33' 50.7420" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 839	Energía	4° 16' 16.8348" N	74° 33' 51.2388" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 840	Energía	4° 16' 16.9356" N	74° 33' 52.8192" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 841	Energía	4° 16' 18.1380" N	74° 33' 53.4924" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 842	Energía	4° 16' 20.2044" N	74° 33' 55.6128" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 843	Energía	4° 16' 20.3412" N	74° 33' 55.8360" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia

CÓDIGO	TIPO DE RED	COORDENADAS		EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN
		LATITUD	LONGITUD		
UF-2 RS 844	Energía	4° 16' 20.1792" N	74° 33' 58.7052" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 845	Energía	4° 16' 19.2900" N	74° 33' 59.9544" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 846	Energía	4° 16' 19.1820" N	74° 34' 0.4944" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 847	Energía	4° 16' 18.3288" N	74° 34' 3.3564" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 848	Energía	4° 16' 18.0948" N	74° 34' 6.6144" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 849	Energía	4° 16' 16.9968" N	74° 34' 9.9948" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 850	Energía	4° 16' 17.5548" N	74° 34' 13.1484" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 851	Energía	4° 16' 17.3892" N	74° 34' 13.7172" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 852	Energía	4° 16' 17.3568" N	74° 34' 13.7532" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 853	Energía	4° 16' 17.5224" N	74° 34' 14.0556" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 854	Energía	4° 16' 12.2484" N	74° 34' 14.3184" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 855	Energía	4° 16' 9.0048" N	74° 34' 16.0068" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 856	Energía	4° 16' 7.9320" N	74° 34' 18.5772" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 857	Energía	4° 16' 8.1372" N	74° 34' 18.7176" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 858	Energía	4° 16' 8.2740" N	74° 34' 19.7184" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 859	Energía	4° 16' 8.2488" N	74° 34' 22.1988" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 860	Energía	4° 16' 7.7088" N	74° 34' 24.6720" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 861	Energía	4° 16' 7.6080" N	74° 34' 24.7152" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 862	Energía	4° 16' 7.3776" N	74° 34' 28.3008" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 863	Energía	4° 16' 6.2544" N	74° 34' 31.6812" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 864	Energía	4° 16' 6.1752" N	74° 34' 32.3076" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 865	Energía	4° 16' 3.9792" N	74° 34' 36.0588" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 866	Energía	4° 16' 3.9252" N	74° 34' 36.0192" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 867	Energía	4° 16' 3.9684" N	74° 34' 36.0660" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 868	Energía	4° 15' 59.7888" N	74° 34' 33.6072" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia

CÓDIGO	TIPO DE RED	COORDENADAS		EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN
		LATITUD	LONGITUD		
UF-2 RS 869	Energía	4° 16' 1.0236" N	74° 34' 34.0824" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 870	Energía	4° 16' 1.4196" N	74° 34' 33.2832" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 871	Energía	4° 16' 1.4592" N	74° 34' 33.0420" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 872	Energía	4° 16' 1.7544" N	74° 34' 33.1212" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 873	Energía	4° 16' 2.1684" N	74° 34' 33.3156" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 874	Energía	4° 16' 2.4780" N	74° 34' 32.8728" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 875	Energía	4° 16' 3.2592" N	74° 34' 32.9268" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 876	Energía	4° 16' 3.1836" N	74° 34' 33.2868" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 877	Energía	4° 16' 3.4860" N	74° 34' 34.0752" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 878	Energía	4° 16' 3.4572" N	74° 34' 35.1804" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 879	Energía	4° 16' 3.3060" N	74° 34' 36.4080" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 880	Energía	4° 16' 3.2700" N	74° 34' 38.6184" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 881	Energía	4° 16' 3.4176" N	74° 34' 38.5644" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 882	Energía	4° 16' 3.3852" N	74° 34' 38.7084" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 883	Energía	4° 16' 1.4628" N	74° 34' 42.6468" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 884	Energía	4° 16' 1.6248" N	74° 34' 42.6576" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 885	Energía	4° 16' 1.8012" N	74° 34' 42.8448" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 886	Energía	4° 16' 1.6644" N	74° 34' 43.1004" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 887	Energía	4° 16' 0.9804" N	74° 34' 43.9248" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 888	Energía	4° 15' 59.7456" N	74° 34' 43.7304" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 889	Energía	4° 15' 59.6844" N	74° 34' 45.6240" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 890	Energía	4° 15' 59.7276" N	74° 34' 45.7140" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 891	Energía	4° 15' 59.1912" N	74° 34' 46.6428" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 892	Energía	4° 15' 59.7420" N	74° 34' 51.1140" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 893	Energía	4° 16' 0.6528" N	74° 34' 53.4648" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.

CÓDIGO	TIPO DE RED	COORDENADAS		EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN
		LATITUD	LONGITUD		
UF-2 RS 894	Energía	4° 16' 0.9120" N	74° 34' 54.0804" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 895	Energía	4° 16' 0.8472" N	74° 34' 56.9784" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 896	Energía	4° 16' 1.0596" N	74° 34' 57.8316" W	CODENSA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 897	Energía	4° 16' 1.8948" N	74° 35' 5.8200" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 898	Energía	4° 16' 1.8480" N	74° 35' 7.0764" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 899	Energía	4° 16' 2.0172" N	74° 35' 8.2716" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 900	Energía	4° 16' 1.5672" N	74° 26' 39.9228" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 901	Energía	4° 16' 1.5960" N	74° 35' 13.0164" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 902	Energía	4° 16' 1.4952" N	74° 35' 14.0244" W	CODENSA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 903	Energía	4° 16' 1.5060" N	74° 35' 14.7408" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 904	Energía	4° 16' 1.4304" N	74° 35' 15.5508" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 905	Energía	4° 16' 1.3548" N	74° 35' 16.2780" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 906	Energía	4° 16' 1.2324" N	74° 35' 18.0960" W	CODENSA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 907	Energía	4° 16' 1.0812" N	74° 35' 18.4056" W	ENERTOLIMA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 908	Energía	4° 16' 0.6888" N	74° 35' 21.4548" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 909	Energía	4° 16' 0.5772" N	74° 35' 21.5664" W	ENERTOLIMA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 910	Energía	4° 15' 59.7960" N	74° 35' 23.1468" W	ENERTOLIMA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 911	Energía	4° 15' 59.8032" N	74° 35' 23.3628" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 912	Energía	4° 15' 58.5972" N	74° 35' 24.5400" W	ENERTOLIMA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 913	Energía	4° 15' 58.2624" N	74° 35' 24.9180" W	ENERTOLIMA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 914	Energía	4° 15' 56.7900" N	74° 35' 26.3508" W	ENERTOLIMA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 915	Energía	4° 15' 56.3400" N	74° 35' 26.5992" W	ENERTOLIMA	(ii) Protección durante construcción de la Red.
UF-2 RS 916	Energía	4° 15' 56.0052" N	74° 35' 26.9016" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: (Explicar) No se encuentra dentro de la zona de interferencia
UF-2 RS 917	Energía	4° 15' 59.8644" N	74° 35' 13.9200" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 918	Energía	4° 15' 59.6484" N	74° 35' 15.2052" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 919	Energía	4° 15' 59.8140" N	74° 35' 16.1952" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 920	Energía	4° 15' 59.8536" N	74° 35' 17.5380" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS	Energía	4° 15' 59.7600" N	74° 35' 18.5712" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN

CÓDIGO	TIPO DE RED	COORDENADAS		EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN
		LATITUD	LONGITUD		
921					
UF-2 RS 922	Energía	4° 15' 59.5332" N	74° 35' 19.7124" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 923	Energía	4° 15' 59.0364" N	74° 35' 21.7752" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 924	Energía	4° 15' 59.1588" N	74° 35' 21.7356" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 925	Energía	4° 15' 58.6836" N	74° 35' 22.8804" W	ENERTOLIMA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 926	Energía	4° 15' 57.8844" N	74° 35' 23.7336" W	ENERTOLIMA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 927	Energía	4° 15' 57.1176" N	74° 35' 24.4752" W	ENERTOLIMA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 928	Energía	4° 15' 56.1960" N	74° 35' 25.1052" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 929	Energía	4° 15' 55.3140" N	74° 35' 26.0844" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 930	Energía	4° 15' 53.9064" N	74° 35' 26.3904" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 931	Energía	4° 15' 54.4428" N	74° 35' 26.9304" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 932	Energía	4° 15' 53.6256" N	74° 35' 27.6360" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 933	Energía	4° 15' 52.9776" N	74° 35' 27.6576" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 934	Energía	4° 15' 52.7616" N	74° 35' 28.4388" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 935	Energía	4° 15' 52.0596" N	74° 35' 27.9816" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 936	Energía	4° 15' 51.6240" N	74° 35' 27.7476" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 937	Energía	4° 15' 51.8832" N	74° 35' 29.1120" W	ENERTOLIMA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 1013	Energía	4° 15' 54.6804" N	74° 35' 27.7728" W	ENERTOLIMA	(i) Traslado definitivo de la Red.
UF-2 RS 1014	Energía	4° 15' 54.5184" N	74° 35' 28.1040" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 1015	Telecomunicaciones	4° 15' 53.6904" N	74° 35' 28.7160" W	NR	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 1016	Energía	4° 15' 53.8956" N	74° 35' 28.6476" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 1017	Energía	4° 15' 53.5824" N	74° 35' 29.0760" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 1018	Energía	4° 15' 53.5644" N	74° 35' 29.0364" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 1019	Energía	4° 15' 53.0496" N	74° 35' 29.3028" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 1020	Energía	4° 15' 52.8660" N	74° 35' 29.5116" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 1021	Energía	4° 15' 52.6104" N	74° 35' 29.6664" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 1022	Energía	4° 15' 52.4160" N	74° 35' 29.6484" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN
UF-2 RS 1023	Energía	4° 15' 51.9588" N	74° 35' 30.2352" W	ENERTOLIMA	(vi) Otros: SIN AFECTACIÓN

### 3.2.4. Insumos del proyecto

En la Tabla 27 se presenta el resumen de cantidades para corte y relleno de esta Unida Funcional y en la Tabla 28 se presentan las cantidades de materiales.

Tabla 27 Resumen cantidades movimiento de tierras UF-2

TRAMO	LONGITUD (km)	VOL. CORTE (m³)	VOL. RELLENO (m³)	VOL. DESCAPOTE (m³)
Eje principal	5.05	404619	19716	13916
Eje Auxiliar	0.68	1341	1020	701
Eje Rehabilitación 1	0.52	408	277	156
Eje Rehabilitación 2	0.55	18	212	55
Eje Rehabilitación 3	0.86	64	672	79
Eje Rehabilitación 4	1.34	1173	3835	719
Eje Rehabilitación 5	0.59	1244	0	0
Eje Rehabilitación 6	0.3	716	561	234

Tabla 28 Resumen cantidades de materiales UF-2

TRAMO	LONGITUD (km)	CARPETA ASFÁLTICA (m3)	BASE (m3)	SUBBASE (m3)	FRESADO (m3)	CUNETAS (m3)
Eje principal	5.05	16071	13775	22958		408
Eje Auxiliar	0.68	2931	955	1273		0
Eje Rehabilitación 1	0.52	1516	248	387	206	7
Eje Rehabilitación 2	0.55	2384	253	413	179	0
Eje Rehabilitación 3	0.86	4096	317	508	363	7
Eje Rehabilitación 4	1.34	5033	1367	2279	514	24
Eje Rehabilitación 5	0.59	1507	0	0	215	0
Eje Rehabilitación 6	0.3	744	105	141	106	13

En el ANEXO B 2 se presenta la cartera de las cantidades de materiales de la Unidad Funcional 2.

#### 3.2.4.1. Uso de explosivos

De acuerdo con las características geológicas y geotécnicas del material atravesado por los nuevos túneles, se considera que el método de perforación y voladura es el más adecuado para la excavación de las zonas de roca con RMR superior a 30.

Los túneles se han previsto excavarlos en dos fases (bóveda y banca). La longitud máxima del pase de excavación será también función del tipo de terreno.

#### 3.2.4.1.1. Ciclo básico de excavación

El ciclo básico de excavación mediante perforación y disparo previsto se compone de las siguientes operaciones:

- Perforación: Para la ejecución de los barrenos de la voladura se utilizarán jumbos hidráulicos robotizados con tres brazos. El funcionamiento de estos jumbos es eléctrico cuando están estacionados en su posición de trabajo.
- Carga de explosivo: La carga de explosivo se realizará mediante cargas preformadas, colocando los cartuchos sobre vainas de plástico rajadas longitudinalmente.
- Voladura: Una vez cargados los taladros se efectuará la pega según la secuencia y las cargas diseñadas en los esquemas de voladura.
- Ventilación: Tras la voladura se esperará el tiempo necesario para la evacuación de los gases producidos.
- Desescombro: El desescombro se realizará con palas cargadoras que cargan en el frente sobre camiones de 20 ton
- Colocación del sostenimiento: Tras la proyección de la capa de sellado se colocarán los bulones y las cerchas del sostenimiento, completando posteriormente el concreto lanzado.

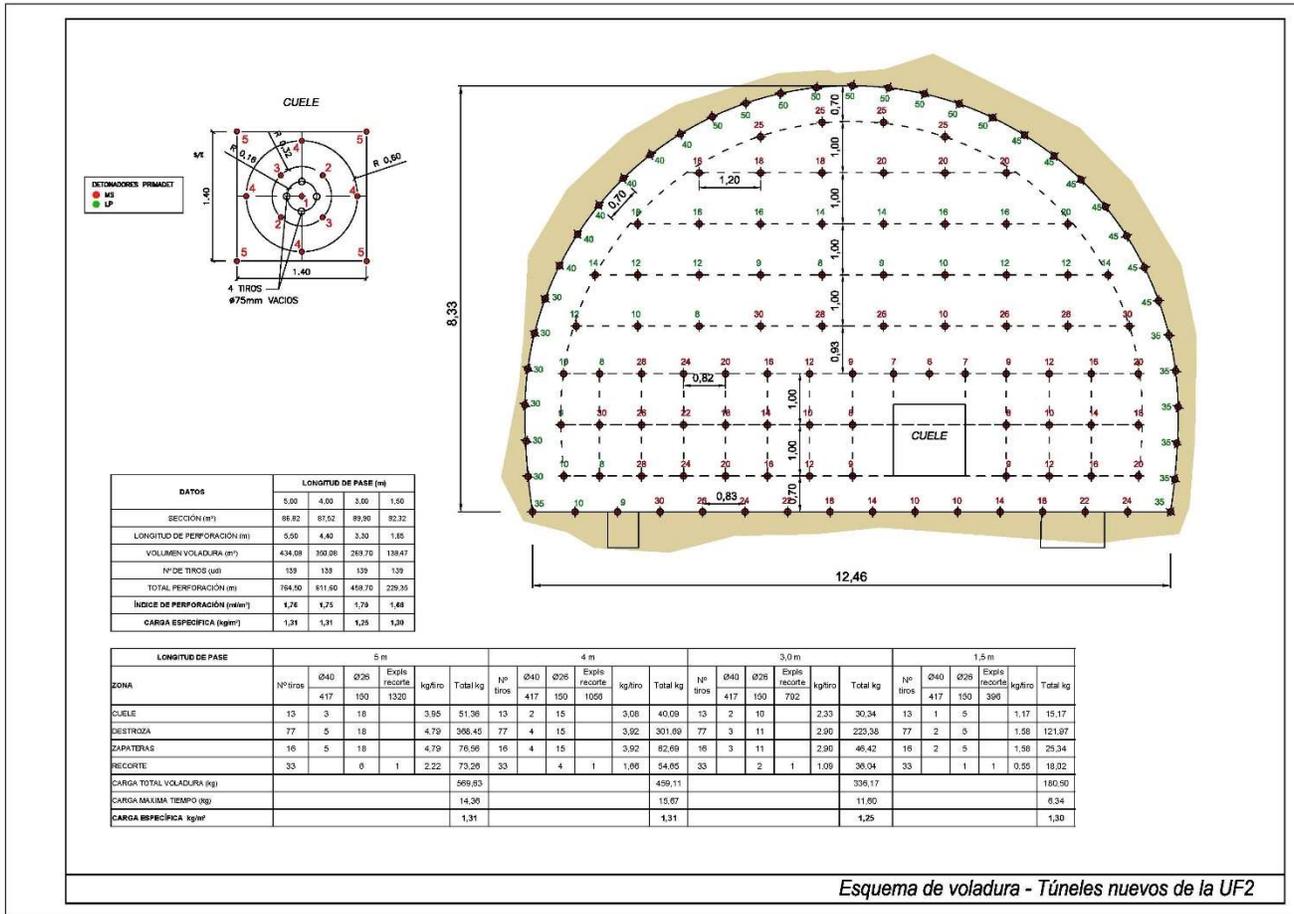
Una vez determinados los consumos por voladura del material de perforación (característico de cada tipo de roca y explosivo) se suministrarán el número necesario de los mismos.

#### 3.2.4.1.2. Esquemas de voladura

Las voladuras en túneles se caracterizan por no existir inicialmente ninguna superficie de salida salvo el propio frente de excavación, por lo que las pegas se efectuarán en condiciones de gran confinamiento. El principio de ejecución se basa en crear un hueco libre con los barrenos del cuele y contracuele hacia el cual rompen las cargas restantes de la sección.

A continuación se incluye un esquema aproximado de voladura en el que se ha tenido en cuenta que el principal inconveniente que presenta el arranque con explosivos es que los perfiles de excavación son mucho más irregulares, tratando de disminuirlo con el espaciamiento de los barrenos.

Figura 26. Esquema de voladura



Las voladuras se cargarán según el plan de tiro en el cual se reflejará la situación de los detonadores, así como la carga que lleva cada taladro.

Teniendo en cuenta las características del macizo rocoso que se va a excavar, si hay posibilidad de suministro, se ha previsto utilizar explosivos encartuchados. Como carga de fondo se utilizarán cartuchos de 40 mm sin embargo, como carga de columna el diámetro de los cartuchos será de 26 mm.

Para las labores de precorte en las cuales se requiere una concentración de carga no excesiva con el objeto de no dañar la roca se utilizará también explosivos gelatinosos o hidrogeles específicos para tiros de precorte o recorte, si hay disponibilidad, con una concentración de carga de 380 g/m en el fondo del taladro y 200 g/m en el resto del taladro, que consiste en una vaina rígida con manguitos de acoplamiento con aletas. Para estos tiros como carga de fondo se utilizarán cartuchos de 26 mm.

En relación con lo anteriormente indicado cabe señalar que, dado que el mercado de los explosivos en Colombia presenta una serie de condicionantes específicos para la obtención de permisos, almacenamiento de explosivos, etc., los diseños anteriormente indicados se adaptarán en fases posteriores del proyecto a los requerimientos o particularidades que pudieran presentarse a la hora de garantizar un suministro continuo de explosivos que posibilite el correcto desarrollo de los trabajos.

### 3.2.4.1.3. Suministro, gestión y almacenaje de explosivos

Inicialmente se prevé la construcción de dos polvorines, uno a cada lado de la obra, pudiendo situarse en el entorno de las zonas de portal de los túneles Ermitaño y Nariz del Diablo. Tanto el polvorín como la seguridad del mismo deben ser aprobados por el DCCA (Departamento de Control del Comercio de Armas Municiones y Explosivos), Aprobación sin la cual no se podrá realizar suministro alguno de explosivos. Se adjunta ejemplo de instalación:

Figura 27. Ejemplo De Una Zona De Almacenamiento De Explosivos En Colombia



Con base en el número de transportes que el DCCA permita realizar mensualmente, y considerando la velocidad de perforación y el número de frentes de ataque (2 equipos a priori), se dimensionará el polvorín y el almacenaje de explosivos, para evitar que se pueda dar una situación en la que el frente de excavación no disponga de acceso al explosivo.

El fabricante enviará los pedidos de explosivo a su polvorín central de Bogotá, con sus medios de transporte y seguridad. De este polvorín al de obra se transportará con sus medios, y con escolta militar. Una vez en el polvorín de obra, la vigilancia y transporte interior de obra corresponde al consorcio.

Para la vigilancia, se prevé contar con una empresa de seguridad que vigilará el polvorín 24 h/d, 7 días/semana, y escoltará todos los transportes interiores de obra hasta la entrega en el punto de utilización al responsable artillero que realizará la carga, esperando a realizar su consumo, devolviendo al polvorín también escoltadas las cantidades que sean sobrantes.

### 3.2.4.1.4. Estudio de vibraciones

Existen diferentes normativas internacionales y criterios de prevención de riesgos frente a las vibraciones que producen las voladuras. En el estudio realizado para los túneles se adoptará la Norma UNE 22-381-93 como criterio de prevención de riesgos.

Dicha norma determina los límites máximos admisibles (velocidad de vibración de pico) para la protección de estructuras en función del tipo de estructura a proteger y de las características del macizo rocoso (frecuencia de transmisión del macizo).

Clasificación de estructuras según la norma UNE 22-381-93:

- Grupo I: Edificios y naves industriales ligeras con estructuras de hormigón armado o metálicas
- Grupo II: Edificios de viviendas, oficinas, centros comerciales y de recreo, cumpliendo la normativa legal vigente. Edificios y estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que por su fortaleza no presentan especial sensibilidad a las vibraciones.
- Grupo III: Estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que presenten una especial sensibilidad a las vibraciones por ellas mismas o por elementos que pudieran contener.

Los umbrales de perturbación se establecen en función de la frecuencia principal de vibración y tipo de estructura a proteger, utilizando como parámetro de medida la velocidad de partícula, aunque en el intervalo de frecuencias de 15 a 75 Hz se utilice el parámetro de desplazamiento. En ambos casos se refiere al valor de pico de la mayor componente de la velocidad de vibración medido en el terreno.

En la Tabla 29 se resume las velocidades máximas admisibles en función del tipo de estructura a proteger y de la frecuencia del terreno.

Tabla 29. Velocidades admisibles

TIPO DE ESTRUCTURA	FRECUENCIAS PRINCIPALES (Hz)		
	2 - 15	15 - 75	> 75
	Velocidad (mm/s)	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)
<b>Grupo I</b>	20	0,212	100
<b>Grupo II</b>	9	0,095	45
<b>Grupo III</b>	4	0,042	20

Analizado el trazado de los túneles del proyecto, a priori, la principal estructura que puede verse afectada por vibraciones se trata del túnel de Sumapaz y la carretera que discurren cercanos al trazado del proyecto.

De forma general, los túneles existentes suelen ser englobados dentro del Grupo II, y basándose en datos históricos y bibliografía, la frecuencia de un macizo rocoso similar al existente suele ser superior a 75 Hz. Con esta frecuencia se concluye que la velocidad máxima admisible para su protección sería de 45 mm/s.

La determinación de las tablas de carga distancia se realiza en función de los datos obtenidos en el apartado precedente, considerando:

- Ley de transmisividad  $v = 3.085 \cdot K^{0,76} \cdot D^{-1,65}$  (ley de transmisividad obtenida según la experiencia en terrenos similares)
- Para una frecuencia de 75 Hz (Velocidades máximas admisibles de 20 mm/s, 45 mm/s y 100 mm/s)

En conclusión, según la tabla de carga-distancia que se incluye a continuación, en función del tipo de estructura y de la distancia entre ésta y la voladura, si durante las voladuras se emplean cargas instantáneas (número de barrenos detonados con el mismo retardo) con valores inferiores a los mostrados en las tablas, no se producirían afecciones por vibraciones, lo que puede lograrse utilizando detonadores NONEL (no eléctricos):

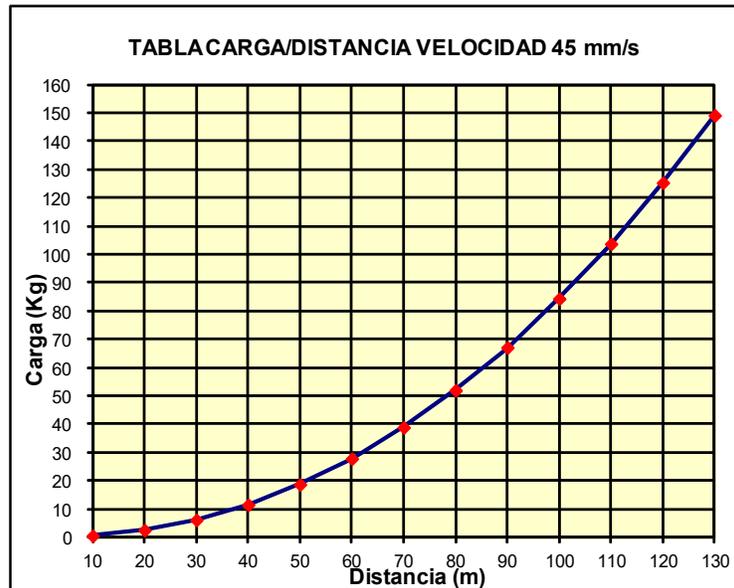
Tabla 30. Tabla de cargas-distancias para estructuras del Grupo II, con una velocidad de transmisión de 45 mm/s

LEY DE TRANSMISIVIDAD DE MACIZO ROCOSO  
VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE = 45 mm/s

$$V = KQ^\alpha D^{-\beta}$$

V	45
K	3085
$\alpha$	0,76
$\beta$	1,65

D (m)	Q (Kg)
10	0,57
20	2,56
30	6,18
40	11,54
50	18,74
60	27,84
70	38,90
80	51,98
90	67,13
100	84,38
110	103,78
120	125,36
130	149,15

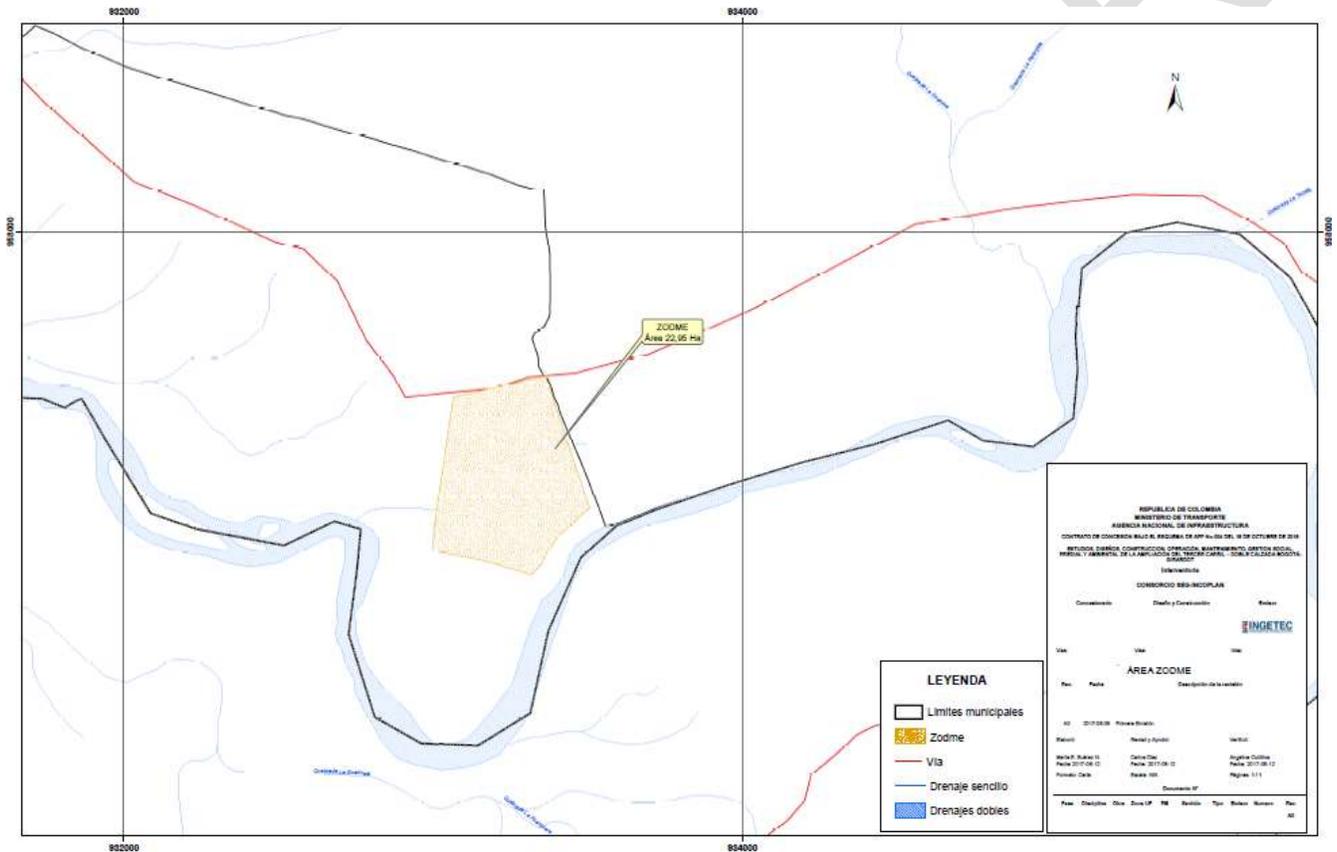


### 3.2.5. Manejo y disposición de materiales sobrantes de excavación y de construcción y demolición.

La totalidad del material sobrante de excavación será trasladado y dispuesto en el zodme localizado en el predio del señor Luis Parada (933354,09E, 957218,14N), ubicado en el PK 20+200 vía Melgar – Girardot frente a la unidad recreativa de Colsubsidio – Piscilago, jurisdicción de la vereda La Esmeralda, municipio de Nilo, departamento de Cundinamarca.

La cantidad de material sobrante corresponde a 948.130 m<sup>3</sup>, volumen a disponer en el zodme del predio del señor Luis Parada. La ruta a seguir para el transporte de este material corresponde a la vía Nacional que comunica el sector del Boquerón con Girardot.

Figura 28 Localización Zodme del proyecto



Fuente: INGETEC. 2017

### 3.2.6. Costos del proyecto

Los costos de construcción (Costo Directo) correspondientes a la Unidad Funcional 2, ascienden a la suma de \$189,870 Millones de COP.

### 3.2.7. Cronograma del proyecto

En el ANEXO B 3 se presenta el cronograma del proyecto para las fases de preconstrucción, construcción y cierre.

## **ANEXOS**

ANEXO B 1 PLANOS DE DISEÑO

ANEXO B 2 CANTIDADES DE MATERIALES

ANEXO B 3 CRONOGRAMA

PRELIMINAR