



GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA

2013

# ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL ACTUALIZADO

CONEXIÓN VIAL ABURRÁ - ORIENTE



CONCESIÓN  
TUNEL ABURRÁ-ORIENTE S.A.

CAPÍTULO 2 – DESCRIPCIÓN DEL  
PROYECTO



## ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL ACTUALIZADO



### CONSULTORES PARTICIPANTES:


## TABLA DE CONTENIDO

2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	2-4
2.1	Localización.....	2-4
2.1	Justificación del Proyecto .....	2-5
2.2	Características del proyecto .....	2-6
2.2.1	Diseño Vial.....	2-7
2.2.2	Puentes y Estructuras.....	2-16
2.2.3	Muros de Contención .....	2-20
2.2.4	Túneles .....	2-23
2.2.5	Plazoletas en los portales .....	2-39
2.2.6	Edificios de Control.....	2-47
2.2.7	Diseños Hidrosanitarios.....	2-49
2.2.8	Equipos Mecánicos.....	2-52
2.2.9	Sistemas de presurización de subestaciones, nichos y conexiones peatonales y vehiculares .....	2-56
2.2.10	Instalaciones Eléctricas .....	2-58
2.2.11	Sistema de supervisión, control y comunicaciones del túnel (SCC).....	2-61
2.2.12	Señalización .....	2-67
2.3	Infraestructura Asociada al Proyecto .....	2-67
2.3.1	Locaciones de carácter logístico.....	2-67
2.3.2	Vías Industriales.....	2-69
2.3.3	Restitución de vías de acceso.....	2-76
2.3.4	Zonas de Acopio .....	2-77
2.3.5	Disposición de Material Excedente en el Proyecto .....	2-78
2.3.6	Fuentes de Materiales .....	2-84
2.3.7	Plantas de Concreto y de Trituración .....	2-86
2.4	Actividades del proyecto .....	2-87
2.4.1	Etapa de Preconstrucción.....	2-87
2.4.2	Etapa de Construcción.....	2-89
2.5	Cronograma del Proyecto.....	2-93
2.6	Costos .....	2-93
2.7	Estructura organizacional .....	2-93

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 2-1 - Criterios de diseño para cada calzada .....	2-10
Tabla 2-2 - Longitud crítica en tangentes verticales .....	2-12
Tabla 2-3 - Volumen estimado de remoción de descapoté.....	2-13
Tabla 2-4 - Volumen estimado de cortes y llenos .....	2-13
Tabla 2-5 - Sectorización Vía Acceso Occidental Túnel Santa Elena .....	2-13
Tabla 2-6 - Taludes vía acceso oriental.....	2-15
Tabla 2-7 - Lista de los puentes de la Conexión Vial Aburra Oriente .....	2-16
Tabla 2-7 – Listado de Muros del Proyecto .....	2-20
Tabla 2-8 - Geometría de los muros de concreto .....	2-22
Tabla 2-9 - Equipos para el proyecto.....	2-38
Tabla 2-10- Dimensiones obras hidráulicas Portal Oriental .....	2-44
Tabla 2-11 - Tratamientos de taludes de los portales .....	2-44
Tabla 2-12 - Nichos del Túnel Santa Elena.....	2-56
Tabla 2-13 - conexiones peatonales Túnel de Santa Elena.....	2-56
Tabla 2-14 - Distancias Redes eléctricas.....	2-59
Tabla 2-15 - Volumen de material de excavación sobrante .....	2-78
Tabla 2-16 - Depósitos identificados en el EIA 2000 .....	2-79
Tabla 2-17 - Depósitos para el proyecto Conexión Vial Aburrá - Oriente .....	2-79
Tabla 2-18 - Fuentes de materiales de construcción.....	2-84
Tabla 2-19 - Costos Resumidos del Proyecto.....	2-93

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 2-1 - Sectorización del proyecto .....	2-5
Figura 2-2 - Visual del trazado del Sector 1 .....	2-7
Figura 2-3 - Alineamiento Sector 2 .....	2-9
Figura 2-4 - Visual del Sector 4 .....	2-10
Figura 2-5 - Sección típica de las vías .....	2-11
Figura 2-6 – Sección transversal puentes viga y losa.....	2-19
Figura 2-7 - Esquema con dimensiones usadas para la definición de la geometría de los muros en concreto. 2-22	2-22
Figura 2-8 - División de la sección de excavación en 2 secciones.....	2-29
Figura 2-9 - División de la sección de excavación en 3 secciones.....	2-29
Figura 2-10 - Argolla para lectura de convergencia.....	2-37
Figura 2-11 - Estación para mediciones de convergencia .....	2-38
Figura 2-12 - Plazoleta Portal Palmas - Túnel Seminario .....	2-39
Figura 2-13 - Plazoleta Portal Occidental - Túnel Santa Elena.....	2-40
Figura 2-14 - Sección tablestacado y modulación anclajes Box Q. Aguadita.....	2-41
Figura 2-15 - Detalle Plazoleta Portal Occidental Túnel Santa Elena .....	2-42
Figura 2-16 - Esquema del sistema de drenaje portal oriental .....	2-43
Figura 2-17 - Esquema de localización y dimensiones de las obras hidráulicas proyectadas. ....	2-44
Figura 2-18. Tratamiento propuesto talud frontal .....	2-45
Figura 2-19. Tratamiento propuesto talud derecho.....	2-46
Figura 2-20. Tratamiento propuesto talud izquierdo .....	2-46
Figura 2-21 - Edificios de Control .....	2-47
Figura 2-22 - Localización general del proyecto. ....	2-70
Figura 2-23 - Vías Industriales Sector Occidental .....	2-71
Figura 2-24 - Vía Industrial Acceso al Depósito .....	2-73
Figura 2-25 - Vía Industrial Portal Palmas Túnel Seminario al Depósito .....	2-75
Figura 2-26 - Vía d Acceso al Seminario Mayor de Medellín .....	2-77
Figura 2-27 - Carreteable de acceso al tanque la Pastora .....	2-77
Figura 2-28 - Ubicación depósito Seminario.....	2-80
Figura 2-29 - Deposito Seminario. Obras hidráulicas de manejo de aguas .....	2-81
Figura 2-30 - Zonas de disposición depósito la Querencia .....	2-84



Elena y la construcción de la segunda calzada de la vía a cielo abierto para acceso al portal Oriental del Túnel Santa Elena.

Es de anotar que las obras incluidas en el trámite de modificación de Licencia Ambiental que se gestiona con el presente Estudio de Impacto Ambiental Actualizado corresponden a las obras a desarrollar en la primera etapa de acuerdo con los diseños de detalle presentados a continuación, aunque la caracterización ambiental de la zona del proyecto y la adquisición predial del mismo se ha realizado para las áreas requeridas en las dos etapas.

Para facilidad en el estudio y localización, el proyecto se ha dividido en los siguientes sectores:

- ♣ Sector 1 correspondiente al intercambio vial Baltimore y al Túnel Seminario
- ♣ Sector 2 correspondiente a la vía a cielo abierto y el acceso occidental.
- ♣ Sector 3 que corresponde al Túnel Santa Elena.
- ♣ Sector 4 donde se ubica el portal oriental y la conexión con la Glorieta de Sajonia.

En la siguiente figura se presenta la sectorización del proyecto.

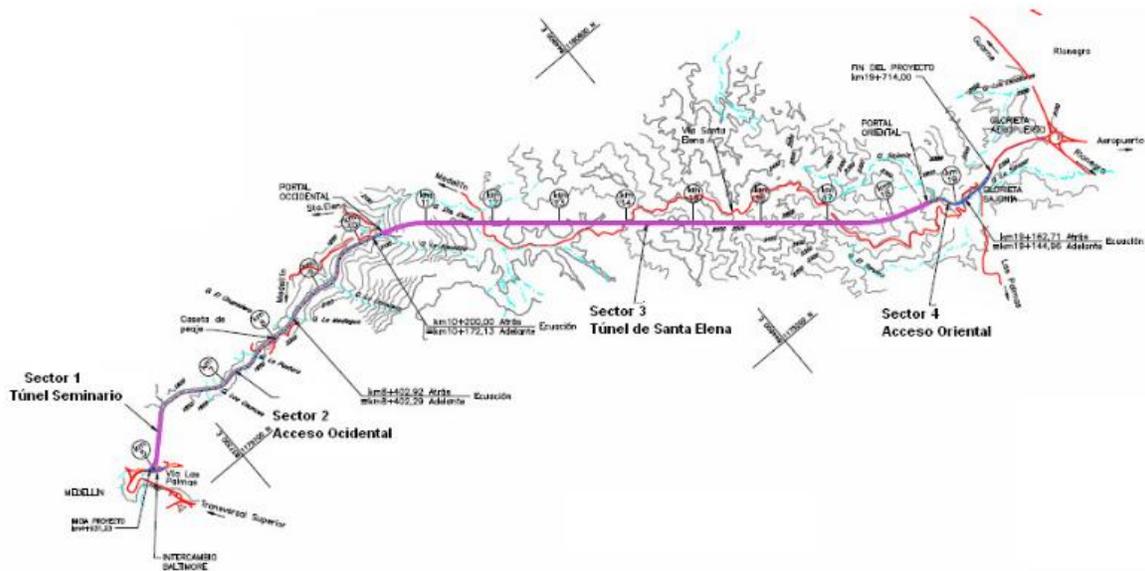


Figura 2-1 - Sectorización del proyecto

## 2.1 Justificación del Proyecto

Debido a la topografía del territorio antioqueño el proyecto pretende mejorar mediante una adecuada conexión vial, integrar las regiones del Valle de Aburrá y del Valle San Nicolás, permitiendo el desarrollo de Antioquia y creando alternativas para los inversionistas que buscan crear nuevas empresas productivas en nuestra región.

La mayor parte de la población y de la actividad productiva del departamento, se ha concentrado en el Valle de Aburrá, y hacia el oriente se encuentra el Valle de San Nicolás, donde se encuentran nueve municipios del departamento los cuales se desarrollan y consolidan como nuevos polos productivos.

Por su cercanía geográfica, se presentan importantes intercambios entre estas dos regiones, limitados por las condiciones topográficas de sus áreas limítrofes, constituidas por un cordón montañoso el cual alcanza cimas superiores a los 2 400 m sobre el nivel del mar.

Adicional a las dificultades para la comunicación vial, hoy se suma un tráfico creciente entre ambas regiones, en parte constituido por el desplazamiento de personas las cuales tienen su sitio de trabajo en una región y su vivienda en la otra. Se espera a futuro que las dos áreas mantengan la tendencia hacia el aumento de sus intercambios, como un proceso natural entre estos núcleos importantes.

La comunicación vial en la actualidad entre el valle de Aburrá y el Altiplano del Oriente Antioqueño se realiza por tres corredores (Vía Medellín – Bogotá, Vía Medellín – Rionegro, por Santa Elena y Doble calzada Las Palmas - Variante Palmas y Las Palmas/La Ceja) y en la actualidad constituyen un conjunto de carreteras nacionales y departamentales con pendientes muy altas y curvaturas mínimas, la cual hace difícil el tránsito de carga y pasajeros generando altos costos de mantenimiento y elevando los costos operativos para los usuarios de éstas vías donde constantemente deben modificar sus rutas a causa de innumerables cierres de ellas.

Mirado desde el punto de vista de las relaciones con el exterior del departamento, el conjunto Valle de Aburrá - Valle de San Nicolás constituye un núcleo importante, tanto poblacional como productivo, cuyo peso en el contexto del país obliga a procurar la mayor eficiencia de los sistemas de transporte, tanto al interior del núcleo regional, como en la comunicación con las otras regiones del país. En vista de lo anterior, resulta urgente nuevas vías, desde tiempo atrás ya estudiadas para permitir obtener condiciones de competitividad, con el fin de evitar los desajustes económicos y sociales a producirse cuando entren en crisis los sistemas de comunicación entre las mismas

## 2.2 Características del proyecto

El objetivo es mejorar la movilidad, con alternativas para vías de alta montaña, con ingeniería moderna de altas especificaciones, seguridad, comodidad, diseños homogéneos en su velocidad, pendientes y alineamientos logrando una conexión cuya ruta está entre los sitios del Baltimore, sobre la doble calzada de Las Palmas y la glorieta de Sajonia en el municipio de Rionegro, evitándose un ascenso hasta los 2.600 metros de altura para cruzar la cordillera. Esta nueva vía se diseñó para una velocidad de 80 km/h; inicialmente tendrá dos carriles de circulación bidireccional que limita la velocidad a 60km/h, pero se prevé un futuro donde se requiera la construcción de la segunda calzada, por el incremento de tránsito, el cual utilizará la conexión en forma unidireccional y a la velocidad de diseño.

A continuación se presentan los diseños definitivos del proyecto Conexión Vial Aburrá – Oriente para la primera etapa del proyecto, discriminando el diseño geométrico de las vías, el diseño estructural de los viaductos, el diseño arquitectónico y estructural de los edificios de control, el alineamiento, diseño y sistema constructivos de los túneles planteados y de sus accesos, las características principales de las obras civiles y de los equipos electromecánicos para ventilación, iluminación y sistema contra incendio del túnel, las obras de suministro de energía, señalización y control para la operación del túnel, el diseño de las obras temporales de construcción tales como vías industriales, campamentos, talleres, etc.

Los diseños del proyecto fueron iniciados en 1966, realizándose revisiones periódicas (más o menos cada cuatro años), destacándose la actualización y optimización realizada en el 2.009 en la que se adecuo el diseño para dar cumplimiento a las directivas y normas internacionales vigentes para túneles, como es la Directiva 2004-54-CE del Parlamento Europeo, en la cual se establece la obligación legal de garantizar la seguridad de los usuarios mediante la construcción, de un segundo tubo paralelo en el Túnel Santa Elena, el cual servirá de área de escape, servicio y ventilación al primer tubo en operación. Este segundo tubo se completará en su estructura y equipo para ponerlo en servicio una vez el tráfico así lo exija, quedando a futuro en servicio los dos tubos con tráfico unidireccional.

## 2.2.1 Diseño Vial

### 2.2.1.1 Generalidades

A continuación se hace una descripción del diseño vial según la sectorización del proyecto mencionada anteriormente:

**Sector 1:** Túnel Seminario. El proyecto parte en el km 4+900 de la actual doble calzada San Diego Las Palmas. Este ingreso está compuesto por el intercambio de Baltimore y un túnel de 786.5 m tal como se puede apreciar en la siguiente figura:



Figura 2-2 - Visual del trazado del Sector 1

**Sector 2:** (Seminario - Portal occidental). El sector está compuesto por una vía a superficie en una longitud de 4,6 km. En el km 8+000 se tiene previsto la ubicación de la caseta de peaje para la dirección Medellín - Rionegro, aprovechando las favorables condiciones topográficas y la pendiente longitudinal del +3,6% de la vía.

En el km 10+305 se localizaría el portal occidental donde empieza el túnel de Santa Elena. La vía se encuentra diseñada para una velocidad de 80 km/h; sin embargo en la primera etapa por las limitaciones de flujo bidireccional en el Túnel Santa Elena se operará la vía a una velocidad de 60 km/h.

El sector 2 Inicia en el k 5+850 en la plazoleta del portal de salida del Túnel Seminario o Portal Marianito (Norte) y continúa sobre la parte media de la vertiente, la altura de los cortes para la conformación de la vía es inferior a 10 m con secciones de excavación en corte, lleno y mixtas, se encuentran cauces medianamente profundos, sin aguas permanentes y con el lecho cubierto por vegetación que serán superados con obras hidráulicas menores como alcantarillas circulares y las quebradas La Cangreja k6+010 y La India k6+240 con alcantarillas de cajón de 1.5\*1.5 m y 2.5\*2.5 m respectivamente. En el k6+640 la vía continúa en corte con algunos taludes no mayores de 14 m e inclinación de taludes al 0,75H:1V con altura de banco e 10 metros y bermas de 3 metros. Continúa la vía y en el k6+834 se encuentra un muro de contención de 8,5 m de altura en una longitud de 34 m para la conformación de la banca. Siguiendo el recorrido en el k7+080 se construirá un puente de tres luces con vigas Gerber, de longitud total 125 m, apoyado en tres estribos con cimentación profunda y muros de contención de cierre en los extremos para sobrepasar algunos cursos de agua intermitentes y de escorrentía encontrados en la zona. Posteriormente, en el k7+380 con el fin de salvar los cruces de otras corrientes intermitentes encontradas en la vía se construirá un puente de 90 m, con vigas tipo Gerber, con dos luces y tres apoyos con cimentación profunda, muros de contención de cierre en los extremos. En este sector aumenta la altura de los cortes con respecto a los tramos anteriores, por lo que se buscó una configuración de taludes de manera que la inclinación de los excavados en el horizonte IC-IIA fuera 0,5H:1,0V, y los excavados en suelo residual tengan una inclinación de 0,75H:1,0V con berma ubicada en la transición suelo roca. Pasando este sector se llega a la Quebrada La pastora en el k7+570 donde se construirá un puente de 110 m de luz, con vigas tipo Gerber, con tres luces y cuatro apoyos con cimentación profunda, muros de contención de cierre en los extremos. Pasando la anterior estructura se encuentra un sector de topografía más empinada y con algunos cortes que pueden alcanzar los 20 metros, por lo que se buscó una configuración de taludes de manera que la inclinación de los excavados en el horizonte IC-IIA fuera 0,5H:1,0V, y los excavados en suelo residual tengan una inclinación de 0,75H:1,0V con bancos de 10 metros y bermas de 3 metros. En el k7+890 se construirá un puente corto de una luz de 36 metros con vigas postensadas. A continuación se llega al sector de la Quebrada El chupadero k8 +150 la cual será superada con un puente de una luz de 55 m, con viga cajón pos-tensadas y dos apoyos con cimentación profunda. Continuando el trazado de la vía se llega al k8+335 en el que se encuentra la quebrada Mediagua la cual se cruza con un puente de 115 m, en voladizos sucesivos, dos luces y tres apoyos con cimentación profunda.

En seguida se encuentra un sector en el que se hay cauces, con y sin aguas permanentes, que serán superados por obras hidráulicas menores como alcantarillas circulares y alcantarillas tipo cajón, como las que se implementarán en las quebradas La Salada en el k8+705 y Ocho de Marzo en el k8+950. Seguidamente en el k9+065 se encuentra la quebrada La Espadera, la cual será superada con un puente de 170 m, con viga Gerber y viga cajón pos-tensada, tres luces y cuatro apoyos con cimentación profunda. A partir de este punto la característica principal de la ladera es la fuerte pendiente a lo largo del alineamiento encontrándose algunas discontinuidades del macizo que requieren de tratamientos especiales para la estabilidad de los taludes, en consideración a estas características en el k9+320 se construirá un viaducto de 522 m en el sector denominado El Chivo, con el fin de evitar altos cortes y estabilizaciones pesadas, este viaducto se construirá con vigas Gerber, voladizos sucesivos y vigas en "I" postensadas, con 10 luces y 11 apoyos con cimentación profunda, terminando el viaducto anterior se llega la zona de la Q. Bocaná en el k10+035, la cual se cruza con un puente de 110 m, en voladizos sucesivos, dos luces y

tres apoyos con cimentación profunda. Seguidamente y con el fin de llegar a la zona del portal occidental del Túnel Santa Elena se tiene un tramo de excavación de vía para llegar a la plazoleta que se conformará sobre una estructura de protección sobre la quebrada La Aguadita en el k10+280, la cual permitirá el acceso al túnel Santa Elena en el k10+305.

En la siguiente figura se puede observar el alineamiento vial del sector 2:

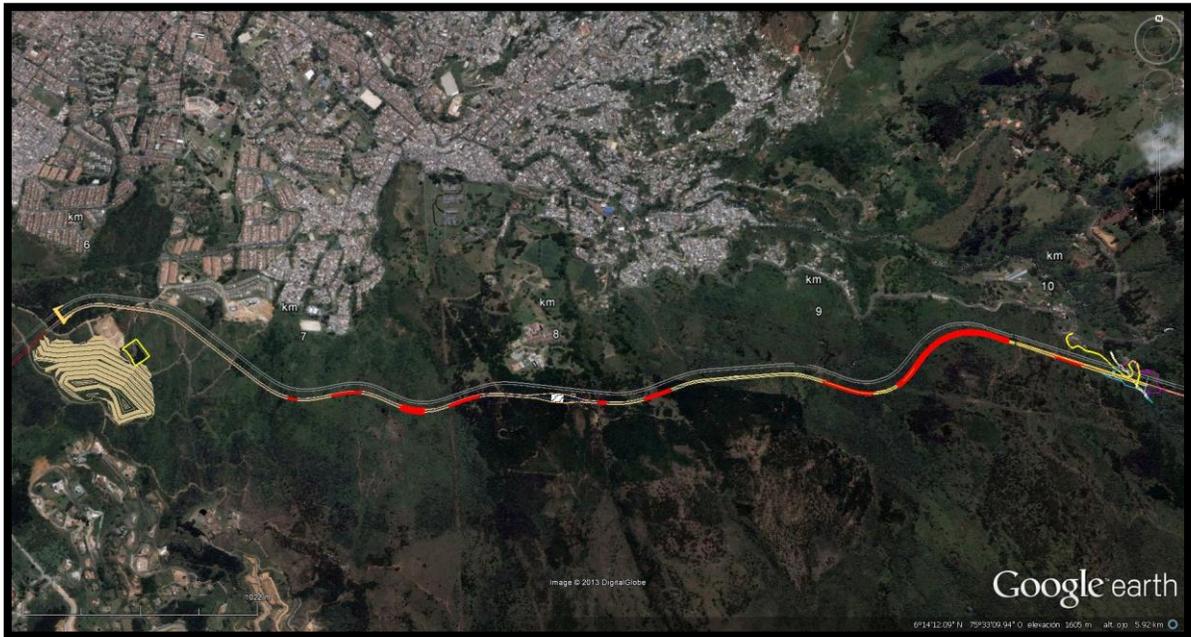


Figura 2-3 - Alineamiento Sector 2

**Sector 3:** Túnel Santa Elena. Su longitud total es de 8.229 m, desde el portal occidental situado en el k10+305, en el cruce de este alineamiento con la Quebrada La Aguadita, hasta el portal oriental el cual se encuentra en el k8+534, en inmediaciones de la Quebrada Salazar con la actual vía Santa Elena. Tiene un alineamiento en su mayoría recto con una curva derecha a partir del PC = km 10+467,24, con un radio de 1.227,77 m, y termina con una curva izquierda cuya abscisa del PT es k 18+145,59 y un radio de 1.562,61 m. La pendiente longitudinal del túnel es de +2,25 % y al final cambia a una pendiente del -1,5% con una curva vertical muy amplia de L=290 m. La velocidad de operación prevista es de 60 km/h en la primera etapa de operación cuando es de tráfico bidireccional.

**Sector 4:** Acceso oriental (Portal oriental - Glorieta Sajonia). Este se inicia en el portal oriental del Túnel de Santa Elena en el k18+534, con una sección típica igual a la del acceso occidental y con un alineamiento horizontal acomodándose a la ladera derecha de la quebrada La Salazar, hasta cruzarla en el k19+265 en el Valle de Sajonia por medio de un viaducto, desde el k 19+161 hasta el k19+546, pasando por encima de la Glorieta de Sajonia, sitio en el cual confluyen los tráficos provenientes de Medellín, Guarne, Rionegro, el Oriente Antioqueño, el Aeropuerto José María Córdoba y Santa Elena, tal como se puede observar en la siguiente figura:



Figura 2-4 - Visual del Sector 4

### 2.2.1.2 Diseño Geométrico

El diseño del proyecto Conexión Vial Aburrá - Oriente se realizó para una velocidad de 80 km/h, al principio se dará el servicio la primera calzada (Medellín - Aeropuerto) con flujo bidireccional y una vez el tránsito vehicular lo amerite se ejecutará la construcción de la segunda calzada.

#### 2.2.1.2.1 Criterios de diseño

El diseño geométrico se realizó teniendo en cuenta las Normas Colombianas para el Diseño de Carreteras del INVIAS y A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2001, AASHTO. En la siguiente tabla se indican los criterios de diseño adoptados para cada una de las calzadas del diseño del proyecto Conexión Vial Aburrá – Oriente:

Tabla 2-1 - Criterios de diseño para cada calzada

CRITERIO	SECTOR 2
Tipo de terreno	Montañoso
Clase de pavimento	Carpeta asfáltica
Ancho del pavimento total	10,80 m
Carriles de circulación	2 de 3,65 m c/u
Ancho de la berma	
Interior	1,00 m
Exterior	2,50 m
Bombeo	2,0%
Peralte máximo	8,0%
Radio mínimo en curva	120,00 m
Tipo de curvas	Espirales
Longitud espiral mínima	

CRITERIO	SECTOR 2
Máxima	150,00 m
Mínima	55,00m
Pendiente longitudinal máxima	8,0%
Pendiente longitudinal mínima	0,5%
Longitud de curva vertical mínima	60 m
Gálibo vertical mínimo	5,0 m
Distancia de visibilidad de parada	75 m
Longitud carril de aceleración	100 m
Longitud carril de desaceleración	75 m
Ancho cunetas de concreto	1,00 m
Taludes	
En corte	Variable
En lleno	1V : 1,5 H
Velocidad de diseño	80 km/h

Fuente: Integral 2009

La sección típica adoptada para las vías de acceso a los túneles de Seminario y Santa Elena fue de 7,3 m de calzada, 2,5 m de berma exterior, 1,0 m de berma interior, cunetas de concreto y superficie de rodadura en concreto asfáltico, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

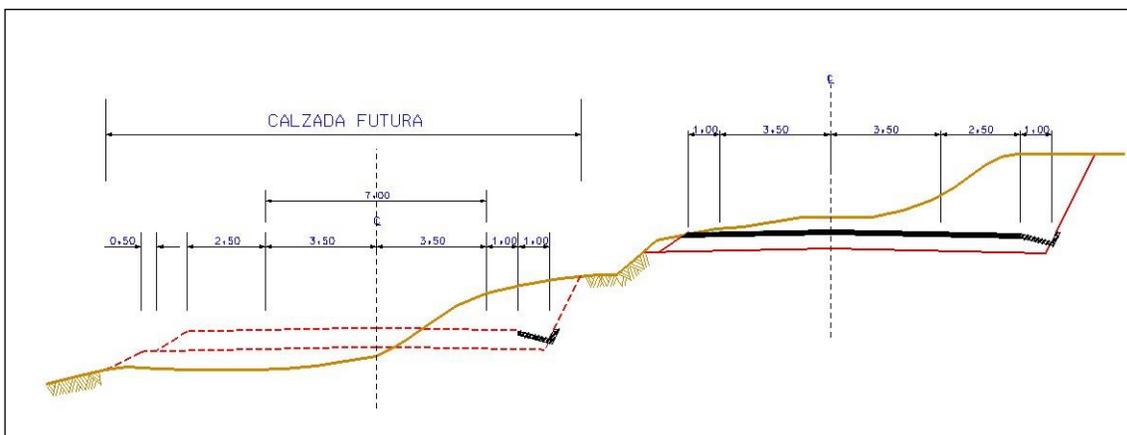


Figura 2-5 - Sección típica de las vías

Longitud crítica en tangentes verticales: La longitud crítica de la tangente vertical definida como la máxima longitud en ascenso sobre la cual un camión puede operar sin ver reducida su velocidad, no presenta un gran impacto en la funcionalidad de la Conexión Vial Aburrá Oriente, debido a la vocación vehicular de la carretera a ser utilizada en un alto porcentaje por vehículos livianos (92%). El restante ocho por ciento (8%), está representado por vehículos 2CP (4%), 2CG (1%) y buses (3%) No se espera el paso de tracto camiones.

Sin embargo, en la mayoría de los tramos donde existen distancias que superan la longitud crítica en tangentes verticales el trazado proporciona la facilidad de realizar adelantamiento, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2-2 - Longitud crítica en tangentes verticales

Abscisa	Pendiente	Longitud		Observación
		Entretangencia vertical	Crítica	
km5+000.00				
	5.80%	935	350	Túnel Seminario
km5+935.00				
	2.30%	286	750	
km6+220.63				
	6.80%	1 353	300	sobrepaso
km7+574.00				
	3.60%	615	550	
km8+189.27				
	7.58%	791	250	sobrepaso
km8+980.00				
	2.40%	580	750	
km9+560.00				
	0.50%	430	-	
km9+990.00				
	2.92%	280	750	
km10+270.00				
	2.25%	8 140		Túnel Santa Elena
km18+410.00				
	-1.50%	200	-	
km18+610.00				
	-6.20%	510	350	
km19+120.00				
	0.00%	450	-	sobrepaso
km19+570.00				
	-3.50%	110	700	
km19+680.00				

Fuente: integral 2.009

### 2.2.1.3 Volumen estimado de remoción de descapote

En la siguiente tabla se ilustra la cantidad en m<sup>3</sup> de material que se espera remover, discriminado por el sector en que se espera su generación.

Tabla 2-3 - Volumen estimado de remoción de descapote

Actividad	Und	Intercambio Baltimore	Portal Palmas Túnel Seminario	Portal Marianito Túnel Seminario	Vía Occidental	Portal Occidental - Túnel Santa Elena	Portal Oriental Túnel Santa Elena	Vía Oriental	TOTAL
Desmote y Limpieza	Ha	1,8	0	0	11	0	0	9	21,7
Descapote	m <sup>3</sup>	5.300	0	0	32.900	0	0	26.600	64.800

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente 2013

#### 2.2.1.4 Volumen estimado de cortes y llenos

El cálculo de cortes y llenos se llevó a cabo con los perfiles, topografía del terreno y el trazado respectivo de los portales y las vías. La siguiente tabla presenta el cálculo de cortes y llenos del proyecto.

Tabla 2-4 - Volumen estimado de cortes y llenos

Ubicación	Volumen Total Corte m <sup>3</sup>	Volumen Total Lleno m <sup>3</sup>
Intercambio Baltimore	42.900	2.000
Portal Seminario por Palmas	21.800	-
Portal Seminario Marianito	80.000	-
Vía cielo Abierto Occidental	224.475	87.492
Portal Occidental Túnel Santa Elena	80.000	80.000
Portal Oriental Túnel Santa Elena	85.600	2.000
Vía cielo abierto Oriental	100.100	19.000
TOTAL	634.875	190.492

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente 2013

#### 2.2.1.5 Taludes previstos en cortes y terraplenes

Las inclinaciones recomendadas se definieron buscando que los factores de seguridad calculados fueran iguales o superiores a 1,5 para un análisis estático y que fueran iguales o superiores a 1,1 para un caso pseudoestático.

Para definir la geometría de los taludes rocosos, se consideraron los perfiles de meteorización, y las características y disposición de las discontinuidades presentes en el macizo.

Con respecto a los terraplenes, La pendiente mínima de los taludes debe ser 1,5H:1,0V, además debe considerar mantener un drenaje adecuado para evitar la saturación de los materiales que conforman el cuerpo del terraplén.

Los taludes de corte pueden variar dependiendo de las características de los materiales encontrados durante las excavaciones.

Considerando aspectos como geomorfología, perfiles de meteorización, características de los suelos, condiciones de drenaje, cobertura vegetal, usos del suelo, procesos erosivos y estabilidad de las laderas, el corredor del acceso occidental de la vía a cielo abierto se ha dividido en los siguientes tres sectores homogéneos:

Tabla 2-5 - Sectorización Vía Acceso Occidental Túnel Santa Elena

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Sector Geológico	Pendiente de corte	Bancos (m)	Bermas (m)
-----------------	---------------	------------------	--------------------	------------	------------

Abscisa Inicial	Abscisa Final	Sector Geológico	Pendiente de corte	Bancos (m)	Bermas (m)
k5+800	k5+860	kgd	0,75H:1V**	10,00	3,00
k5+860	k5+890	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k5+890	k6+050	kgd	0,75H:1V**	10,00	3,00
k6+050	k6+090	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k6+090	k6+235	kgd	0,75H:1V**	10,00	3,00
k6+235	k6+250	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k6+250	k6+370	kgd	0,75H:1V**	10,00	3,00
k6+370	k6+540	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k6+540	k6+670	kgd	0,75H:1V**	10,00	3,00
k6+670	k6+780	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k6+780	k6+840	kgd	0,75H:1V**	10,00	3,00
k6+840	k6+855	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k6+855	k6+920	kgd	0,75H:1V**	10,00	3,00
k6+920	k6+940	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k6+940	k7+090	kgd	0,75H:1V**	10,00	3,00
k7+090	k7+150	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k7+150	k7+380	kgd	0,75H:1V**	10,00	3,00
k7+380	k7+410	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k7+410	k7+515	kgd	0,75H:1V**	10,00	3,00
k7+515	k7+585	Pa/kd	0,50H:1V***	10,00	3,00
k7+585	k7+610	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k7+610	k7+640	Pa/kd	0,50H:1V***	10,00	3,00
k7+640	k7+670	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k7+670	k7+825	Pa/kd	0,50H:1V***	10,00	3,00
k7+825	k8+040	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k8+040	k8+170	Pa/kd	0,50H:1V***	10,00	3,00
k8+170	k8+190	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k8+190	k8+400	Pa/kd	0,50H:1V***	10,00	3,00
k8+400	k8+430	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k8+430	k8+690	Pa/kd	0,50H:1V***	10,00	3,00
k8+690	k8+720	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k8+720	k9+190	Pa/kd	0,50H:1V***	10,00	3,00
k9+190	k9+215	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k9+215	k10+050	Pa/kd	0,50H:1V***	10,00	3,00
k10+050	k10+070	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k10+070	k10+260	Pa/kd	0,50H:1V***	10,00	3,00
k10+260	k10+300	Q	1,0H:1V*	5,00	3,00
k10+300	k10+390	Pa/kd	0,50H:1V***	10,00	3,00

Fuente: GICA 2013

\* El corte debe ser complementado por las siguientes medidas:

- Anclajes activos de 12 m de longitud, tensionados a 20 toneladas y espaciados 1.5 m en la horizontal y la vertical, inclinados 15 grados con la horizontal.
- Perforaciones de drenaje de 4", y 14 m de longitud con espaciamiento de 1.5 m en la vertical y 3.0 m en la horizontal.
- Filtro cuneta en la pata con una profundidad de 2.0 m.

\*\* Para cortes mayores a 13 m, se debe implementar lo siguiente:

- Pernos tipo BAL, con barra No 8 de longitud 6 m, inclinados 15 grados con la horizontal, espaciados al tresbolillo cada 2 m, tanto horizontal como vertical.
- Perforaciones de drenaje de 4 pulg de diámetro, y una longitud de 8 m, espaciadas cada 4,0 m en la horizontal, y 2,0 m en la vertical, inclinadas hacia arriba 5 grados con la horizontal.

\*\*\* Se debe tener en cuenta que para cortes mayores a 18 m:

- De 0 -20 m de altura (de base a techo) bancos de 10 m de altura con bermas de 3.0 m y pendiente de 0.5 H : 1.0 V, de 20 m en adelante, bancos de 5 m de altura y berma de 3.0 m de ancho con la misma pendiente.
- Pernos de roca en el material correspondiente al horizonte II compuestos por Pernos tipo BAL, con barra No 8 de longitud 6 m, inclinados 15 grados con la horizontal, espaciados al tresbolillo cada 2 m, tanto horizontal como vertical.
- Perforaciones de drenaje de 4 pulg de diámetro, y una longitud de 8 m, espaciadas cada 4,0 m en la horizontal, y 4,0 m en la vertical, inclinadas hacia arriba 5 grados con la horizontal.

**Vía de acceso oriental:** En esta vía de acceso desde el punto de vista geotécnico se identifica un solo sector. Esta zona se caracteriza por presentar un relieve de vertientes moderadas a suaves, con declives entre 10° y 30°, constituido por suelos residuales y roca meteorizada proveniente de la Anfibolita de Medellín. La siguiente tabla muestra los taludes de cortes recomendados para este sector.

Tabla 2-6 - Taludes vía acceso oriental

Sector		Recomendaciones	Materiales excavados (%)	
Abscisa inicial	Abscisa final		Suelo	Roca
km 18+700	km 18+800	Talud inferior con inclinación 0,5H:1V de 15 m de altura, con berma de 3,0 m de ancho a esa altura y talud superior con inclinación 1,0H:1,0V	75	25
km 18+800	km 18+950	Talud inferior con inclinación 0,5H:1V de 10 m de altura, con berma de 3,0 m de ancho a esa altura y talud superior con inclinación 1,0H:1,0V	85	15
km 18+950	km 19+500	Talud 1: 0,5H;1V	100	0

Fuente: Integral 2.010

## 2.2.2 Puentes y Estructuras

En este numeral se mencionan los aspectos más importantes de las principales estructuras que hacen parte del proyecto de conexión vial y se presenta la lista de las estructuras viales proyectadas.

Se identificaron las obras a construir, se verificó su viabilidad técnica buscando optimizar y mitigar riesgos tanto en construcción, como en etapa de operación de la conexión vial.

A continuación se discriminan las principales estructuras que hacen parte del proyecto:

- ♣ Nueve puentes en la vía a cielo abierto en el acceso occidental (tramo Medellín – Túnel Santa Elena), incluido un viaducto en el sector del cerro El chivo.
- ♣ Dos puentes en el Intercambio Baltimore.
- ♣ Un puente en el Intercambio en la glorieta de Sajonia.

En la siguiente tabla se definen los nombres, las abscisas, longitud y número de luces de cada uno de los puentes del acceso occidental, del Intercambio Baltimore y del Intercambio en la Glorieta de Sajonia.

Tabla 2-7 - Lista de los puentes de la Conexión Vial Aburra Oriente

Puente	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Superestructura			Cimentación			Método constructivo
			N° luces	Longitud luces	Longitud total	N° Pilas en estribos y apoyos	Long. Pilas	Diámetro	
Puente Intercambio Baltimore Lazo 3	km 0+ 237,71	km 0 + 387,71	4	40-36-34-30	140	4-4-4-4-4	20-20-20-20-20	1,5	Viga cajón
Puente Intercambio Baltimore Lazo Palmas	km 0 + 130	km 0 + 170	1	40	40	5 - 5	20-20	1,5	Viga cajón
Puente km 7 + 075	km 7 + 075	km 7 + 201	3	45 - 45 - 35	125	3-3-2-2	20-27-27-20	1,8-2-2-1,5	Vigas gerber
Puente km 7 + 371	km 7 + 371	km 7 + 461	2	45 - 45	90	2-3-3	20-24-20	1,5-1,5-1,8	Vigas gerber
Puente Quebrada La Pastora	km 7 + 571	km 7 + 681	3	45 - 45 - 20	110	2-3-3-3	22-24-27-21	1,5-1,8-2-1,8	Vigas gerber
Puente km 7 + 877	km 7 + 877	km 7 + 913	1	36	36	2-2	20-20	1,5-1,5	Vigas en "I" postensadas
Puente Quebrada El Chupadero	km 8 + 145	km 8 + 200	1	55	55	2 - 2	20-20	1,5	Viga cajón postensada
Puente Quebrada Mediagua	km 8 + 325	km 8 + 440	2	57.5 – 57.5	115	2-4-2	20-24-20	2-2-1,5	Voladizos sucesivos
Puente Quebrada La Espadera	km 9 + 060	km 9 + 230	3	55 - 55 - 60	170	2-4-4-2	24-24-24-20	1,5-2,5-2,5-1,5	Viga cajón

Puente	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Superestructura			Cimentación			Método constructivo
			N° luces	Longitud luces	Longitud total	N° Pilas en estribos y apoyos	Long. Pilas	Diámetro	
Viaducto El Chivo	km 9+314	km 9+836	10	45-54-54-54-54-45-46-86-46-38	522	2-2-2-2-2-2-2-4-4-2-2	15-20-20-20-20-20-18-24-24-20-15	1,5-1,8-1,8-1,8-1,8-1,8-1,8-2-2-1,5-1,5	Vigas gerber + viga voladizos sucesivos+ viga en "I"
Puente Quebrada Bocana	km 10 + 027	km 10 + 137	2	55 - 55	110	2-4-2	15-20-20	1,5-2-1,5	Viga voladizos sucesivos.
Puente Intercambio de Sajona	A km 19 + 161 (km 19 + 178,74)	A km 19 + 570 (km 19 + 587,74)	9	(6x56)+45+19	400	4-4-4-4-4-4-4-4-4-4-4	10-15-15-15-15-15-15-15-15-10	Todas 1,5	Vigas gerber + pilas con voladizos de 10 m

Fuente: Integral 2010 - GICA 2013

Las estructuras de los puentes se proyectaron de modo que satisfacen las demandas de gálibo para el tránsito vehicular, con una distancia libre mínima de 5.0 m, y el área hidráulica requerida para el paso de la creciente de diseño.

La longitud resultante de las pilas para la cimentación de los estribos y columnas varía entre 10 m y 24 m de acuerdo con las propiedades de los materiales en que están apoyados, su diámetro es de 1,50 a 2,50 m de diámetro de apoyo, varía según las cargas a distribuir en el terreno. La longitud de las pilas en el sector occidental es de 15-24 m, por encontrarse allí mayoritariamente el límite entre los materiales de mejores condiciones geomecánicas; además de ser una necesidad estructural de los puentes localizados en laderas, donde los momentos generados por la superestructura hacen necesario el empotramiento mediante cimientos profundos, se determinó de tal manera que cumplieran con: la capacidad de soporte necesaria para absorber en forma adecuada las cargas verticales aplicadas tanto de compresión como de tracción y para efectos de contrarrestar los fenómenos de momento en las superestructuras de puentes y viaductos de gran envergadura y pilares altos que se establecen como brazos y las superestructuras, y los empujes de viento y sísmicos que se establecen como grandes cargas.

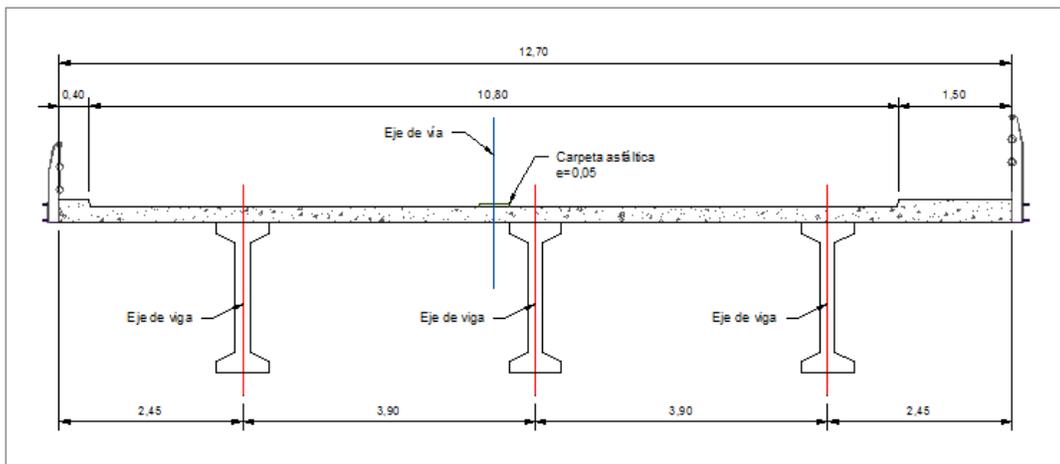
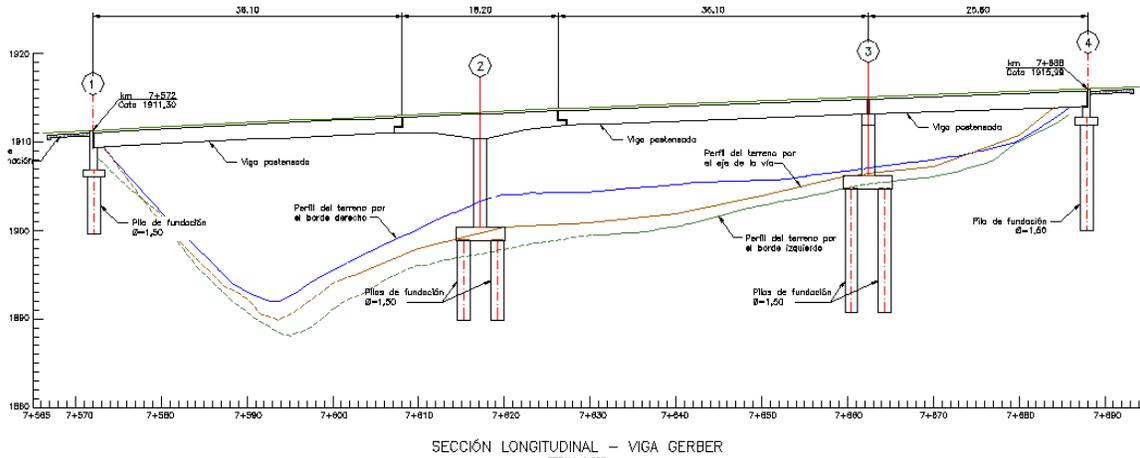
Para los nueve puentes de la vía a cielo abierto del acceso occidental al Túnel de Santa Elena y el intercambio de Sajonia, los soportes de las vigas prefabricadas de concreto son apoyos elastoméricos de material neopreno dureza 60 y reforzados con láminas de acero, su espesor es variable de acuerdo a las características de cada puente y serán colocados en los estribos y en los apoyos intermedios. Para los puentes del Intercambio Baltimore se han especificado apoyos tipo POT para las columnas intermedias (apoyos con grados de libertad restringidos y superficie recubierta en teflón) y apoyos elastoméricos reforzados en los estribos.

Sobre el tablero o losa de los puentes se colocará una carpeta de asfalto de 5,0 cm de espesor, que actuará como superficie de desgaste y de protección de la losa.

A la entrada y salida de cada uno de los puentes se proyectaron losas de aproximación de 5,0 m de largo por el ancho de calzada y un espesor de 0,25 m, que tienen como finalidad minimizar los

asentamientos del lleno, generando así una zona de transición entre la superficie flexible del suelo y la superficie rígida del tablero.

Respecto de la tipología general de los puentes, se pueden ver en las siguientes figuras.



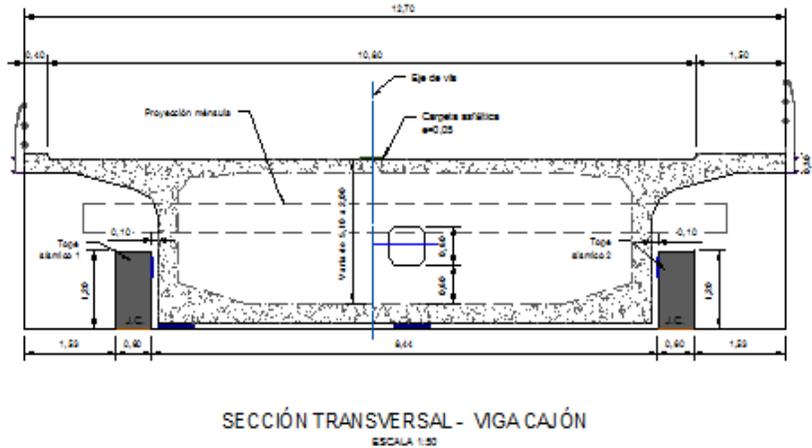
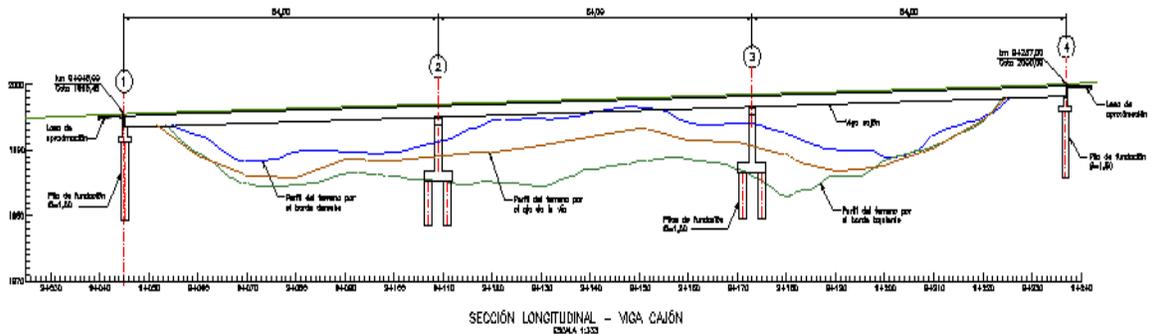
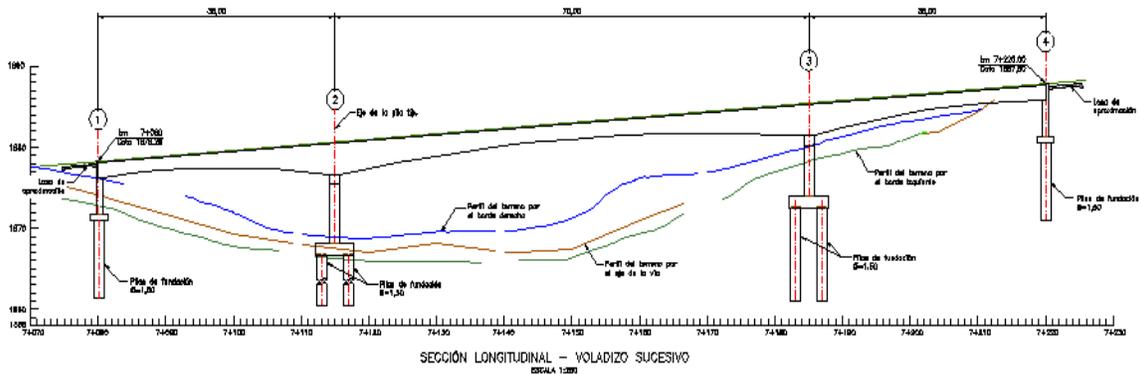


Figura 2-6 – Sección transversal puentes viga y losa

El tablero consta de una losa de 0,18 m de espesor, con un ancho de calzada de 10,80 m, la cual termina con un andén de 1,50 m de ancho al lado derecho y con un sardinel de 0,40 m de ancho al lado izquierdo para un ancho total de 12,70 m ( Figura 2-6).

Las vigas se apoyan sobre una viga cabezal o ménsula(Figura 2-6), y estas se apoyan a una columna cajón de 3 m \* 6.5 m que van hasta el nivel del terreno a unirse con el dado de fundación que a su

vez se une con las pilas de fundación con un diámetro de 1,50 -2,50m y profundidad variable de acuerdo a la localización del puente y de las recomendaciones geotécnicas para encontrar empotramiento ante cargas laterales y un estrato de fundación de buena calidad.

Los estribos son vigas cabezales que trabajan como un dado de fundación de 1,20 m de espesor y un ancho de acuerdo a la cantidad de pilas de fundación para cada puente.

Los puentes del Intercambio de Baltimore están compuestos por una superestructura en viga cajón de una celda postensada y continúa sobre los apoyos intermedios con una altura de 1,60 m, tal como se puede ver en la siguiente figura, para el lazo 3 y con una luz simplemente apoyada para el lazo Palmas. Los apoyos intermedios los componen unas columnas circulares de 1,50 m de diámetro, que descansan sobre un dado de fundación de 5.20 m de largo por 5,20 m de ancho y con un espesor de 1,20 m, que continua con 4 pilas de 1,30 m de diámetro. Los puentes en los extremos descansan sobre estribos de alturas que varían entre los 4,50 m hasta los 9,70 m.

En el lazo palmas se tiene una calzada de 8,80 m, un bordillo de 0,40 m al lado izquierdo y un andén de 1,50 m al lado derecho, para un ancho total de la sección de 10,70 m. Para el lazo 3 la calzada es de 7,00 m, y bordillos de 0,40 m a cada lado para un ancho total de 7,80 m.

### 2.2.3 Muros de Contención

#### 2.2.3.1 Muros de contención en voladizo, de suelo reforzado con geosintéticos y sobre pilas

Para contener los terraplenes del recorrido vial, fue necesario diseñar muros de contención en voladizo, muros de suelo reforzado con geosintéticos y en algunos tramos sobre pilas debido a las condiciones geotécnicas estudiadas; teniendo una longitud total de 712 m para el acceso occidental, de 225 m para el Intercambio de Sajonia y de 189 m para el Intercambio de Baltimore, tal como se indica en la siguiente tabla en donde aparecen además alturas variables entre 1,35 m a 7,0 m para muros en concreto y de 7m a 11,83 m en muros de suelo reforzado con geosintéticos.

Tabla 2-8 – Listado de Muros del Proyecto

Muro	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Ubicación	Long	Altura	Prof. Desplante	Tipo de Muro
				m	m	m	
M1	km 0 + 224.71	km 0 + 237.71	Baltimore Lazo 3	13	6	10	Concreto-pilas
M2	km 0 + 377.71	km 0 + 539.71	Baltimore Lazo 3	162	7	10	Concreto-Pilas
M3	km 0 + 122	km 0 + 130	Baltimore Lazo Palmas	8	9	10	Concreto-Pilas
M4	km 0 + 170	km 0 + 176	Baltimore Lazo Palmas	6	9	10	Concreto-Pilas
Subtotal 1				189			
M1	km 7+201	km 7+205	Muro	4,89	6,70	1,0	Concreto
M2	km 7+340	km 7+373	Puente k7+372	32	5,60	1,0	Concreto
M3	km 7 + 837	km 7 + 877	Puente km 7 + 0876	39,87	11,83		Suelo reforzado
M4	km 7 + 912	km 7 + 990	Puente Km 7 + 876	77,75	6,40	1,0	Concreto
M5	km 8+091	km 8+147	Puente Chupadero	56,10	6,40	1,0	Concreto
M6	km 8+202	km 8+326	Puente Chupadero	124	7,70	1,0	Suelo reforzado
M7	km 8+341	km 8+360	Puente Mediagua	19,61	5,5	1,0	Concreto

Muro	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Ubicación	Long	Altura	Prof. Desplante	Tipo de Muro
				m	m	m	
M8	km 8+603	km 8+619	Puente Mediagua	16,10	1,35	0,5	Concreto
M9	km 8+645	km 8+735	Puente Mediagua	90	7	1,0	Suelo reforzado
M10	km 8 + 800	km 8 + 820	Puente Espadera	20		1,0	Concreto
M11	km 8 + 930	km 8 + 973	Puente Espadera	42,50	6,30	1,0	Concreto
M12	km 9+243	km 9+315	puente Espadera	72	7,80	1,0	Concreto
M13	km 9 + 835	km 9 + 900	El chivo	65	5,5	1,0	Concreto
M14	km 9 + 922	km 9 + 928	El chivo	6	5,5	1,0	Concreto
M15	km 9 + 976	km 10 + 031	Puente La Bocana	55	6,90	1,0	Concreto
Subtotal 2				712			
M15	km 19 + 126 (A km 19 + 143)	km 19 + 161 (A km 19 + 178)	Intercambio Sajonia	35	6	2	Concreto
M16	A km 19 + 150	A km 19 + 161	Intercambio Sajonia	11	7	2	Concreto
M17	A km 19 + 570	A km 19 + 623	Intercambio Sajonia (MI)	53	7	2	Concreto
M18	A km 19 + 570	A km 19 + 623	Intercambio Sajonia (MD)	53	7	2	Concreto
M19	km 0 + 044.56	km 0 + 117.56	Muro Lazo Sajonia-Aerop	73	9	12	Pilas-Concreto
Subtotal 3				225			
Barrera de protección en concreto ( New Jersey) 1				189			
Barrera de protección en concreto ( New Jersey) 2				529			
Barrera de protección en concreto ( New Jersey) 3				225			

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

Así las cosas, en el inicio del proyecto cerca de Baltimore se tiene proyectado un intercambio para el cual se requieren 4 muros, para la vía a cielo abierto de acceso occidental al Túnel de Santa Elena se requieren 15 muros y para la vía del acceso oriental 4 muros en el intercambio Sajonia y uno en el lazo Sajonia-Aeropuerto.

Para cada sitio se definió la estratigrafía del sitio y de acuerdo con las secciones donde se conformaran los muros y la estratigrafía encontrada se definió la cimentación de cada uno de ellos.

A continuación se presentan algunos datos relevantes sobre el dimensionamiento de los muros:

Para el caso de los muros en concreto reforzado, éstos son del tipo en voladizo “cantiliver”, con alturas entre 1,0 m y 7,0 m, altura esta última sobre la cual técnicamente y operativamente es más eficiente una solución del tipo muro en tierra reforzada. En la siguiente figura se muestra el esquema con las dimensiones usadas para la definición geométrica de los muros, mientras que en la tabla 4 se muestra la geometría obtenida por altura y por sector o tipo de material de los muros en concreto reforzado.

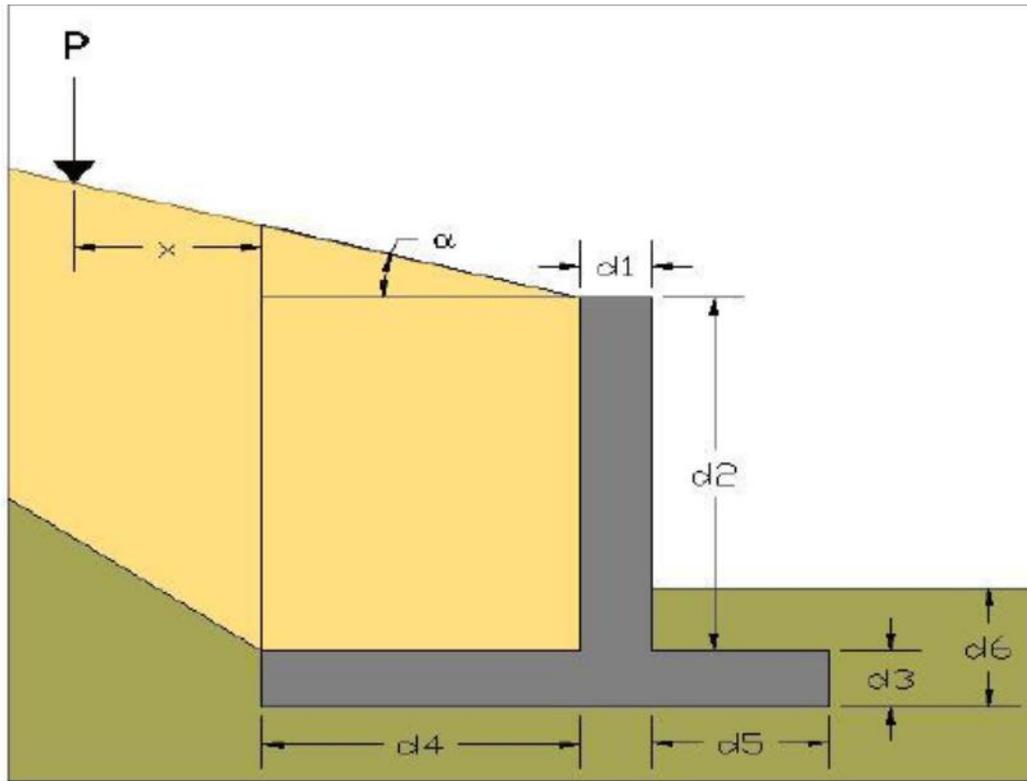


Figura 2-7 - Esquema con dimensiones usadas para la definición de la geometría de los muros en concreto.

Tabla 2-9 - Geometría de los muros de concreto

Material de Fundación	Altura (m)	Base (m)	d1	d2	d3	d4	d5	d6 (m)
Kgd	6,70	5,70	0,50	6,20	0,50	4,70	0,50	1,00
	5,60	5,04	0,50	5,10	0,50	4,00	0,50	1,00
Pa/kd	5,50	4,68	0,50	5,00	0,50	3,70	0,50	1,00
	1,35	1,15	0,30	1,10	0,30	0,50	0,30	0,50
	7,00	5,95	0,50	6,50	0,50	5,00	0,50	1,00
	6,30	5,36	0,50	5,80	0,50	4,40	0,50	1,00
	6,90	5,87	0,50	6,40	0,50	4,90	0,50	1,00

Fuente: GICA 2.013

Para el caso de muros en suelo reforzado teniendo en cuenta las necesidades del proyecto, se plantearon muros de cara inclinada 70°.

Los materiales para los terraplenes que se podrán utilizar en la construcción de los muros en suelo reforzado, deberán garantizar que cumplan con las propiedades  $C'(kpa)=0$ ,  $\phi(^{\circ})=35$ ,  $\gamma_{bulk}(KN/m^3)=19$ , además de tener un tamaño máximo de 120 mm. Se instalaran capas de 0.50 m de espesor, con lo cual se deberá colocar capas de material de 0.25 m, garantizando con ello una buena densificación del material reforzado.

Se usarán una geomallas de 58, 70 y 114 KN/m de resistencia a la tensión, intentando mantener un espaciamiento alrededor de 0.50 m, espaciamiento planteado como máximo.

Se ha considerado primordial en este trabajo la presencia de un adecuado sistema de drenaje. Por ello se deberán construir las siguientes obras:

- En el fondo de las excavaciones un manto de drenaje de 0.30 m de espesor en todo el ancho y largo de ellas. Este manto deberá tener una descarga controlada. En la parte inferior de la capa granular que forma el manto, se deberán colocar geotextiles no tejidos que cumplan, con toda rigurosidad, los requerimientos exigidos en la especificación INV-673-2002.
- Para evitar la migración de finos por la cara del muro, se ha definido una protección tipo filtro en la cercanía de la cara del muro.

En esta vía reencuentran los muros asociados al intercambio Sajonia, las abscisas donde se encuentran los muros se caracterizan por terrenos constituidos por depósitos de flujo maduros y suelos residuales del Gneis de La Ceja y al final la unidad del Batolito Antioqueño, con topografía muy suave.

En la vía de acceso al portal oriental del Túnel Santa Elena, se debe realizar una cimentación superficial de los muros, con una profundidad de desplante de 2 m; el muro ubicado en el lazo Sajonia-Aeropuerto se fundará en pilas debido a la cercanía con la quebrada la Salazar, para evitar desconfinamiento de la fundación, por la socavación de dicha quebrada.

## 2.2.4 Túneles

### 2.2.4.1 Sector 1: Baltimore

El alineamiento horizontal del túnel Seminario está conformado por un tramo recto de 786,5 m que parte del portal sur o Palmas en el km 5+080,00, hasta el portal norte o Marianito en el km 5+866,50. Este túnel tiene un pequeño ramal de 199,35 m, denominado Lazo 3, que servirá como carril descendente, empalmado con el intercambio sobre la vía Las Palmas; este lazo inicia con una curva horizontal de radio 120,00 m en la abscisa km 5+205,61, tal como puede observarse en el plano AO-VI- TB-001.

### 2.2.4.2 Parámetros Túnel Seminario

Los principales parámetros que se usaron en los diseños de este túnel, fueron:

Pendiente de la rasante del túnel:	5,80%
Ancho de calzada (carriles de 3,65 m y bermas de 0,35 m):	8,00 m
Gálibo vertical en el túnel:	5,00 m
Longitud:	786,5 m
Altitud del portal de entrada:	1.764,0 msnm
Altitud del portal de salida:	1.809,0 msnm
Pendiente del túnel:	5,8 %
Galibo requerido:	5,0 m
Altura total de la sección del túnel:	6,5 m
Área de la sección de circulación del túnel:	59,9 m <sup>2</sup>
Velocidad de diseño:	80 km/h
Tráfico vehicular en ambos sentidos (bidireccional)	

### 2.2.4.3 Secciones Túnel Seminario

Para el túnel se definieron cinco secciones transversales típicas de excavación con base en las condiciones geológicas y geotécnicas de los materiales encontrados.

El dimensionamiento de la sección mínima de excavación se determinó para que se cumplieran las siguientes condiciones:

- Definición de una forma de sección que estructuralmente fuera óptima para las condiciones de terreno esperadas.
- Para la altura de la sección se consideraron las dimensiones de la estructura del pavimento, más el gálibo vertical de 5,00 m, más una altura para la instalación de los equipos de ventilación recomendados para este túnel.
- En el ancho de la sección se localizan los soportes de construcción, en cada una de las cinco secciones de excavación que se definieron, más los muros de revestimiento, más los andenes de 1,35 m, más un ancho de calzada de 8,00 m.

El revestimiento permanente del túnel se estableció de 0,40 m de espesor para todas las secciones.

El soporte de construcción se definió de acuerdo a cada tipo de suelo encontrado, los detalles de éstas secciones se pueden observar en los planos AO-VI-TB-006 y AO-VI-TB-008.

### 2.2.4.4 Sector 3: Túnel de Santa Elena

Los principales parámetros que se usaron en los diseños del túnel y en las obras anexas fueron:

Longitud:	8229 metros
Altitud del portal oriental:	2.200,0 msnm
Altitud del portal occidental:	2.020,0 msnm
Pendiente del túnel:	2,2 %
Gálibo requerido:	5,0 m
Ancho de calzada (carriles de 3,65 m y bermas de 0,35 m):	8,00 m
Altura total de la sección del túnel:	8,30 m
Área de la sección vehicular:	40,0 m <sup>2</sup> para el túnel en operación inicial y 24 m <sup>2</sup> de ventilación
Área de la sección tubo de servicios:	40,0 m <sup>2</sup> para el túnel en operación en la segunda etapa y 12,5 m <sup>2</sup> de ventilación
Área de la sección de ventilación:	19,5 m <sup>2</sup> (para el túnel en operación)
Velocidad de diseño:	80 km/h
Radio mínimo de curva horizontal en el túnel:	1.227,77 m
Tráfico vehicular en ambos sentidos (bidireccional)	

### 2.2.4.5 Secciones Túnel Santa Elena

Para el túnel (dos tubos) se definieron cinco secciones transversales típicas de excavación con base en las condiciones geológicas y geotécnicas de la roca que se esperan encontrar.

El dimensionamiento de la sección mínima de excavación se determinó para que se cumplieran las siguientes condiciones:

- ♣ En la altura de la sección se deben localizar la estructura del pavimento, más el gálibo vertical de 5,00 m, más una altura para conformar el ducto de ventilación.
- ♣ En el ancho de la sección se deben localizar los soportes de construcción, en cada una de las cinco secciones de excavación que se definieron, más los muros de revestimiento, más los andenes de 1,35 m, más un ancho de calzada de 8,00 m.

La sección de excavación definida para el Tubo que entrará primero en operación túnel es en herradura modificada con alturas, medidas por el eje de la sección entre 9,11 m y 9,56 m y anchos desde 11,00 m hasta 11,90 m, con bóveda semicircular de radios entre 5,50 m y 5,95 m; el piso se conformó con una pendiente transversal del 2% (para drenaje) conformada por la rotación de la sección transversal del túnel un ángulo de 1°8'45" respecto al eje vertical del túnel y unas brechas laterales para las tuberías de drenajes.

La sección de excavación definida para el segundo tubo que servirá para evacuación y servicios túnel es en herradura con alturas, medidas por el eje de la sección entre 8,18 m y 8,33 m y anchos desde 11,28 m hasta 11,58 m, con bóveda semicircular de radios entre 5,07 m a 5,30 m; el piso se conformó con una pendiente transversal del 2% (para drenaje) conformada por la rotación de la sección transversal del túnel un ángulo de 1°8'45" respecto al eje vertical del túnel y unas brechas laterales para las tuberías de drenajes.

Las características de los diferentes tipos de roca que se espera encontrar en todo el alineamiento del túnel de Santa Elena son:

- ♣ **Roca Tipo B ( $10 < Q < 40$ ):** corresponde a una roca dura, poco fracturada y estable, masiva o de foliación incipiente. En este tipo de roca las infiltraciones pueden presentarse como pequeños flujos de agua localizados, pero concentradas a lo largo de las fracturas de la roca sin que produzca problemas de inestabilidad. Una vez realizados los trabajos de desabombe de las superficies excavadas no se requiere soporte sistemático, únicamente concreto lanzado con o sin fibra de 0,05 m de espesor y/o pernos por motivos de seguridad donde sea necesario. En este tipo de roca las obras se podrán excavar en una sola etapa y no habrá limitación de avance.
- ♣ **Roca Tipo C ( $4 < Q < 10$ ):** Corresponde a una roca de dureza media, desde fracturada a moderadamente fracturada, donde pueden existir algunas trazas de meteorización en los planos de discontinuidad. Fracturas en grupos (dos sistemas al azar), fallas y zonas de cizalladura muy delgadas que pueden originar la tendencia a que se produzcan desprendimientos pequeños con el tiempo; las infiltraciones se pueden presentar en goteos y chorros sin afectar la estabilidad del túnel.

El sistema de soporte para este tipo de roca consiste en:

- Colocación de 0,05 m de concreto lanzado reforzado con fibra en la sección superior.
- Colocación de pernos tipo BAL8 de 5,0 m de longitud, espaciados cada 1,5 m a manera de tresbolillo en la bóveda de la sección.
- En este tipo de roca el túnel podrá ser excavado en una sola etapa.
- ♣ **Roca Tipo D ( $1 < Q < 4$ ):** relacionado a rocas de resistencia media a blanda fracturada, en parte cizallada, con zonas de cizalla del orden de 1 cm con la presencia de alteración y/o meteorización en los planos de discontinuidad, por lo que pueden presentarse desprendimientos locales, con RQD entre 50 % y 80 %, fracturas en grupos (hasta tres sistemas y algunas aleatorias), con relleno de poco espesor (< 1 cm) y moderado flujo de agua. Este

tipo de roca se asocia a las zonas de los portales de horizontes IIB y el nivel inferior del horizonte IIA.

El sistema de soporte a implementar en esta roca consiste en:

- Colocación de 0,05 m de concreto lanzado reforzado con fibra.
- Instalación de pernos tipo BAL8 de 5,0 m de longitud, espaciados cada 1,5 m a manera de tresbolillo en todo el perímetro de la excavación
- Colocación de una segunda capa de 0,05 m de concreto lanzado reforzado con fibra.

Este tipo de roca podrá ser excavado en una o dos etapas, con avance máximo de 2,0 m.

- ♣ **Roca Tipo E ( $0,1 < Q < 1$ ):** se definió como roca muy fracturada y/o foliada, cizallada, meteorizada, de resistencia media a baja, donde el RQD varía entre 25 % y 50 %, con zonas de falla amplias (menores de 1,0 m), rellenas de roca triturada o partículas arenosas, moderado flujo de agua. En este caso se incluyeron zonas de influencia de falla.

La roca tipo E se excavará en dos etapas, con una altura mínima de la banca de 3,5 m. El avance por ciclo en la sección superior no podrá ser mayor a 1,0 m.

El soporte a utilizar en este terreno consiste en:

- Una capa de 0,05 m de concreto lanzado reforzado con fibra después de cada avance.
- Colocación de arcos de acero estructural, espaciados máximo cada 1,0 m después de cada avance.
- Colocación de anillos de pernos radiales tipo BAL8 de 5,0 m de longitud cada 1,0 m. Restringiendo el número de avances a máximo dos antes de su colocación.
- Colocación de 0,10 m adicionales de concreto lanzado reforzado con fibra, embebiendo completamente los arcos metálicos.

La sección inferior deberá llevar el mismo sistema de soporte y deberá completarse a no más de 5 avances del frente de excavación de la banca.

- ♣ **Roca Tipo F ( $0,01 < Q < 0,1$ ):** se definió como roca descompuesta o muy fracturada, cizallada, triturada y milonitizada, de resistencia blanda, con un RQD menor del 10 % (frecuentemente del 0 %), con un moderado flujo de agua. Esta categoría corresponde a las zonas de falla.

El túnel en este tipo de roca debe ser excavado en tres etapas; una sección central intermedia, posteriormente las secciones laterales en ambas paredes y luego una sección inferior. El avance máximo por sección en este tipo de roca es de 1,0 m.

El sistema de soporte a implementar consiste en:

- Una capa de 0,05 m de concreto lanzado reforzado con fibra después de cada avance.
- Colocación de arcos de acero estructural mostrados en los planos, espaciados máximo cada 0,8 m después de cada avance.
- Colocación de anillos de pernos radiales tipo BAL8 de 5,0 m de longitud cada 0,8 m. Restringiendo el número de avances a máximo dos antes de su colocación.
- Colocación de 0,10 m adicionales de concreto lanzado reforzado con fibra, embebiendo completamente los arcos metálicos.

En todo el túnel se colocará una losa de cielo falso, apoyada en el revestimiento de los hastiales, que separa el ducto de ventilación y le da continuidad y acabado al ducto vehicular, lo cual facilita la iluminación y señalización del túnel.

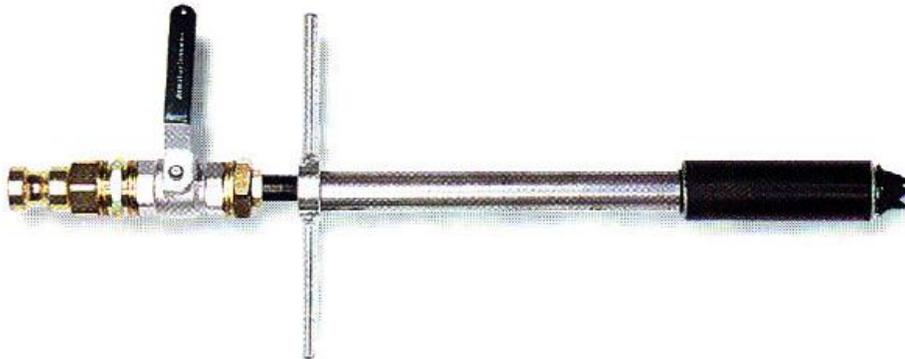
#### 2.2.4.6 Sistema Constructivo a implementar en la construcción de túneles

##### 2.2.4.6.1 Definiciones:

**Preinyección** Tratamiento de consolidación e impermeabilización previo a la excavación donde se perforan barrenos en el terreno desde el frente de excavación del túnel hacia la roca inalterada, a través de los cuales se inyecta lechada a base de cemento, microcemento o base química con suficiente resistencia y adhesión en las grietas y juntas de la roca circundante para el control de ingreso de aguas subterráneas y el mejoramiento de la estabilidad del terreno.

**Post-inyección:** Tratamiento posterior a la excavación, donde se perfora el terreno y se inyecta lechada a base de cemento o base química con suficiente resistencia y adhesión en las grietas y juntas de la roca circundante, para el control de ingreso de aguas subterráneas en la zona ya excavada de túnel

**Obturador:** Herramienta que consiste en un tubo o manguera con acoplamiento y un expansor elástico, que puede ser insertado en el barreno y ajustado contra la pared del mismo. El expansor ancla el obturador en su lugar, de manera que la presión de inyección lo obligue a no salir del barreno y además sella la sección presurizada del barreno, desde el lado del túnel.



##### 2.2.4.6.2 Reseña técnica

El arte de los túneles es muy antiguo, y hoy continúa su desarrollo, los problemas ahora están más enfocados a los requerimientos de calidad relacionados con los riesgos y la incertidumbre en los procesos de excavación y la protección del medio ambiente.

La ejecución del túnel contempla las investigaciones geológicas e hidrogeológicas, marcando los requerimientos de diseño y la planeación. La excavación de un túnel implica un riesgo en cuanto a las condiciones del terreno inesperado. Uno de los riesgos es la posibilidad de alcanzar infiltraciones de agua a presión, como también caudales menores que pueden causar problemas en el túnel o sus alrededores. Las filtraciones de agua son la razón más frecuente por la cual se

inyecta la roca circundante de un túnel. El ingreso de agua subterránea puede ser controlado o manipulado mediante drenajes, preinyecciones (previo a la excavación) o postinyecciones (posterior a la excavación).

En los últimos 20 años la inyección a presión en el frente de avance del túnel “pre inyección” se ha convertido en una técnica importante en la construcción moderna de túneles. Existen varias razones para esto:

- ♣ El control de infiltración de agua subterránea en los túneles es ahora una respuesta al requerimiento de las autoridades de protección del medio ambiente para controlar asentamientos por encima del túnel y daños al ecosistema.
- ♣ El terreno pobre e inestable delante del frente de avance es sustancialmente mejorado y estabilizado antes de exponerlo a la excavación. Esto aumenta el tiempo de estabilidad del frente abierto, reduciendo así el riesgo de colapso, no controlado en zonas de terreno pobre.
- ♣ El riesgo de contaminación por las aguas residuales u otras sustancias peligrosas generadas durante la construcción del túnel son evitados o limitados. Esto es así porque una vez que el terreno ha sido tratado por preinyección se vuelve menos permeable.
- ♣ La utilización de las preinyecciones permiten una mejor utilización del concreto proyectado y ser utilizado como revestimiento permanente, en lugar de un concreto vaciado insitu. Tales revestimientos son difíciles de instalar, en presencia de agua permanente y el control de ingreso de agua mediante preinyección resuelven el problema.
- ♣ Los materiales a utilizar para estas preinyecciones son lechadas de cemento o microcemento y adiciones de diferente grano con aditivos llenantes (plastificantes y acelerantes) para darle características de elevada penetración y rápido fraguado al inyectar las fisuras (reduce las filtraciones de agua) y estabilizar la roca con el objeto de avanzar con la excavación y el soporte del túnel.

#### 2.2.4.6.3 Descripción del procedimiento

Para la excavación del túnel se ha establecido utilizar el Nuevo Método Austriaco de Tunelería (NAMT), cuyo fundamento básico es permitir la deformación controlada del terreno. Es un método adaptable fácilmente a los cambios del terreno en las diferentes clases y secciones establecidas.

Para el Túnel Seminario, por sus características geológicas, se prevé utilizar excavación mecánica, con algunas voladuras puntuales especialmente en el centro del trayecto de túnel, donde se mejoran las condiciones geológicas. En este túnel se contempla utilizar las preinyecciones como sistema de presORTE e impermeabilización.

El método de excavación a utilizar en los dos tubos del Túnel Santa Elena, es mediante perforación y voladura controlada, con frentes de construcción por los dos portales de acceso. La sección de excavación definida para el tubo en operación del túnel Santa Elena es en herradura modificada, con bóveda semicircular y para el tubo de servicio es en herradura. Con el fin de minimizar el impacto de la voladura sobre la sección a excavar en los sectores de terreno pobres (bajo autosORTE) clasificados como tipo E y F se ha subdividido en dos o tres secciones, una sección superior o calota, una sección inferior o banca y una solera como se muestra en las figuras N° 1a y 1b, en los demás tipos de terrenos se puede excavar a sección completa de acuerdo con las condiciones encontradas y contando con el concepto del geólogo y los ingenieros Directores de frente.

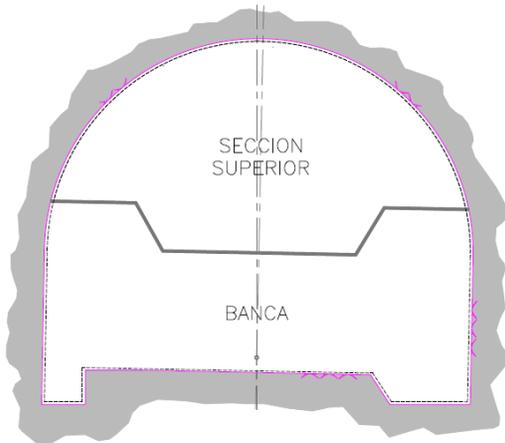


Figura 2-8 - División de la sección de excavación en 2 secciones

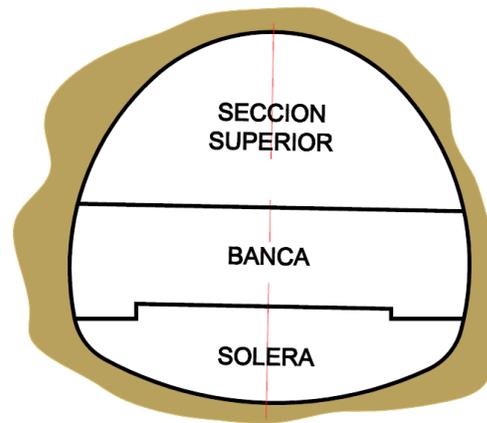


Figura 2-9 - División de la sección de excavación en 3 secciones

Como parte fundamental del proceso constructivo de las obras subterráneas por acometer, antes de iniciar las excavaciones es obligatorio confirmar la geología del terreno con un sondeo horizontal con recuperación de núcleo en el frente de avance para permitir a los geólogos identificar, confirmar y anticipar las condiciones del terreno a ser excavado, ubicar la presencia de agua en zonas de fracturamiento, contactos o zonas de falla, con el fin de establecer e implementar los tratamientos necesarios para garantizar la estabilidad de la excavación y minimizar el ingreso de agua al túnel.

La secuencia del proceso de excavación detallada en cada uno de los procedimientos respectivos es la siguiente:

#### 2.2.4.6.3.1 *Sondeo exploratorio:*

Esta actividad inicial está dentro del ciclo de excavación y consiste en la ejecución de una perforación horizontal exploratoria con recuperación de núcleos del terreno, efectuada con una Sonda tipo Diamec U6 o similar, con los recursos necesarios para la ejecución de una perforación entre 60 y 100 m de longitud, y con traslapes entre 5 y 10 m de longitud. Estos sondeos son realizados por personal calificado, con experiencia suficiente en este tipo de trabajo, ejecutándolos de manera sistemática para confirmar el comportamiento del macizo, su localización e inclinación para actualizar y definir con la geología o la condición particular del terreno en el frente de excavación según las recomendaciones del geólogo y del ingeniero civil, la actividad de excavación.

Este tipo de sondeo exploratorio proporciona información fundamental para permitir conocer el macizo a la profundidad donde se sitúa la excavación. El análisis de los núcleos obtenidos permiten a los geólogos e ingenieros identificar y confirmar las condiciones del terreno acompañado de controles y ensayos en obra tales como carga puntual, análisis mineralógico, resistencia a la compresión, ubicar las zonas permeables, contactos o zonas de falla antes de ser excavado determinando el tipo de roca y sus características geomecánicas como dureza, nivel de meteorización, grado de fracturamiento, presencia de zonas arcillosas, permeabilidad secundaria, porosidad con las cuales se procede a la clasificación del macizo rocoso, con el fin de darles herramientas a los Directores de los Frentes para establecer e implementar antes de excavar, los

tratamientos necesarios (sistemas de preinyección y sostenimiento) para garantizar la estabilidad de la excavación y minimizar el ingreso de agua al túnel.

Para esta actividad se requiere elementos tales como, equipos de perforación con brocas diamantadas, tubería de perforación y recuperación, sistema de bombeo para refrigeración y barrido, cajas para muestras entre otras.

#### 2.2.4.6.3.2 *Sistemas de preinyección y sostenimiento de construcción*

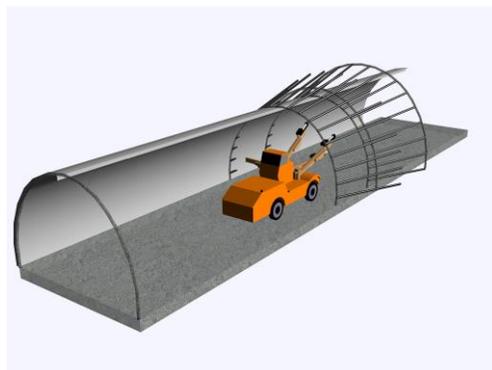
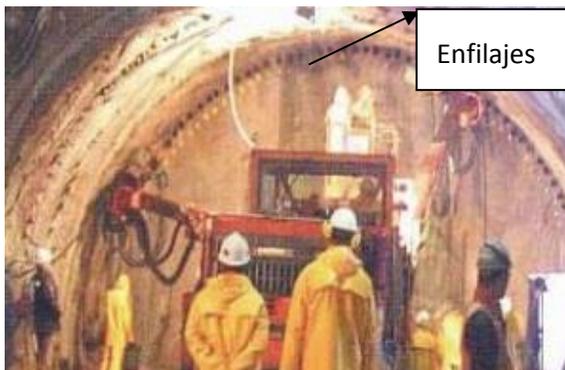
Cuando en el sondeo exploratorio se evidencien zonas con discontinuidades o fallas que detecten sobre el posible ingreso de aguas subsuperficiales, antes de la excavación, se deben llevar a cabo sistemas para estabilizar, impermeabilizar, consolidar el terreno a excavar y evitar el ingreso de aguas por las paredes y el techo del túnel una vez excavadas, evitando además desprendimientos generadores de riesgos para los trabajadores o para los equipos.

Los principales sistemas de prevención a emplear en la ejecución de las obras subterráneas de conexión vial Aburrá Oriente son los Enfilajes, las preinyecciones, Pernos de fibra de vidrio en el frente de excavación, etc.

Enfilaje: El enfilaje o paraguas es un sistema de presostenimiento que consiste en la colocación de refuerzos en tubería o micropilote en la periferia de la sección para ayudar en el auto soporte del túnel por delante del frente de avance, con en el empleo de estas armaduras colocadas mediante perforación longitudinal y adaptándose a las diversas condiciones geológicas para crear una zona estabilizada en forma de arco protector donde la excavación del túnel es más estable y segura, logrando soportarlo tanto transversal como longitudinalmente. Los enfilajes se realizan en terrenos pobres y débiles..

Esta actividad se inicia con la marcación del frente mediante replanteo topográfico, posteriormente se realizan las perforaciones con el jumbo Boomer E2C o similar con todos los recursos necesarios para la perforación. La longitud de cada una de las perforaciones será entre 9 a 12 m aproximadamente con inclinación de 5° a 7° y 20 cm por encima del nivel de la excavación; luego se instala la tubería de 3 a 4 pulgadas de diámetro, a través de los cuales se puede inyectar lechada de cemento, de acuerdo a las condiciones del terreno. El traslape entre enfilajes es de 3,0 m (ver figura).

Este sistema va acompañado de una serie de arcos metálicos los cuales van aumentando su radio para generar el espacio que garantice la facilidad constructiva para una nueva serie de enfilaje.



Preinyección: Un macizo rocoso es una barrera en sí misma, aunque las condiciones de permeabilidad y conductividad del agua pueden variar ampliamente por su conformación de juntas y zonas de fracturamiento. Por lo tanto el método a utilizar es detectar con la mayor anticipación la presencia de agua, para evitar sus impactos negativos, y esto se evita interviniendo con anterioridad dichas zonas, con preinyecciones antes de ingresar en ellas. Este procedimiento lleva más de 50 años de estar ejecutándose en la construcción de obras subterráneas como son:

- a) Centrales hidroeléctricas
- b) Túneles bajo el mar
- c) Sistemas metro en las ciudades
- d) Túneles ferroviarios y viales
- e) Cámaras de almacenamientos
- f) Plantas de tratamientos de agua
- g) Auditorios, parqueaderos, centros comerciales y de vivienda

Es un procedimiento de inyección previo a la excavación y consiste en perforar barrenos en todo el perímetro del frente del túnel, por los cuales se inyecta una lechada para sellar fracturas, diaclasas o zonas falladas las cuales podrían aportar agua. Este procedimiento se conoce como preinyección ya que se inyecta el terreno antes de ser excavado, estabilizándolo e impermeabilizándolo.

El propósito primario del esquema de preinyección es compactar el terreno sellando las fisuras, discontinuidades o fallas por las cuales se pueden infiltrar aguas, creando un anillo compacto e impermeable alrededor del túnel en la zona por donde éste cruza la posible cortina de agua, impidiendo su ingreso y así la posible afectación de los caudales allí presentes.

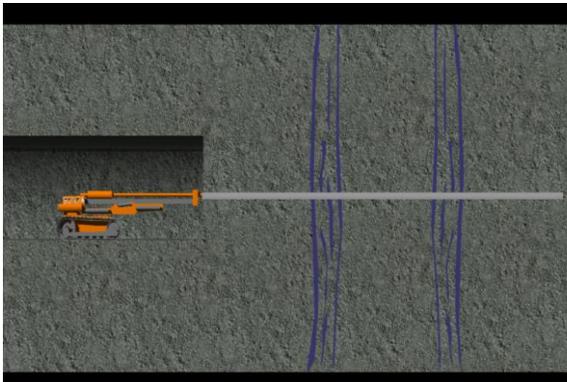
Con las preinyecciones se genera una consolidación del macizo rocoso, garantizando que no habrá diferencia de presiones en la zona afectada.

La elección del método de inyección está en función del fracturamiento y la cantidad de agua que ingresa al túnel en l/min, su presión, tipo de fracturas y las condiciones del terreno. La inyección elimina o reduce al mínimo esta filtración de aguas subterráneas previniendo el impacto sobre las aguas subterráneas y superficiales, conservando el equilibrio del ecosistema y disminuyendo el costo de bombeo.

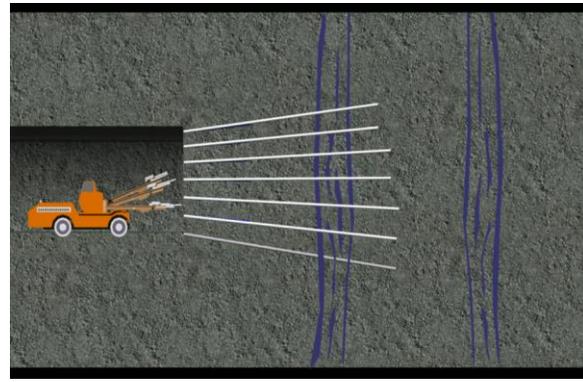
Existen dos tipos principales de materiales para ejecutar la inyección en túneles: Suspensiones a base cemento y soluciones químicas (no contaminantes), la diferencia entre ambos radica en las suspensiones de las partículas cimentadas flotando en un medio acuoso, mientras que las soluciones químicas están libres de ellas; consecuentemente las soluciones químicas tienen una mejor penetración en fisuras finas.

El macizo rocoso por el cual atraviesa el túnel de Santa Elena posee una baja permeabilidad (no almacena agua solo se transmite por las discontinuidades), situación favorable para un aislamiento del túnel frente al sistema hidrológico superficial en la mayor parte de su recorrido. Sin embargo existen algunas conexiones en las zonas de contacto y zonas de falla en el recorrido del túnel entre 10 a 30 m de espesor, las cuales permiten el paso de agua hacia el túnel. La propuesta actual es la de no admitir influencia significativa de la infiltración en el entorno del túnel. En todas las ocasiones, se requiere en la ubicación del agua subterránea esta permanezca inalterada y en caso de una filtración restituir su estado original una vez finalizadas las obras. Para

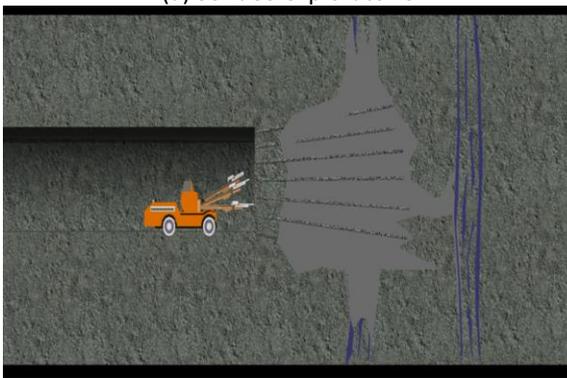
prevenir este impacto se contemplan tratamientos especiales en estas zonas identificadas, con el fin de controlar el ingreso de agua al túnel, para lo cual se implementará el sistema de preinyecciones de consolidación e impermeabilización, especialmente dirigida a las zonas de falla ó las zonas dónde se identifiquen infiltraciones de agua, con las perforaciones exploratorias sistemáticas. La base para el inicio de los trabajos de inyección es una decisión basada en los resultados e interpretación de los sondeos de reconocimiento, a partir de los cuales se observa el escenario con infiltración de agua (ver siguiente Figura).



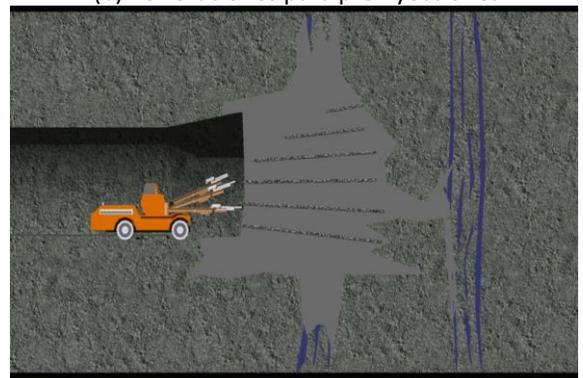
(a) Sondeo exploratorio



(b) Perforaciones para preinyecciones



(c) Inyección



(d) Avance de la excavación

El método más eficiente de realizar estas preinyecciones es realizando perforaciones en forma de paraguas en la periferia del frente del túnel, formando un abanico cónico abierto alrededor del túnel con el objeto de acompañar su ejecución, en la zona exterior a él con conductividad de agua. El número de perforaciones depende de la calidad del terreno y su inyección con cementantes acorde con un sellado moderado que es medido en “los litros de flujo de agua por minuto en una longitud de 100 metros de túnel”.

La técnica de excavación con preinyecciones maneja algunos rangos de infiltración de agua, y considera como aceptable para una excavación en seco, infiltraciones entre 20 a 40 l/min/100 metros de túnel para zonas no urbanas y coberturas mayores a 30 m, sin embargo no existe un criterio definido como norma, sino rangos definido por proyecto, país o indicados por los constructores.

Estas inyecciones, a diferentes presiones, realizan un sellado de las fisuras presentes y los posibles caminos por donde pueda llegar al túnel el agua de infiltración, logrando conformar una barrera

externa en el perímetro del túnel con un sellado para lograr el objetivo de conservar el estado de equilibrio natural de estas aguas en el macizo rocoso y minimizar el ingreso de agua al túnel.

Los pasos para desarrollar estas preinyecciones son los siguientes:

1. De acuerdo con las condiciones del frente de excavación se debe definir si es necesario la aplicación de una capa de concreto lanzado que garantice el sellado de fisuras o grietas por donde se puedan presentar reflujos de la inyección y/o agua de infiltración.
2. Longitud y número de barrenos: De acuerdo con el tipo de terreno y el agua de infiltración detectada en el sondeo se identifica la longitud y cantidad de barrenos a perforar e inyectar en forma de abanico cónico con un ángulo de inclinación entre 5 y 10° con respecto al eje del túnel, generalmente la longitud es menor de 30 m y va asociada al diámetro del barreno (51 o 64 mm) buscando que no se atrape los elementos durante la perforación.
3. La cantidad de barrenos debe estar basada en el tamaño del túnel, los riesgos y la estanqueidad requerida. En la primera etapa de la preinyección los barrenos están separados entre 1.5 y 3 m formando este abanico, en la medida que se requiera colocar mayor cantidad de inyección y perforaciones porque la tasa de infiltración sea mayor a la permitida, estas se realizan en el punto medio de la distancia entre barrenos.
4. Perforación: Siguiendo las indicaciones del geólogo y con la hidrología confirmada se prepara el jumbo Boomer E2C o similar y las brocas, barrenas y demás recursos necesarios para proceder a realizar las perforaciones.
5. Durante la perforación se registra la velocidad de perforación, la aparición de zonas de debilidad, cantidad de agua de infiltración o de pérdida de agua por perforación y demás datos requeridos y registrados por el jumbo los cuales aportan información para definir las acciones siguientes a tomar durante la inyección.
6. Lavado de los barrenos: Una vez terminada la perforación se debe realizar un lavado de cada barreno con agua a 10 bares de presión combinada con aire comprimido a través de una manguera la cual va hasta el fondo del barreno, y se retira durante la descarga.
7. Si hay zonas del barreno que pueden colapsar o sobre-excavar por el chorro del lavado o si la producción del agua del barreno es superior a 10 litros/min no se debe realizar este proceso de lavado. El supervisor decide y registra que barrenos no serán lavados.
8. Colocación de obturadores: El obturador suele colocarse a una profundidad entre 0.5 a 3m, luego de colocado el obturador en cada barreno debe inyectarse en un solo paso, sin embargo cuando hay alta presión de agua subterránea, roca débil o deslizamiento del obturador puede ser necesario colocarlo a profundidades incluso superiores a 5m, siempre evitando la salida del agua de infiltración.
9. Los obturadores se van instalando en cada barreno siguiendo la secuencia en la que se va a realizar la inyección (del punto más bajo al punto más alto).
10. Inyección: La inyección se realiza de acuerdo con el agua observada en el sondeo, comenzando desde los barrenos de abajo hacia arriba o clave del túnel hasta que todos los barrenos se inyecten.
11. El criterio para terminar esta inyección está basado no superar la tasa de infiltración permitida, que según el estudio hidrogeológico descrito más adelante es del orden de 30 l/min por 100 metros de túnel. Sin embargo dicho valor puede variar una vez se corra el modelo en el estado transitorio.
12. Se prepara la mezcla según el diseño escogido para las condiciones del terreno garantizando la fluidez requerida, el tiempo de fraguado, con resistencia a edades tempranas y la decantación

- o exudación, empleando aditivos plastificantes, reductores de agua, acelerantes para lograr lechadas de microcemento (menor a 20 $\mu$ m), lechada de microcemento con adición de bentonita pre hidratada, lechada de microcemento con adición de aditivos líquidos, etc.
13. Preparación de la mezcla: Para la preparación se emplean equipos mezclador coloidal con una velocidad de impulsor no inferior a 1500 RPM, con agitador y regímenes de bombeo de baja (2-10 bar) y alta (10- 100bar) presión, tipo UNIGROUT MINIFLEX E 110-B15 o similar.
  14. Los pasos para preparar la mezcla son:
    - a) Se debe añadir toda el agua de un lote al mezclador.
    - b) Añadir la cantidad de cemento correspondiente al diseño.
    - c) Añadir los aditivos definidos en el diseño.
    - d) Mezclar durante 2 minutos, mayor o menor tiempo pueden generar problemas de aumento de temperatura o grumos floculados respectivamente.
    - e) Transferencia al tanque agitador.
    - f) Mantener la lechada en agitación lenta en todo momento.
    - g) En caso de emplear acelerantes de fraguado aplicados en la mezcladora se debe usar la lechada antes de iniciar el proceso de fraguado y/o utilizar la técnica de aplicación impulsando el acelerante con una bomba peristáltica o similar para garantizar una dosificación controlada, usando una válvula de no retorno conectada a la línea en la cabeza del obturador.
  15. Control de presión: La presión máxima debe ser evaluada sobre una base de funcionamiento y comprobada contra condiciones locales del túnel. Condiciones muy malas de roca en el frente con alta columna hidrostática y reflujos existentes, serán indicadores de que la presión máxima debe ser limitada, incluso si la cobertura de roca se encuentra a cientos de metros. La presión máxima permitida debe ser al menos 50 bar por encima de la columna hidrostática, a menos que se presenten las condiciones locales anteriormente mencionadas que requieran limitar la presión a un nivel inferior.
  16. La presión máxima permitida debe ser utilizada desde el comienzo de la inyección (siempre y cuando la bomba pueda entregar caudal de salida para llegar a esta presión) hasta que:
    - a) La lechada no es aceptada por el terreno a la máxima presión permitida de bombeo (rechazo), ó
    - b) La máxima cantidad especificada de lechada por el barreno se ha alcanzado.

Con este método la cantidad de lechada que se puede colocar será bombeada en el menor tiempo posible y trabajando a la máxima presión posible. Esto proporciona un máximo de penetración en grietas finas y juntas.

a. Aplicación de la inyección

1. Se comienza desde los barrenos inferiores en el frente y hacia la parte superior . Por otro lado los barrenos con la entrada de agua más grande deben ser inyectados en primer lugar, así como el barreno del sondeo.
2. Un barreno se termina cuando la presión máxima permitida está dando menos de 2 l/min de flujo durante un periodo de 2 minutos, o cuando la cantidad máxima especificada de lechada por barreno (1000 a 1500 kg de cemento) se ha inyectado. Si se detecta el reflujo de lechada en el agua en el túnel, se debe minimizar mediante la reducción de la potencia de la bomba y/o usando un acelerador de fraguado.

3. Si en la inyección se interconectan barrenos en estos se deben cerrar las válvulas de los obturadores y seguir inyectando por el actual, en este caso el monto máximo de inyección es el valor obtenido de multiplicar la cantidad máxima por barreno por el número de barrenos conectados. Si se alcanza la presión máxima antes de alcanzar la cantidad máxima, los barrenos conectados deben ser inyectados por si toman cualquier lechada.

b. Control de calidad sobre la lechada de inyección

- Resistencia a la compresión en cubos,
- Viscosidad medida con el cono Marsh
- Decantación o exudación
- Tiempos de fraguado

c. Registros de la inyección

Deben obtener datos generales como Frente de trabajo, localización (abscisa), fecha, hora, turno, ubicación e identificación de los barrenos, medida del flujo de agua. Por cada barreno se indica longitud y diámetro de perforación, profundidad del obturador, hora inicial y final (duración) de inyección, mezcla utilizada, presión inicial y final, cantidad total de mezcla inyectada, flujo de retorno y/o conexiones con otros barrenos.

17. Barrenos de control: Una vez se ha cumplido el tiempo de fraguado de la mezcla y verificada la resistencia inicial, se procede a realizar un mínimo de 4 barrenos de control en los puntos que considerada como críticos para verificar la estanqueidad del sector inyectado con una longitud inferior a la perforación realizada en la inyección. En caso de encontrar filtraciones mayores a las permitidas se reinyecta por estos mismos barrenos con el fin de rellenarlos y sellarlos con una presión máxima de 20 bar o si la cantidad inyectada alcanza los 300kg.

#### 2.2.4.6.3.3 *Instalación de pernos en el frente de excavación del túnel*

El pernado del frente de excavación o pre confinamiento del frente es a menudo necesario para solucionar problemas de estabilidad del terreno todavía por ser excavado, el cual puede perder parte de su cohesión y su rigidez a causa de las sobretensiones provocadas por el adelanto de la excavación misma.

En estos casos, se hace necesaria una intervención para:

- ♣ Aumentar la cohesión y rigidez del terreno en el frente del túnel todavía por ser excavado.
- ♣ Crear un pre-confinamiento y una estabilización del frente de excavación durante las fases de avance.

El elemento estructural es una barra de sección rectangular en fibra de vidrio, revestida con arena de cuarzo de tal modo que pueda aumentar la adherencia con los materiales de inyección, su empleo refuerza el terreno y reduce en manera sustancial el riesgo de colapsos del frente de excavación así como los valores de convergencia en la parte del túnel ya excavada.

El avance de la excavación es garantizado por la baja resistencia al corte del vidrio, la que permite su demolición con medios de excavación.

Su secuencia de instalación es:

- Marcación de los pernos a instalar en el frente de excavación, según diseño

- Se perfora el terreno con el jumbo Boomer E2C o similar a la profundidad definida
- Se instalan los pernos de fibra dentro de los barrenos perforados
- Se realiza la inyección de los pernos, con bomba MAI de baja presión o similar según las presiones de diseño
- Se deja que fragüe la lechada inyectada antes de proceder a excavar.

#### 2.2.4.6.3.4 Ciclo de excavación por perforación y voladura

##### **Replanteo, perforación de barrenos, cargue y detonación:**

Después de los anteriores tratamientos de presostenimiento se continúa con la perforación de barrenos de una longitud, diámetro y distribución preestablecidas en el diagrama de voladura. La perforación se ejecuta con equipos tipo jumbo de mínimo dos brazos tipo Boomer E2C o similar. Luego se realiza el cargue según el diseño y la voladura para el avance la excavación, las cuales son del tipo voladuras controladas con el uso de indugeles o emulsión a granel, cordón detonante y/o detonadores electrónicos en la costura o periferia de la sección con el fin de minimizar el fracturamiento del contorno de la misma y por consiguiente lograr una mínima sobreexcavación e ingreso de agua al túnel. Ver siguiente figura.



Equipo jumbo para perforaciones de avance de excavación.

Después de realizada la voladura se debe ventilar la zona hasta tanto salgan los gases producidos por el material explosivo y luego se debe hacer una limpieza del contorno (desabombe) para garantizar la seguridad del personal y equipo en la zona de trabajo.

##### **Ciclo de excavación mecánica:**

Para el caso en el cual las condiciones geomecánicas del macizo sean muy desfavorables para el uso de explosivos se utilizará el método de excavación mecánico, con el uso de pala excavadora, y/o martillos hidráulicos montados en excavadoras y/o martillos demolidores manuales ejecutando la excavación hasta una longitud pre-definida según el tipo de terreno.

##### **Rezaga y tratamiento de soporte**

La rezaga consiste en el retiro, cargue y transporte con cargador y volquetas del material excavado del frente hasta dejarlo limpio.

El sostenimiento del frente puede ser con la colocación de arcos de acero, concreto lanzado y pernos de anclaje distribuidos de acuerdo con lo indicado en los planos y/o especificaciones de

obra para cada tipo de terreno según la clasificación geomecánica del macizo rocoso evaluado por el geólogo.

Durante todo el proceso de excavación se utilizará el método observacional, con el control permanente de lecturas e interpretación de las mediciones de convergencias (deformación de la sección) con el fin de implementar en cada tipo de terreno, sea adicionando o disminuyendo el sostenimiento diseñado.

### Control de convergencia y velocidades de deformaciones

El control de la convergencias o medición de los desplazamientos del terreno en el túnel, se realiza mediante la instalación de argollas en el perímetro del túnel (ver siguientes figuras) conformando una estación, colocadas en una separación entre estaciones específica asociada al tipo de terreno, como se indica en los planos o especificaciones. Con el uso de un extensómetro se determina la distancia entre argollas de la misma estación, al iniciar el control y luego se continúan mediciones periódicas para determinar las diferencias entre ellas, mostrando así los desplazamientos del terreno se calculan así las velocidades de deformación hasta cuando se obtengan unas diferencias con resultados inferiores a 2 mm/mes, deformación considerada como estable para continuar con las demás actividades de la construcción.

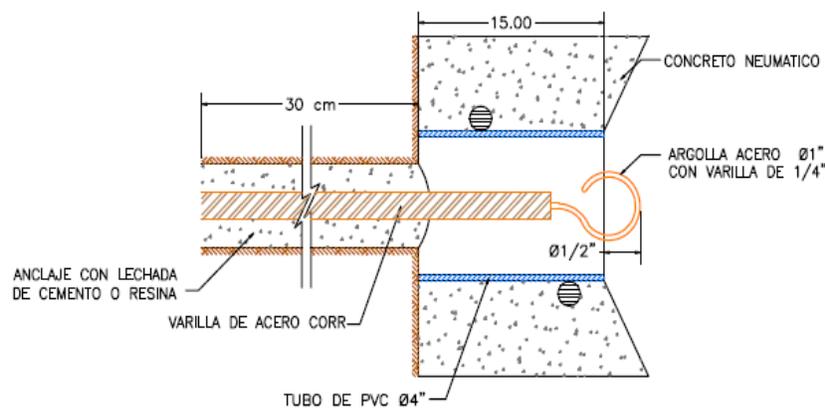


Figura 2-10 - Argolla para lectura de convergencia

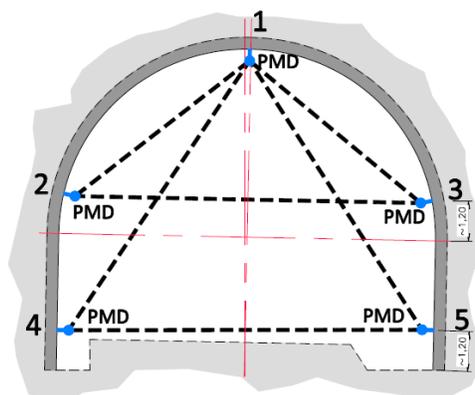


Figura 2-11 - Estación para mediciones de convergencia

Después de la protección de la excavación y una vez estabilizadas las convergencias, a partir de esta etapa se realizan las siguientes actividades complementarias para la operación del túnel:

- Impermeabilización geotextil, fitros, geomembrana
- Revestimiento definitivo acero, concreto convencional
- Inyección de contacto
- Pavimentación sistema de drenaje, estructura de pavimento, acero, concreto

#### 2.2.4.6.4 Equipos:

Tabla 2-10 - Equipos para el proyecto

EQUIPO	CANTIDAD
Jumbo Hidráulico con 2 Brazos, ATLAS COPCO Boomer E2C	1
Robot proyección de concreto	1
Cargador frontal CAT 966 o similar	1
Camión dobletroque 14 m <sup>3</sup>	6
Retroexcavadora CAT 428E o similar	1
Excavadora CAT 320 D o similar	1
Martillo hidráulico	1
Manipulador telescópico.	1
Camión mezclador cap. 8 m <sup>3</sup>	3
Central mezcladora	1
Compresor estacionario Atlas Copco GA- 115	1
Generadores 375Kva	2
Ventiladores 350 Kw	1
Sonda de perforación U6 ATLAS COPCO	1
Bomba de inyección de lechada Unigrout	1
Martillo de fondo	1
Bombas para aguas industriales, sumergibles 5-40 hp	

Fuente: Integral 2.010

## 2.2.5 Plazoletas en los portales

Las plazoletas en los portales se diseñaron considerando las necesidades de espacio en las mismas, de tal forma que los espacios de las plazoletas del Túnel Seminario fueron optimizados sólo para los emportalamientos requeridos. En los portales del Túnel de Santa Elena se diseñaron sendas plazoletas para ser utilizadas inicialmente con las instalaciones de construcción y posteriormente contendrán los edificios de operación y control y otras obras relacionadas con la operación del túnel largo.

### 2.2.5.1 Plazoletas Túnel Seminario

#### Plazoleta del portal sur - Palmas:



Figura 2-12 - Plazoleta Portal Palmas - Túnel Seminario

Esta plazoleta está localizada en la cota 1.763,69, tiene un área total de unos 3.125 m<sup>2</sup>, los taludes en corte se diseñaron con pendientes de 1,0 H:1,0V y el tratamiento de los taludes está definido por un sistema de anclajes activos con una pantalla en concreto reforzado. El contorno superior de los cortes se protegerá con rondas de coronación. Los detalles de la plazoleta y de los tratamientos de los taludes se muestran en el plano AO-VI-TB-003.

#### Plazoleta del Lazo 3:

Esta plazoleta está localizada a la cota 1.767,56 y tiene un área total de 930 m<sup>2</sup>. Los taludes en corte se diseñaron con pendientes de 1,0 H:1,0 V. El tratamiento de los taludes está definido por un sistema de anclajes activos con una pantalla en concreto reforzado. El contorno superior de los cortes se protegerá con rondas de coronación. Los detalles de la plazoleta y de los tratamientos de los taludes se muestran en el plano AO-VI-TB-004.

#### Plazoleta del portal norte - Marianito:

Esta plazoleta está localizada en la cota 1 809,50 y tiene un área total de unos 1 830 m<sup>2</sup>. Su diseño contempla un área adicional para cubrir el espacio requerido para el emportalamiento del segundo tubo del túnel.

Los taludes en corte se diseñaron con pendientes de 1,0 H:1,0 V. El tratamiento de los taludes está definido por un sistema de Soil Nails con pantalla en concreto reforzado. El contorno superior de los cortes se protegerá con rondas de coronación. Los detalles de la plazoleta y de los tratamientos de los taludes se muestran en el plano AO-VI-TB-005.

## 2.2.5.2 Plazoletas Túnel Santa Elena

### 2.2.5.2.1 Plazoleta del Portal Occidental:

Esta plazoleta está localizada aproximadamente en la cota 2.020 y tiene un área total de unos 9.400 m<sup>2</sup>; se conformó en su mayor parte por un terraplén a ejecutar sobre el boxculvert de cobertura a la Quebrada la Aguadita con material proveniente de las excavaciones del túnel.



Figura 2-13 - Plazoleta Portal Occidental - Túnel Santa Elena

La obra proyectada consiste en una cobertura sobre la quebrada La Aguadita con una sección mixta: su parte inferior es rectangular de 5.0 m de ancho y 1.5 m de alto; su parte superior es semicircular con radio 2.50 m. La longitud total de la cobertura será de 140m, el fondo de cauce se mantendrá intacto con la finalidad de no modificar las condiciones ambientales en la quebrada.

Es de anotar como la obra proyectada tiene la capacidad suficiente para conducir y evacuar las crecientes asociadas a un periodo de retorno de 100 años, incluso considerando una capacidad adicional para crecientes torrenciales con arrastre de materiales.

Como fundación del box, se construirán pilas de 1.20m de diámetro, las cuales están localizadas en las zonas donde el suelo residual es más espeso, esto permite garantizar una adecuada transferencia de las cargas al terreno, minimizando el riesgo de deformaciones en la pata del box.

De acuerdo con el análisis geotécnico del sitio a partir de las exploraciones realizadas, se definió un sistema de estabilización consistente en pilas con un diámetro  $D=1.30m$ , moduladas cada 3.0m en planta, con una longitud exenta de 11.0m y una longitud empotrada 9m, teniéndose una

longitud total teórica de 20.0m. El lleno en el trasdós del tablestacado se realizara a un metro por debajo de la cota de enrase de las pilas. Adicionalmente el sistema contara con dos anclajes activos por unidad de pila modulados a partir de la parte superior de las pilas a 3m y 8m. Estos deberán ejecutarse para garantizar la estabilidad global, controlar que los esfuerzos y deformaciones en las pilas sean tolerables. En la siguiente figura se presenta una sección del tablestacado donde se puede apreciar la geometría y modulación de los anclajes.

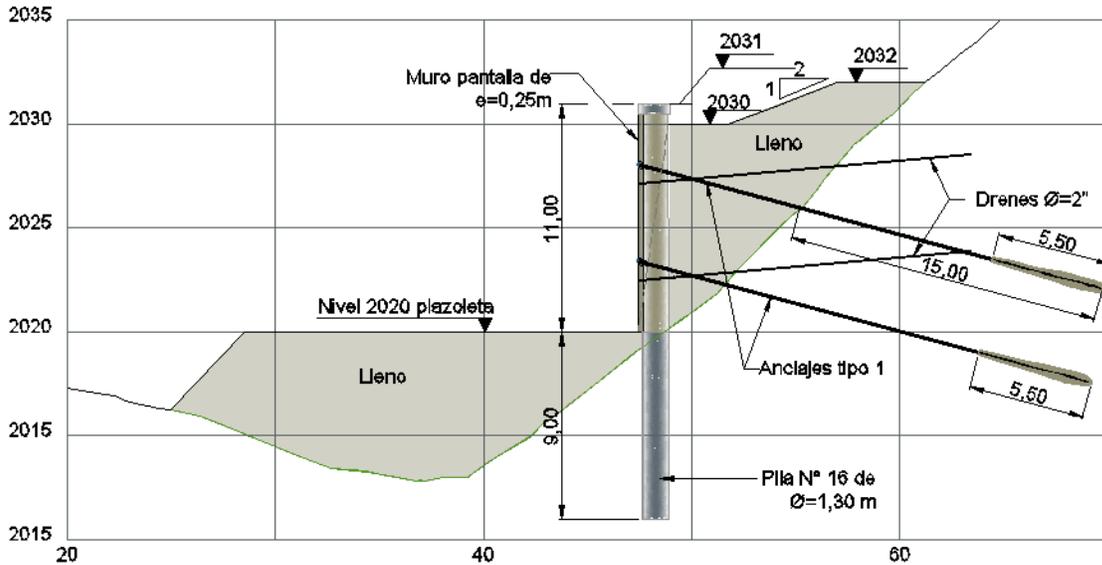


Figura 2-14 - Sección tablestacado y modulación anclajes Box Q. Aguadita

Para el portal como tal, se construirá una pantalla en pilas anclada; en su parte alta, se construirá un sistema de anclajes para garantizar los factores de seguridad mínimos en la zona, es importante resaltar como en la parte alta del portal no se aprecian procesos morfodinámicos activos o antiguos los cuales den indicios de inestabilidad de la ladera, sin embargo, con el fin de monitorear el comportamiento de los materiales junto con el régimen de aguas antes, durante y después de las obras se instalarán inclinómetros y piezómetros los cuales faciliten analizar el efecto de las excavaciones subterráneas.

Para las maniobras por realizar en la plazaleta, se proyectó un cruce vehicular a desnivel con respecto a la vía principal y evitar así accidentes con los vehículos que circulan por allí.

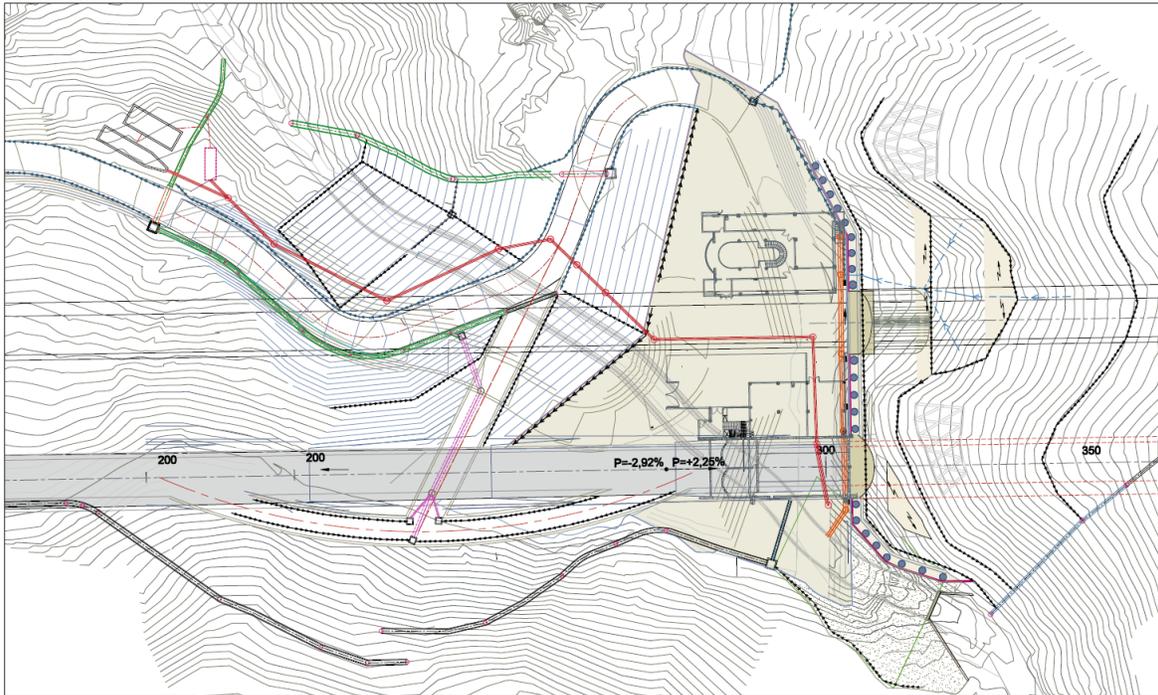


Figura 2-15 - Detalle Plazoleta Portal Occidental Túnel Santa Elena

Los detalles de la plazoleta y de los tratamientos de los taludes se muestran en los planos AO-VI-TS-003 y 004.

#### 2.2.5.2.2 Plazoleta del portal oriental

Esta plazoleta está localizada aproximadamente en la cota 2.200 y tiene un área total de unos 6.200 m<sup>2</sup>, conformada básicamente por corte.

La zona del portal Oriental desde el punto de vista hidráulico, se ve afectada por la presencia de varias corrientes con aguas permanentes; en primer lugar está el denominado Afluente 1 el cual transcurre en dirección aproximada occidente-oriente y descarga en la parte superior de las excavaciones del portal. El denominado afluente 2, transcurre en dirección sur norte y afectara el talud derecho del portal del túnel, y finalmente, en la parte nor-oriental transcurre la quebrada Sajonia, el cual presenta una curva que produce un cambio de dirección para seguir paralela a la vía en la dirección occidente-oriente. (Ver la siguiente figura).

Con la finalidad de otorgar al portal oriental un sistema de drenaje superficial adecuado, según las condiciones existentes y proyectadas del sitio, y controlar los procesos erosivos en la zona, es necesario desarrollar las siguientes obras.

- ♣ Canalización del denominado afluente 1 (Canal 2): su finalidad es captar y conducir este afluente en sentido occidente-oriente por la parte superior de la reconfiguración.
- ♣ Instalación del Canal 1, el cual captará el afluente 2 para luego hacer la entrega en la rápida escalonada que bajará por el talud de la vía.
- ♣ Un box couvert recibirá la descarga de la rápida del talud, pasará bajo las calzadas y la plazoleta del portal y, finalmente, descargará en la quebrada Sajonia.

- ❖ Instalación de un Canal 3 el cual captará y conducirá controladamente la escorrentía que confluye al deslizamiento actual. Además, recibirá la descarga del sistema de cunetas por instalar en la parte superior del deslizamiento. La descarga de este canal será a la quebrada Sajonia, unos 200 m aguas arriba del sitio del portal.
- ❖ Un sistema de cunetas y rondas de coronación interceptarán las líneas de flujo superficiales que intenten alcanzar la corona de los taludes.
- ❖ Otro sistema de cunetas se instalará sobre el tratamiento de la parte inferior del deslizamiento. Ellas recibirán, además de la escorrentía superficial, la descarga de los drenes subhorizontales instalados en esa zona. Estas cunetas descargarán al Canal 4, el cual a su vez descargará en el canal 2.
- ❖ Cunetas perimetrales a nivel de plazoleta, donde recogerán la escorrentía superficial en ese nivel y la descargarán al Box Culvert.
- ❖ Un cárcamo en el nivel más bajo del paso a desnivel, cuya descarga será a una línea de alcantarillado la cual irá paralelo a la vía hasta descargar en la abscisa km18+662.

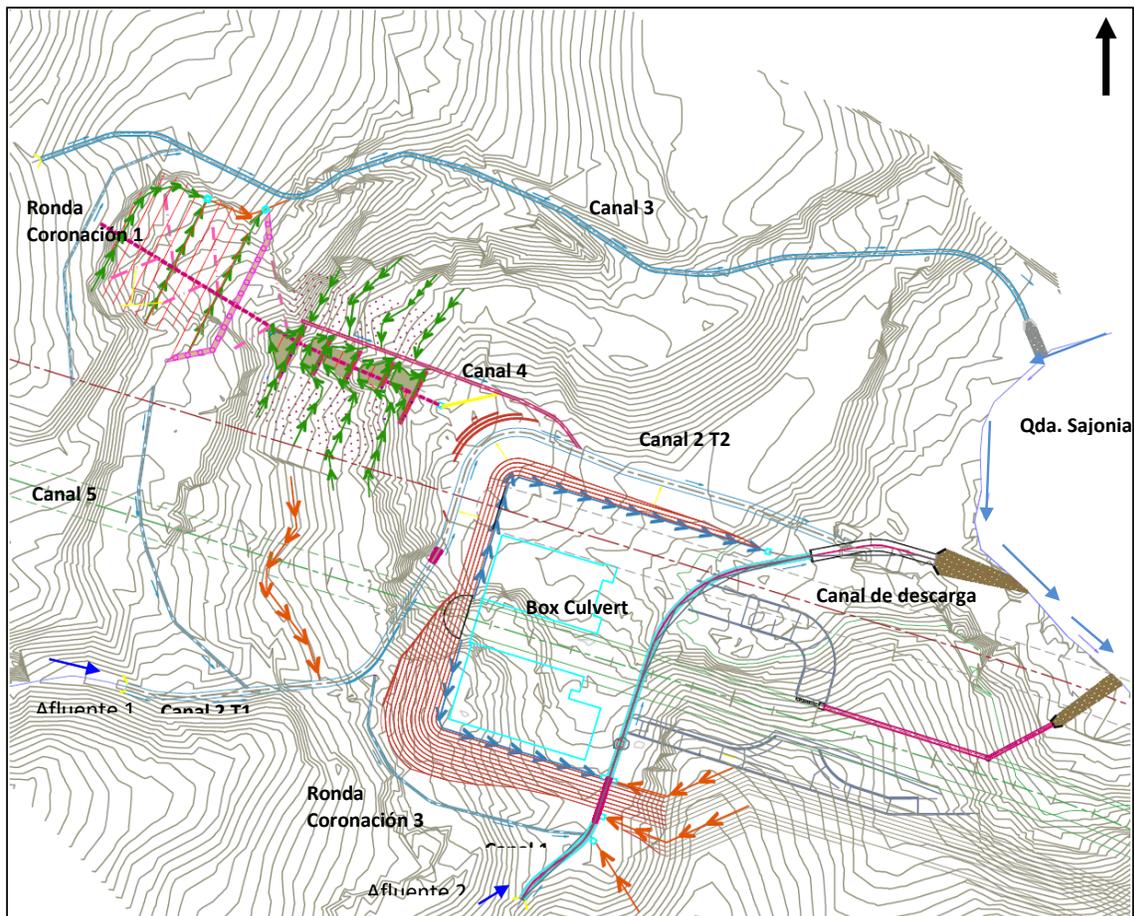


Figura 2-16 - Esquema del sistema de drenaje portal oriental

Según los estudios y análisis hidráulicos e hidrológicos de la zona se diseñaron y definieron las dimensiones de las diferentes obras hidráulicas a construir, las cuales se resumen a continuación y se pueden observar en la siguiente gráfica:

Tabla 2-11- Dimensiones obras hidráulicas Portal Oriental

Nombre de la obra	Ancho (m)	Altura (m)
Canal 1	1,30	1,30
Canal 2	2,00	1,70
Canal 3	0,90	0,90
Canal 4	0,60	0,60
Canal 5	0,60	0,60
RC1	0,50	0,50
RC2	0,50	0,50

Fuente: Inteinsa 2.012

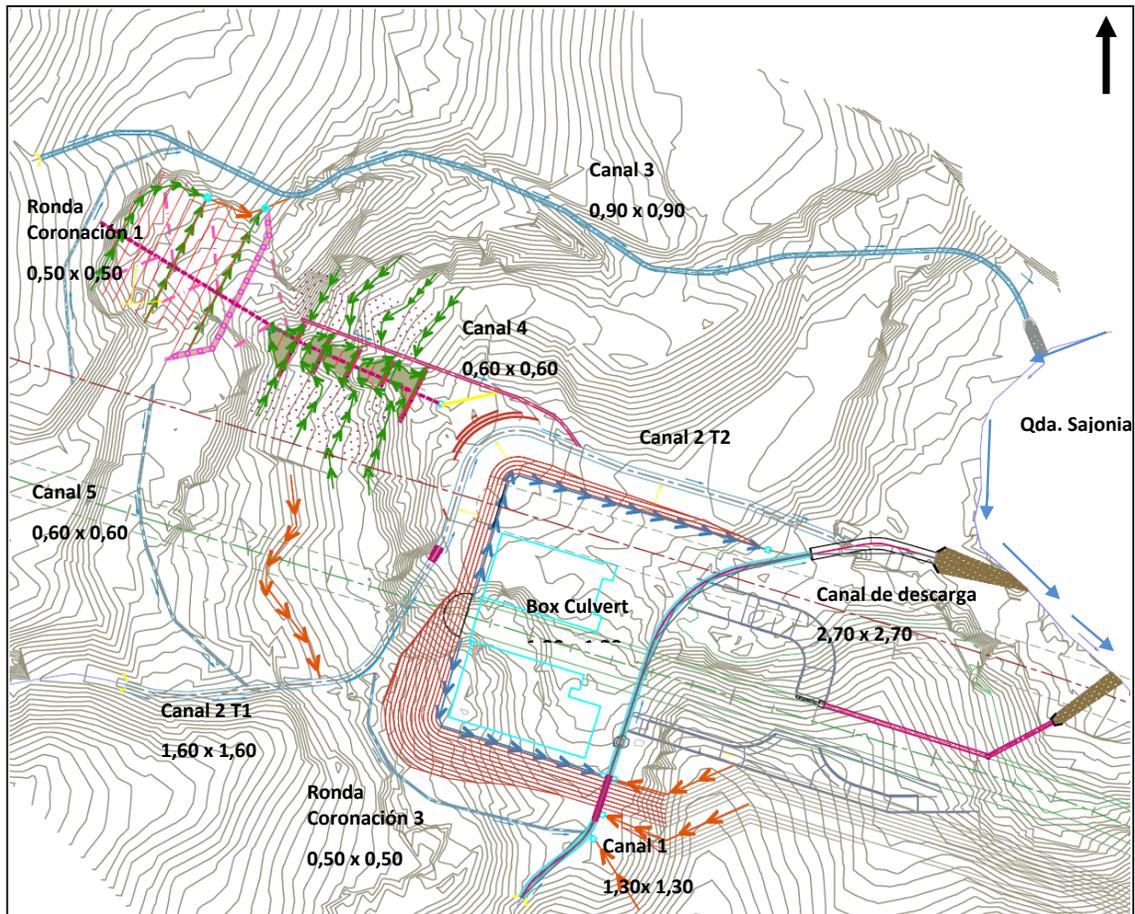


Figura 2-17 - Esquema de localización y dimensiones de las obras hidráulicas proyectadas.

De acuerdo con los estudios y análisis geológicos, geotécnicos y que han tenido en cuenta los procesos morfodinámicos presentados en la zona, a continuación se enuncian los tratamientos a realizar a cada uno de los taludes ubicados en éste portal:

Tabla 2-12 - Tratamientos de taludes de los portales

Talud	Clasificación del macizo/RMR	Tipo	Localización	Cotas	Espaciamiento		Longitud (m)	Espaciamiento Drenes (m)		Longitud Dren (m)
					Horizontal	Vertical		Horizontal	Vertical	

Talud	Clasificación del macizo/RMR	Tipo	Localización	Cotas	Espaciamiento		Longitud (m)	Espaciamiento Drenes (m)		Longitud Dren (m)
					Horizontal	Vertical		Horizontal	Vertical	
Derecho	Roca tipo III / (RMR 41-60)	Pasivo - Perno	Sistemáticos	2226-2210	2	2	9	2	2	10
	Roca tipo II / (RMR 61-80)	Pasivo - Perno	Localizados	2210-2200	3	3	6	2	2	8
Frontal - Roca sur	Roca tipo III / (RMR 61-80)	Pasivo - Perno	Sistemáticos	2226-2210	2	2	9	2	2	10
Frontal - Suelo	Roca Tipo V / (RMR<20)	Pasivo - Perno	Sistemáticos	2206-2203	2	2	9	2	2	10
Frontal - Roca	Roca Tipo II / (RMR 61-80)	Pasivo - Perno	Localizados	2203-2200	3	3	6	2	2	8
Frontal - Suelo	Roca Tipo V / (RMR<20)	Pasivo - Perno	Sistemáticos	2206-2204	2	2	9	2	2	10
Izquierdo - Suelo	Roca Tipo V / (RMR<20)	Pasivo - Perno	Sistemáticos	2206-2204	2	2	9	2	2	10
Izquierdo - Roca	Roca Tipo II (RMR 61-80)	Pasivo - Perno	Localizados	2204-2200	3	3	6	2	2	8

Fuente: Inteinsa 2.012

Los tratamientos estipulados en la tabla anterior se detallan en el plano P-2284-TS-PE-03 y en las siguientes figuras:

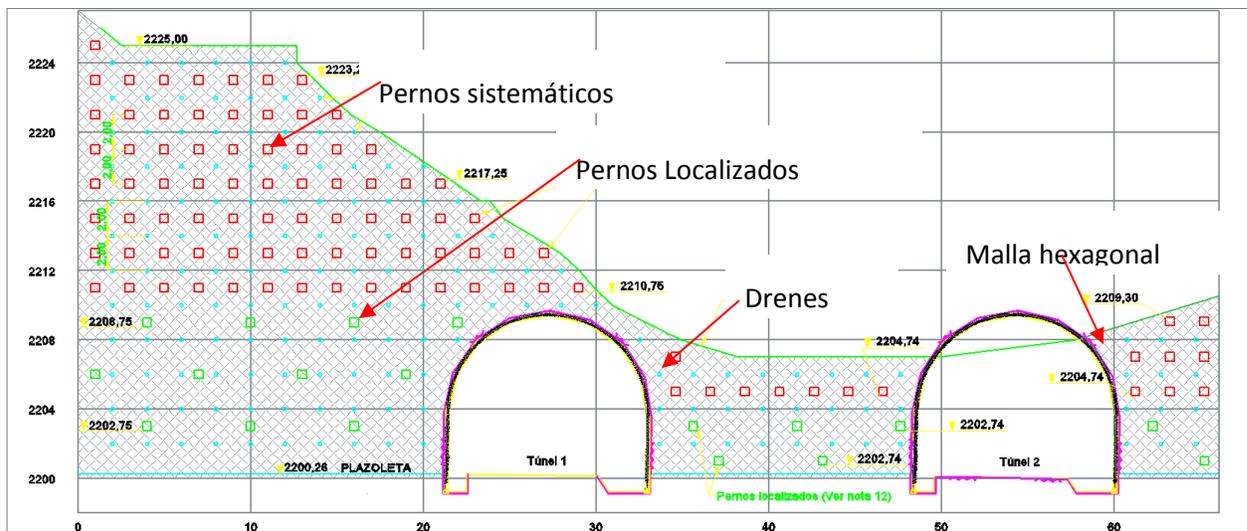


Figura 2-18. Tratamiento propuesto talud frontal

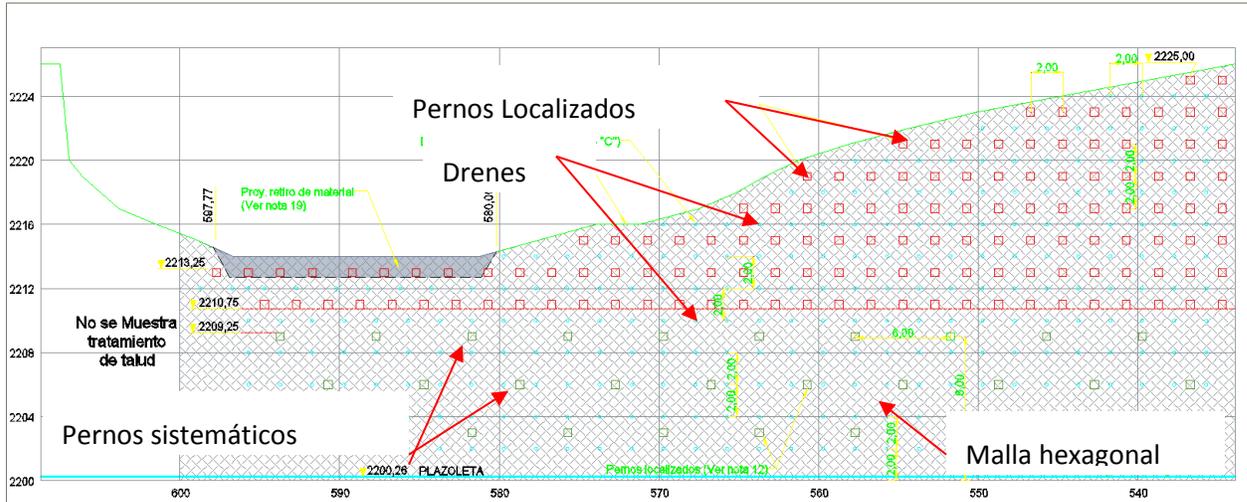


Figura 2-19. Tratamiento propuesto talud derecho

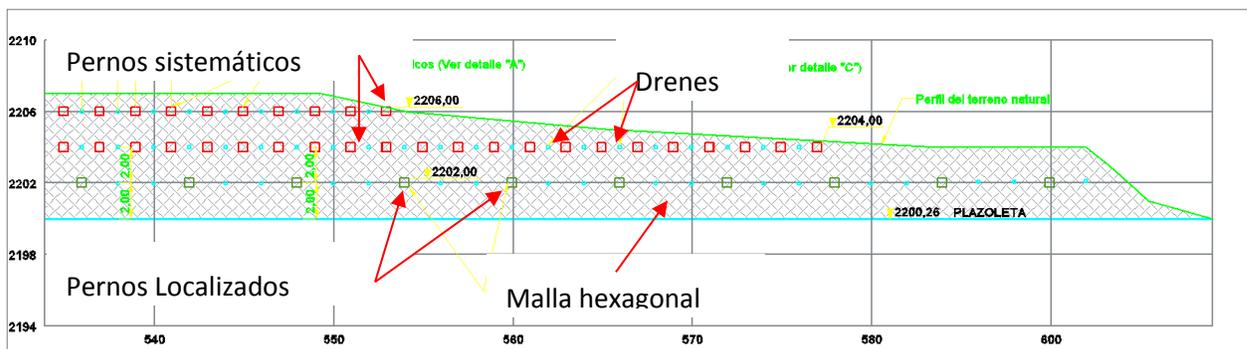


Figura 2-20. Tratamiento propuesto talud izquierdo

A continuación, se hace una breve descripción de los sistemas que hacen parte del tratamiento a emplear en los taludes, su geometría y justificación.

- ♣ Pernos Sistemáticos: anclajes pasivos, de 9m de longitud, están localizados en todos los taludes, su construcción es obligatoria para todos los frentes de roca tipo III, IV y V, su implementación es fundamental para tratar las fallas detectadas en los análisis cinemáticos y los tramos de roca más débiles del macizo rocoso.
- ♣ Pernos Localizados: anclajes pasivos, de 6 m de longitud, se emplearán únicamente en taludes de roca tipo II ó I, solo donde se requiera, su implementación, depende del RMR medido en campo.
- ♣ Drenes Subhorizontales: la zona del portal oriental, se caracteriza por la presencia de varios cauces, canales naturales y afloramientos de aguas, los cuales han propiciado la ocurrencia de procesos como los que actualmente se aprecian en la parte alta del portal, adicionalmente, con base en los análisis cinemáticos, se determinó que la presión hidrostática es quizás la que más reduce los factores de seguridad de las fallas, por esta razón, se deben construir drenes subhorizontales sobre todos los taludes del portal para reducir presiones en las discontinuidades y mejorar el drenaje en los procesos propiciados por estas aguas; es

obligatoria su implementación, ya que estos garantizan el adecuado comportamiento de los pernos y taludes.

- ♣ Malla para caída de bloques: presenta dos funciones, uniformizar y mejorar el efecto del sistema de pernos propuestos y evitar la caída de bloques en aquellas zonas donde la roca este fuertemente fracturada, su colocación es de carácter obligatorio, ya que funciona como complemento a los tratamientos anteriormente mencionados. Se usará una malla de buenas especificaciones de acuerdo a las normas ASTM estipuladas en los planos P-2284-TS-PE-03, 04 y 05.
- ♣ Concreto lanzado: en aquellas zonas donde el macizo presente un fracturamiento importante ó en aquellos tramos de roca tipo IV o V, se empleará una capa de concreto lanzado para mejorar las condiciones del frente de excavación.

Los detalles de la plazoleta y de los tratamientos de los taludes se muestran en los planos AO-VI-TS-006 y 007.

### 2.2.6 Edificios de Control

En cada uno de los portales del túnel de Santa Elena se dispuso la construcción de un edificio en el cual se concentran las funciones propias de administración y control del túnel en operación y las obras complementarias correspondientes a su atención, seguridad y vigilancia.



Figura 2-21 - Edificios de Control

El diseño y la solución formal de los edificios se definieron a partir de los condicionantes físicos establecidos tales como las vías de acceso, los determinantes geográficos como topografía, orientación y paisaje, del terreno así como los requerimientos de espacio para la ubicación de los equipos.

Los edificios se dividen en tres módulos independientes, comunicados interiormente e integrados formalmente, con un área total construida de 1.792 m<sup>2</sup>, tal como se puede observar en el gráfico anterior y en los planos AO-BI-ED-001 – 005.

El primer módulo, conformado por cuatro niveles, está destinado a las funciones de administración y control, el segundo módulo corresponde al acceso al túnel y la ubicación de equipos de ventilación y de aire acondicionado y el tercero a las plantas generadoras de energía a base de diesel y a los respectivos transformadores.

El primer módulo tiene cuatro niveles desarrollados alrededor de un espacio central, como ordenador espacial del mismo y una circulación perimetral a este espacio que reparte a las diferentes dependencias que lo conforman; se accede a él desde la plazoleta exterior. Los espacios en el primer piso se ubicaron con acceso directo del exterior, según su función y necesidades. Se localizaron en este nivel las salas para primeros auxilios y médico, áreas para mecánicos, bomberos y comunicaciones, taller y depósito, portería, ascensor y demás servicios complementarios. El segundo nivel es en parte para un cuarto de tableros eléctricos y zona para oficinas. En el tercer nivel se localizaron la sala de operación, la sala de servidores, la oficina con espacio para la secretaria y la zona de servicios. El cuarto nivel corresponde a la terraza de cubierta del edificio y en ella se ubicaron el cuarto de máquinas del ascensor y los tanques de agua. El ascensor se especificó con capacidad de carga y atiende los cuatro niveles del edificio.

El segundo módulo conforma en el primer nivel el portal de acceso al túnel. En el segundo nivel se localizaron los ventiladores y los ductos para ventilación, el área para montaje y desmontaje de los mismos ventiladores y los pasillos de circulación que lo comunican con los módulos 1 y 3. En el tercer nivel se diseñó una terraza en la que se localizan los equipos de aire acondicionado del edificio.

Las plantas eléctricas, los transformadores y el tanque de combustible, se localizaron en el primer piso del tercer módulo, con acceso peatonal y vehicular directos desde el exterior. En el segundo nivel se proyectó una terraza la cual cubre las plantas diesel y que se utilizaría para la movilización de los ventiladores y demás equipos con un cuarto para CCM.

En la plazoleta exterior se localizó una portería de vigilancia y control de acceso al edificio, las zonas verdes arborizadas y zonas de parqueo. En esta última se destinó un área a parqueaderos cubiertos de vehículos para emergencias tales como grúa, ambulancia y carro de bomberos.

Para los acabados del conjunto se diseñaron varios tipos de pisos, así: en la plazoleta se especificó adoquín de concreto; en la portería, tablón de gres; en el edificio, baldosa de porcelanato, y en la zona de los transformadores, pavimento asfáltico. Para las cubiertas se diseñaron losas de concreto reforzado acabadas con ladrillo de terraza y domos de vidrio templado, y para las fachadas muros de concreto abuzardado o enchapados con piedra spacatto, muros de bloques de concreto revocados y forrados con granito blanco. Para las ventanas se especificó vidrio templado reflectivo.

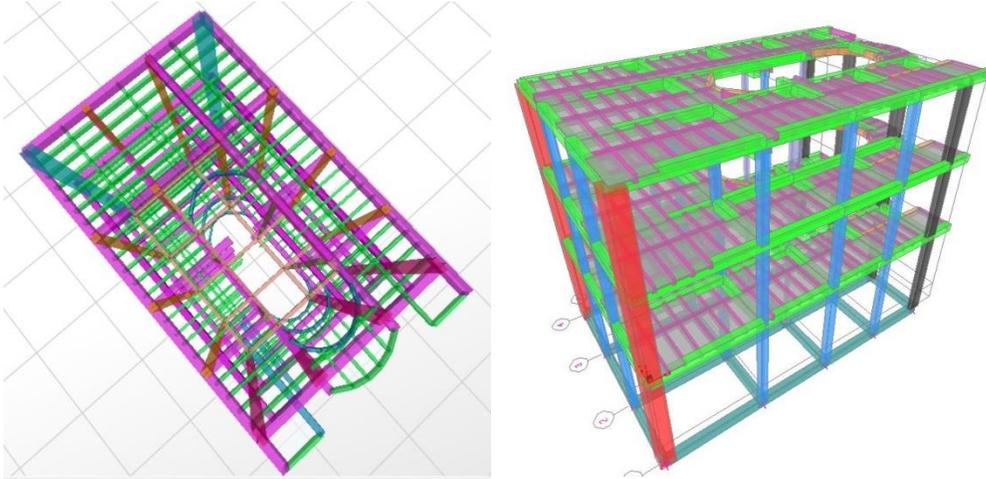
Las áreas construidas en cada uno de los edificios de administración y control son las siguientes:

❁ Área construida en el primer nivel	688 m <sup>2</sup>
❁ Área construida en el segundo nivel	739 m <sup>2</sup>
❁ Área construida en el tercer nivel	328 m <sup>2</sup>
❁ Área construida en el cuarto nivel	37 m <sup>2</sup>

♣ Área construida en la portería

64 m<sup>2</sup>

El edificio de administración está conformado estructuralmente por losas aligeradas, vigas y columnas de concreto reforzado, tal como se puede observar en las siguientes figuras. Las escaleras principales son metálicas de forma helicoidal.



## 2.2.7 Diseños Hidrosanitarios

A continuación se presentan los diseños de la infraestructura para el suministro del agua que atenderá el sistema contraincendio de los túneles y los servicios para las edificaciones de administración y control; además contempla el diseño de las redes y estructuras que servirán para el drenaje y disposición final de las aguas residuales y lluvias de las edificaciones y de las plazoletas de los portales, así como la disposición final de las aguas y líquidos provenientes de los drenajes del túnel.

### 2.2.7.1 Acueducto para el sistema contraincendio del Túnel el Seminario

Para suplir el agua del sistema contraincendio se tiene previsto derivar el caudal necesario del Tanque de Acueducto Municipal – Medellín localizado al este del portal norte del túnel, en la parte alta de la vertiente norte de La Cuchilla del Seminario, en la cota 1844 msnm aproximadamente. Dicha derivación, hasta el tanque de almacenamiento, tiene una longitud de 217 m en tubería de Ø6” en HF. Véase los planos AO-VI-SC-101 y 105.

El tanque de almacenamiento para el sistema contraincendio se diseñó con una capacidad de 150 m<sup>3</sup> de capacidad nominal, con el fin de atender una demanda del sistema contraincendio de 500 gal/min durante más de una hora. El tanque se proyectó de concreto reforzado con dos compartimientos para mantener el suministro de agua cuando se haga mantenimiento en uno de ellos.

Anexo a este tanque se previó la construcción de una caseta para la localización del equipo de bombeo requerido para suministrar las presiones al sistema. Véanse los planos AO-VI-SC-102 y 103.

### 2.2.7.2 Acueducto para el sistema contraincendio del Túnel Santa Elena y para las edificaciones de administración y control

Luego de inspeccionar las fuentes de agua y los acueductos existentes en la zona, se determinó que la alternativa más apropiada para suplir el agua del sistema contraincendio, consiste en derivarla del acueducto Sajonia-Alto Vallejo que se alimenta de la quebrada El Yarumo. Dicho acueducto tiene un caudal abundante y sus aguas están adecuadamente tratadas.

El sistema de acueducto para este túnel consiste básicamente en un ramal de tubería de PVC presión, de 4" de diámetro, que se desprende del tubo principal del acueducto mencionado y llega hasta un tanque de almacenamiento localizado cerca al portal oriental del túnel, en la cota 2.205. Véase el plano AO-VI-SC-001.

Desde una caseta de bombas y mediante un sistema hidroneumático que ayuda a obtener las presiones de servicio, se conduce el agua hasta las edificaciones del portal oriental, a través de una tubería de PVC presión de diámetro variable. Como consumo se seleccionó un caudal de 150 l/hab/día, de acuerdo con los requerimientos usuales en este tipo de edificaciones, para servir a una población de 20 habitantes en cada portal; el consumo máximo diario se consideró igual a 1,4 veces el consumo promedio diario y el consumo máximo horario se tomó igual a 1,4 veces el consumo máximo diario. De la misma forma, desde la caseta de bombas sale una tubería de hierro al carbono de 6 pulgadas de diámetro que alimenta el sistema contraincendio del túnel; en este caso una bomba centrífuga suministra la cabeza de presión requerida por el primer hidrante de la red, pues los demás hidrantes no necesitan de este mecanismo ya que su localización garantiza la presión exigida por la N.F.P.A.

El agua para los servicios de las edificaciones del portal occidental se deriva de un tubo de PVC presión, de 1" de diámetro que sale de la tubería del sistema contraincendio y alimenta un tanque de 5 m<sup>3</sup> de capacidad, localizado en la berma de talud de la plazoleta, en la cota 2.040; adicionalmente a la derivación extraída para alimentar el tanque de almacenamiento, se pretende sacar otra derivación para alimentar la caseta de administración y control del peaje que se encuentra a 2400 km hacia el sector del portal de Baltimore; dicha conducción abastecerá las instalaciones hidrosanitarias de esta edificación. Véase plano AO-VI-HI-019. Para el dimensionamiento de las tuberías se utilizó la fórmula de Hazen-Williams.

El tanque de almacenamiento para el sistema contraincendio se diseñó con una capacidad de 150 m<sup>3</sup>, con el fin de atender una demanda del sistema contraincendio de 500 gal/min durante más de una hora, con este almacenamiento se atenderán también el sistema contraincendio y los servicios de las edificaciones de los portales oriental y occidental. El tanque se proyectó de concreto reforzado con dos compartimientos para mantener el suministro de agua cuando se haga mantenimiento en uno de ellos.

Anexo a este tanque se previó la construcción de una caseta para la localización del equipo de bombeo requerido para suministrar las presiones en cada una de los sistemas. Véanse los planos AO-VI-SC-002, 003, 004 y 005 (Anexo 2-1).

### 2.2.7.3 Drenaje y disposición de aguas residuales de los edificios del Túnel Santa Elena y caseta de administración y control

El sistema de drenaje y disposición de aguas residuales, recolecta las aguas servidas provenientes de los baños, sanitarios, lavamanos, cocinas etc., de los edificios en cada uno de los portales y las

conduce hasta un sistema de tratamiento consistente en un tanque séptico y un lecho filtrante para finalmente ser entregadas, ya limpias, en las quebradas cercanas (Quebrada Sajonia y La Aguadita); mientras que para tratar las aguas residuales de la caseta de administración y control del peaje se propone un sistema compacto elaborado en poliéster reforzado con fibra de vidrio (P.R.F.V.). Véase plano AO-VI-HI-019.

Las conducciones están conformadas por tuberías de PVC sanitaria y de concreto, de acuerdo al diámetro que deba instalarse en cada tramo. Las tuberías de las edificaciones descargan a cajas de inspección desde las cuales arrancan los tubos de recolección; en los cambios de dirección de las tuberías se colocan cajas o cámaras de inspección según la profundidad de las tuberías; también se previó que estas tuberías vayan siempre por debajo de las redes de acueducto y aguas lluvias; en algunos tramos que estarán expuestos a tráfico vehicular, se dispuso la colocación de atraques de concreto. Véanse los planos AO-VI-ED-023 y 024.

De acuerdo con lo indicado en las normas del Ministerio de Salud y la legislación ambiental vigente, se proyectó el tratamiento de las aguas negras mediante tanques sépticos y lechos filtrantes que garanticen la disposición final de las aguas de desecho sin que se cause contaminación de las fuentes de agua. Los tanques sépticos se diseñaron teniendo en cuenta el caudal medio diario de aguas residuales, el tiempo mínimo de retención del efluente en el tanque - 24 horas - y el espacio necesario para la acumulación de lodos. Las estructuras se proyectaron en concreto reforzado y se dimensionaron para servir cada uno de ellos una población de 40 habitantes. Los tanques van enterrados y sus compartimientos tienen tapas removibles para hacer la extracción periódica de lodos acumulados. El diseño se ajustó a las Normas de las Empresas Públicas de Medellín.

Antes de la disposición final, las aguas provenientes del tanque séptico pasan a través de un lecho filtrante, con el fin de lograr un alto grado de depuración y así descargarlas, libres de contaminación, en las quebradas cercanas. Dentro de los lechos conformados por capas de arena gruesa y grava triturada, se dispone un sistema de tuberías perforadas para distribuir el efluente del tanque séptico y otro para recoger el agua depurada. Véase el plano AO-VI-ED-026.

#### 2.2.7.4 Drenaje de aguas lluvias de las plazoletas del Túnel Santa Elena y caseta de administración y control

El sistema de drenaje de aguas lluvias tiene por objeto la evacuación de las aguas provenientes de las precipitaciones, protegiendo la plazoleta de encharcamientos e inundaciones y reduciendo la formación de puntos de erosión, especialmente en las patas de los taludes.

El sistema adoptado consta de cunetas superficiales localizadas principalmente en los bordes de las plazoletas, además se dispusieron imbornales en los patios y zonas de parqueo. El agua proveniente de los techos y patios de las edificaciones así como de los imbornales, se recoge por medio de una red de tuberías que descargan en las fuentes de agua más cercanas. En los cambios de dirección de las tuberías se colocaron cajas de empalme o cámaras de inspección. Véanse los planos AO-VI-ED-023 y 024. Para el dimensionamiento de la red se usó el denominado Método Racional.

### 2.2.7.5 Tanque separador de aceite

Para cada uno de los túneles se proyectó una estructura con el propósito de separar el agua y retener los aceites y líquidos livianos tales como gasolina, ACPM, etc. en caso de derrames accidentales dentro de los túneles. Para determinar las dimensiones del tanque se tuvieron en cuenta principalmente, el caudal de entrada al tanque del líquido a separar y la velocidad de ascenso de las partículas de aceite al separarse del agua. El sistema se diseñó en forma similar a un tanque sedimentador.

En la selección del caudal de diseño se tuvieron en cuenta dos posibilidades, la primera considera el caudal que se usó en el diseño de la canaleta del túnel; la segunda, que finalmente fue la escogida, considera el caudal de dos salidas de hidrante más el volumen de los líquidos derramados, esto dio un caudal de diseño de 50 l/s.

La estructura proyectada consiste en un tanque de concreto reforzado, dotado con una pantalla con orificios en la zona de entrada, para distribución del flujo y otra pantalla en la zona de salida, que cumple la función de retener los líquidos livianos; además, el tanque se diseñó con escotillas superiores para inspección, y con un dispositivo para drenaje y limpieza de lodos acumulados. Véase el plano AO-VI-ED-027.

## 2.2.8 Equipos Mecánicos

### 2.2.8.1 Ventilación Túnel Santa Elena

Para ventilar el túnel de Santa Elena, se diseñó un sistema de ventilación semi-transversal, el cual se adapta a las condiciones en su primera etapa del túnel (bi-direccional, sección en herradura) y provee una operación segura y eficiente desde el punto de vista del consumo de energía; este sistema permite la extracción rápida de los humos que se generan durante un incendio, de tal manera que no se comprometa la seguridad de los usuarios que queden atrapados al interior del túnel.

El sistema considera la instalación de dos (2) ventiladores axiales reversibles en cada portal y un (1) ventilador axial reversible instalado en la parte central del primer tubo (K14+423), en la galería de conexión vehicular con el segundo tubo (CV-03), el cual operará permanentemente en modo de extracción, para ventilar la parte central del primer tubo. Cuando el segundo tubo entre en operación comercial, el ventilador central se desmontará y podrá ser utilizado para reparar o reemplazar los ventiladores instalados en los portales del primer tubo, en caso de falla de alguno de ellos. El aire suministrado o extraído por cada estación de ventiladores, se conduce a través del ducto de ventilación previsto en la parte superior del túnel, desde donde se introduce o se extrae aire de la sección vehicular del mismo, por medio de compuertas instaladas en el techo falso, espaciadas cada 100 m entre ellas. Las compuertas para suministro de aire serán de tipo guillotina, con tendencia al cierre, operadas por dispositivos eléctricos los cuales liberan el enclavamiento, permitiendo a las compuertas su cierre en caso de incendio al interior del túnel. Además de permitir el suministro o la extracción de aire al espacio de tráfico vehicular, las compuertas se utilizan para regular y balancear el caudal de aire suministrado o extraído a lo largo del tubo.

Los ventiladores instalados en los portales, suministran aire para una longitud de tubo de 3.275m o extraen el aire en una longitud de tubo de 4.915m por portal y el ventilador instalado en la parte central del túnel, atiende una longitud de tubo de 1.640m. Para independizar las secciones que

atienden las correspondientes estaciones de ventilación, se deberán construir dos tabiques o muros de cierre en el ducto de ventilación, localizados en las abscisas indicadas en los planos provistas con compuertas motorizadas para que abran selectivamente, en caso de incendio dentro del túnel. Las compuertas también abrirán selectivamente mediante mando manual desde el centro de control del túnel, en caso de falla de cualquiera de los ventiladores instalados en los portales y abrirán automáticamente en caso de falla del ventilador instalado en la parte central del túnel.

La reversibilidad de los ventiladores instalados en los portales se consideró con el fin de permitir la extracción rápida del humo al interior del túnel, en caso de emergencia por ocurrencia de un incendio dentro de éste. Para la extracción de los humos se ha previsto la instalación de grandes compuertas motorizadas instaladas en el techo falso, con una separación de 200 m entre ellas; las compuertas permanecerán normalmente cerradas y en caso de incendio, el sistema de control dará la orden de apertura a la compuerta más cercana del foco del incendio y a las dos compuertas adyacentes. Igualmente, los operadores eléctricos darán la orden de cierre a las compuertas para suministro de aire, localizadas en la sección de tubo donde se presenta el incendio. También, el sistema de control dará la orden de apertura de la compuerta localizada en uno de los muros de cierre del ducto de ventilación, y la cual se encuentra más cercano a la sección del tubo donde se presenta el incendio.

**Tipo de ventiladores.** En cada estación de ventilación prevista en los portales, serán instalados dos (2) ventiladores axiales reversibles y en la parte central del túnel, como ya se mencionó, se instalará un solo ventilador reversible. La velocidad de operación de los ventiladores en cada estación, dependerá de la intensidad del tráfico, de la concentración admisible del monóxido de carbono (CO) y de la visibilidad al interior del túnel. Cada ventilador operará con un regulador continuo de velocidad, para de esta forma optimizar el consumo de energía y descgaste de los ventiladores. Igualmente los ventiladores tendrán las siguientes características:

- ♣ Control de velocidad para permitir variación del caudal de aire en todo el rango de operación de los ventiladores.
- ♣ Inversión rápida del flujo en caso de emergencia.
- ♣ Gran durabilidad y confiabilidad de los equipos.

En la descarga de los ventiladores serán instaladas compuertas motorizadas tipo mariposa las cuales abrirán/cerrarán automáticamente, de arranque/paro de los ventiladores.

Los ventiladores serán diseñados y fabricados para soportar una temperatura de 250°C, al menos durante una hora, en condiciones de emergencia.

El control de la velocidad de los ventiladores podrá realizarse de forma manual desde un PLC ubicado en el cuarto de control, ó podrá ser realizado de forma automática por medio de señales provenientes de los medidores combinados de CO y de opacidad instalados a lo largo del túnel. Para el control del sistema de ventilación, serán instalados medidores combinados cada 400 m; adicional a estos instrumentos, también serán instalados en estos mismos sitios, anemómetros para medir la velocidad y la dirección del viento a través del túnel los cuales serán utilizados para determinar el sentido de giro de los ventiladores instalados en los portales, dependiendo de la dirección del flujo de aire producido por el tiro natural y por el efecto pisto de los vehículos que circulan a través del túnel. La operación del ventilador instalado en la parte central del túnel, será controlada mediante los medidores combinados de CO y de opacidad instalados en la sección de

tubo (1640m) atiendo por este subsistema. El sentido de giro de este ventilador será único (siempre trabajando en modo de extracción), independiente de la dirección del viento al interior del túnel, aunque a voluntad de los operadores y dependiendo de las condiciones particulares presentes en el túnel, este ventilador podrá seleccionarse manualmente en el modo de suministro de aire, lo cual podrá ocurrir en caso de falla de uno de los ventiladores instalados en los portales.

El sistema de control estará provisto de un algoritmo para calcular la cantidad de contaminantes al interior del túnel, de acuerdo con el tráfico vehicular medido en los detectores de tráfico. Con base en ésta información y con el máximo nivel admisible de contaminantes, se determinará el caudal a manejar por los ventiladores. Esta información servirá como referencia a los operadores del túnel.

**Modo de operación del sistema.** El sistema está previsto para que los cuatro (4) ventiladores instalados en los portales trabajen en el modo de suministro de aire y el ventilador instalado en la parte central del túnel, trabaje normalmente en modo de extracción. La condición de operación de los ventiladores instalados en los portales es adecuada y podrá ser seleccionada por el equipo de control (anemómetros), siempre y cuando no se presente flujo de aire a través del tubo producido por efecto de las condiciones atmosféricas predominantes en los portales y por el efecto pistón. También es adecuada esta condición de operación, en caso de presentarse flujo de aire en sentido hacia los tubos, producido por los mismos efectos. En caso de presentarse un incendio cuando el sistema trabaja en esta condición de operación, los ventiladores ubicados más cerca del foco del incendio detienen su marcha e invierten el giro para trabajar como extractores y la compuerta motorizada localizada en el tabique más cercano a los ventiladores que invierten su giro, abrirá automáticamente con el arranque de los ventiladores. Los ventiladores del otro portal, continúan trabajando en el modo de suministro de aire.

En caso de presentarse flujo de aire predominante hacia cualquiera de los portales, por efecto de las condiciones atmosféricas y por el efecto pistón, el sistema de ventilación trabajaría de la siguiente forma:

En caso de presentarse flujo de aire predominante en el sentido occidente-oriente, los ventiladores localizados en el portal occidental trabajarán en el modo de extracción y los ventiladores localizados en el portal oriental trabajarían en el modo de suministro. En caso de invertirse el flujo de aire predominante, el modo de operación de los ventiladores también debe invertirse. En caso de presentarse un incendio cuando el sistema trabaja en cualesquiera de estas condiciones de operación, el sentido de giro de los ventiladores no cambiaría.

Igualmente, en caso de presentarse un incendio al interior del túnel, el ventilador instalado en la parte central de éste, saldrá automáticamente de servicio.

En resumen, se requieren 4 ventiladores, dos en cada portal, cada uno con un caudal de 292 m<sup>3</sup>/s y una presión total de 2.530 Pa y un ventilador instalado en la parte central del túnel con un caudal de 236 m<sup>3</sup>/s y una presión total de 710 Pa.

Los ventiladores serán provistos de conos a la succión y a la descarga y compuertas mariposa motorizadas a la descarga en los ventiladores; las compuertas abrirán con el arranque de los ventiladores.

### 2.2.8.2 Ventilación Túnel Seminario

En el túnel El Seminario será implementado un sistema de ventilación longitudinal, con ventiladores de chorro del tipo reversibles instalados por pares en la parte superior de la sección del túnel, los cuales reforzarán el empuje hidráulico producido por el tiro natural y por el efecto pistón generado durante la circulación de los vehículos al interior del tubo. El control del sistema será efectuado por medidores combinados de opacidad y de CO instalados al interior del túnel; estos instrumentos (dos) serán instalados a una distancia de 100 m, medidos desde los portales, y la separación entre ellos será de 600 m aproximadamente en el túnel bidireccional; en el ramal unidireccional, será instalado un medidor combinado de CO y de opacidad en la parte central de éste tramo. Como complemento de los medidores, serán instalados en estos mismos puntos, sendos anemómetros que medirán la velocidad de la corriente de aire al interior del tubo y la dirección de dicha corriente. La dirección de giro de los ventiladores estará gobernada por el sentido de la circulación del aire al interior del tubo, y será determinada por los anemómetros.

Los ventiladores serán de velocidad constante y su operación estará determinada por los niveles de CO y/o de opacidad prevalecientes al interior; todos los ventiladores instalados en el tubo bidireccional y en el tubo unidireccional girarán en el mismo sentido, ya sea en operación normal o en caso de emergencia. Para determinar el empuje hidráulico y el número de ventiladores a ser instalados, fueron considerados los siguientes factores:

- ♣ La diferencia de la presión atmosférica en los portales del túnel
- ♣ Las condiciones del viento predominante en ellos.
- ♣ La diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del túnel
- ♣ Las fuerzas aerodinámicas causadas por los vehículos que circulan al interior.
- ♣ Las pérdidas por fricción generadas al interior por efecto de la rugosidad de las paredes y otros obstáculos que se presenten a la circulación del aire

En caso de presentarse un incendio al interior del túnel, este será detectado automáticamente por los sensores de incendio y el sentido de giro de los ventiladores será determinado de acuerdo con la zona donde se presente el incidente. Si el incendio se presenta en la parte oriental del tubo, los ventiladores operarán en sentido occidente-oriente, mientras que si el incendio se presenta en la zona occidental, los ventiladores operarán en sentido oriente-occidente. En el caso de un incendio, los vehículos que circulan en el mismo sentido del flujo de aire detendrán su marcha, (los que se dirigen al incendio), y los que se alejan, saldrán del túnel. Quedarían pendientes por evacuar los ocupantes de los vehículos que se dirigen hacia el incendio en sentido contrario a la circulación del aire, los cuales deberán apearse de los vehículos y desalojar el túnel por sus propios medios, buscando las salidas de emergencia hacia el tubo auxiliar..

Serán instalados 10 ventiladores en total, del tipo chorro (jet fan), reversibles, de 1.120 mm de diámetro nominal y motor de 30 kW cada uno. De estos 10 ventiladores instalados, operarán simultáneamente 6 ventiladores en el tubo bidireccional y los otros dos ventiladores serán instalados en el tubo unidireccional. Dos de los ventiladores instalados en el túnel bidireccional serán equipos de reserva, para mantenimiento y para cubrir la eventualidad de que dos ventiladores sean afectados directamente por un incendio.

## 2.2.9 Sistemas de presurización de subestaciones, nichos y conexiones peatonales y vehiculares

Para la alimentación de energía a los equipos auxiliares del túnel, se ha previsto la construcción de tres (3) subestaciones eléctricas ubicadas en las abscisas 12+043,5, 14+423,5 y 16+823,5. Las dimensiones aproximadas de las subestaciones son dos (2) recintos de 6m de ancho x 9m de largo x 5m de altura, lo cual nos da un volumen aproximado de 540m<sup>3</sup> por subestación. Las subestaciones están localizadas en el costado izquierdo, cuando se recorre el túnel de occidente a oriente.

Para la instalación de los diferentes equipos que controlan los sistemas electromecánicos y de seguridad del túnel, se ha previsto la construcción de varios nichos. En la siguiente tabla se indica la localización, dimensiones y volumen de los nichos.

Tabla 2-13 - Nichos del Túnel Santa Elena

Designación del nicho	Abscisa	Costado	Dimensiones (ancho x largo x alto) m	Volumen (m <sup>3</sup> )
NA5+C	10+823,5	Derecho	3 x 2 x 2,5	15
NA9+C	11+223,5	Derecho	3 x 2 x 2,5	15
NA19+C	12+223,5	Derecho	3 x 2 x 2,5	15
NA29+C	13+223,5	Derecho	3 x 2 x 2,5	15
NA39+C	14+223,5	Derecho	3 x 2 x 2,5	15
NA49+C	15+223,5	Derecho	3 x 2 x 2,5	15
NA53+C	15+623,5	Derecho	3 x 2 x 2,5	15
NA59+C	16+223,5	Derecho	3 x 2 x 2,5	15
NA69+C	17+223,5	Derecho	3 x 2 x 2,5	15
NA77+C	18+023,5	Derecho	3 x 2 x 2,5	15
NA13	11+583,5	Derecho	1,5 x 2 x 2,5	7,5
NA21	12+423,5	Derecho	1,5 x 2 x 2,5	7,5
NA25	12+823,5	Derecho	1,5 x 2 x 2,5	7,5
NA33	13+623,5	Derecho	1,5 x 2 x 2,5	7,5
NA37	14+023,5	Derecho	1,5 x 2 x 2,5	7,5
NA45	14+823,5	Derecho	1,5 x 2 x 2,5	7,5
NA57	16+023,5	Derecho	1,5 x 2 x 2,5	7,5
NA61	16+423,5	Derecho	1,5 x 2 x 2,5	7,5
NA73	17+623,5	Derecho	1,5 x 2 x 2,5	7,5
NA79	17+623,5	Derecho	1,5 x 2 x 2,5	7,5

Fuente: Integral 2.010

**Conexiones peatonales y vehiculares.** Para comunicación entre los dos tubos estarán provistas de conexiones peatonales (CP) y conexiones vehiculares (CV), equipadas con elementos de cierre ubicados en el punto de derivación del tubo vehicular, con el segundo tubo. La ubicación y dimensiones de las conexiones peatonales y vehiculares se indican en la siguiente tabla:

Tabla 2-14 - conexiones peatonales Túnel de Santa Elena

Designación del nicho	Abscisa	Costado	Dimensiones (ancho x largo x alto) m	Volumen (m <sup>3</sup> )
CP-01	10+823,5	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CV-01	11+223,5	Izquierdo	6,5 x 10 x 5,3	345
CP-02	11+623,5	Izquierdo	4 x 16 x 4	256

Designación del nicho	Abscisa	Costado	Dimensiones (ancho x largo x alto) m	Volumen (m3)
CP-03	12+023,5	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CP-04	12+423,5	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CV-02	12+823,5	Izquierdo	6,5 x 10 x 5,3	345
CP-05	13+223,5	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CP-06	13+623,5	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CP-07	14+023,5	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CV-03	14+423,5	Izquierdo	6,5 x 10 x 5,3	345
CP-08	14+823,5	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CP-09	15+223,5	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CP-10	15+623,5	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CV-04	16+023,5	Izquierdo	6,5 x 10 x 5,3	345
CP-11	16+423,5	Izquierdo	4 x 16x 4	256
CP-12	16+823	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CP-13	17+223	Izquierdo	4 x 16 x 4	256
CV-05	17+623	Izquierdo	6,5 x 10 x 5,3	345
CP-14	18+023,5	Izquierdo	4 x 9 x 4	256

Fuente: Integral 2.010

Desde el portal occidental serán alimentados los siguientes recintos:

- ♣ Nichos de auxilio y control NA5+C, NA9+C, NA-13, NA19+C, NA-21, NA-25, NA29+C, NA-33, NA-37 y NA39+C, que requieren un caudal de 1125m<sup>3</sup>/h
- ♣ Dos (2) subestaciones eléctricas, que requieren un caudal de 1080m<sup>3</sup>/h
- ♣ Siete (7) conexiones peatonales, que requieren un caudal de 1792m<sup>3</sup>/h
- ♣ Dos (2) conexiones vehiculares que requieren 690m<sup>3</sup>/h

Caudal requerido por los ventiladores del portal occidental: 4687m<sup>3</sup>/h (2751cfm)

Desde el portal oriental serán alimentados los siguientes recintos:

- ♣ Nichos de auxilio NA-45, NA49+C, NA53+C, NA-57, NA59+C, NA-61, NA69+C, NA-73, NA77+C y NA-79, que requieren un caudal de 1125m<sup>3</sup>/h
- ♣ Una (1) subestación eléctrica, que requiere un caudal de 540m<sup>3</sup>/h
- ♣ Siete (7) conexiones peatonales, que requieren un caudal de 1792m<sup>3</sup>/h
- ♣ Tres (2) conexiones vehiculares que requieren 1035m<sup>3</sup>/h

Caudal requerido por los ventiladores del portal oriental: 4492m<sup>3</sup>/h (2642cfm)

Para el dimensionamiento de los sistemas de ductos utilizamos una velocidad de 3,93m/s (770ft/min), que nos producen una caída de presión de 0,03inWG/30m de longitud equivalente.

Caída de presión del ventilador = 0,03 x 4100/30 = 4,1inWG, incrementada en un 30% para considerar las pérdidas en accesorios.

Presión del ventilador = 4,1 x 1,3 = 5,33"WG

**Características del ventilador para el sector occidental.** Las siguientes son las características del ventilador para el sistema de presurización de los nichos ubicados en el tramo occidental del túnel.

- ♣ Caudal de aire = 4687m<sup>3</sup>/h (2751cfm)
- ♣ Presión estática = 135,4mmWG (5,33"WG = 1327Pa)
- ♣ Factor de corrección por densidades = 1,27

- ♣ Presión estática corregida = 172mmWG
- ♣ Seleccionamos un ventilador con una potencia al freno entre 4,5 y 5,0BHP. El motor del ventilador será de 4,0kW aproximadamente.

Para el portal oriental seleccionamos un ventilador de características similares. Los ventiladores tendrán unidades de reserva; por consiguiente serán instalados dos ventiladores por cada portal. En caso de falla de la unidad seleccionada como principal, automáticamente entrará en operación el equipo de reserva.

### 2.2.10 Instalaciones Eléctricas

Los puntos de conexión de las líneas de suministro de energía a los portales occidental y oriental, fueron definidos en conjunto con el operador regional (OR), que en este caso es Empresas Públicas de Medellín, se definió que la línea de suministro de energía al portal occidental fuera conectada a la subestación Miraflores; y la línea de suministro de energía al portal oriental fuera conectada a la subestación Córdoba, ambas hacen parte del sistema de distribución local (SDL), de propiedad del OR mencionado.

Para la línea de suministro de energía al portal occidental del túnel Santa Elena y al portal norte del túnel El Seminario, se saldrá de la subestación Miraflores y siguiendo aproximadamente el trazado de la línea Miraflores - La Fe, buscar la vía proyectada, siguiendo aproximadamente el recorrido de ésta, hasta llegar al portal occidental y al portal norte del túnel El Seminario.

Para la línea de suministro de energía al portal oriental, se saldrá de la subestación Córdoba, y buscar el pórtico donde se canaliza la línea de transmisión a 110 kV Miraflores-Córdoba, canalizando la línea por ductería existente en la zona del aeropuerto, viniendo a salir al pórtico ubicado en el costado noroccidental del aeropuerto. Luego de allí, se sigue sobre el borde de la vía proyectada (vía para conexión a la autopista Medellín-Bogotá), llegando a la glorieta del aeropuerto, para seguir por la vía existente hasta la glorieta de Sajonia y buscar el recorrido de la vía proyectada hasta el portal oriental.

En los planos No. AO-VI-EE-021 y 022 y desde el plano No. AO-VI-EE-024 hasta el AO-VI-EE-030 se puede apreciar la localización de las líneas de suministro de energía al portal occidental y oriental, respectivamente.

En los planos No. AO-VI-EE-108, AO-VI-EE-109 y No. AO-VI-EE-108, se muestra el recorrido de la línea a 7,62 kV para la red de alumbrado público, por la vía proyectada, la ruta entre el punto de conexión de ésta y la vía será determinada por el Contratista.

#### 2.2.10.1 Características de las líneas eléctricas

Las líneas tendrán una configuración de circuito sencillo y un nivel de tensión de 13,2 kV. Estas líneas serán aéreas y apantalladas con un cable de guarda.

Las estructuras utilizadas serán postes de concreto de 12 o 14 m, especificándose la tensión de rotura en cada caso.

La línea a 13,2 kV comprendida entre la subestación Miraflores y el portal occidental del túnel de la conexión vial, servirá para transmitir la energía desde dicha subestación, hasta una subestación ubicada en el portal occidental del túnel Santa Elena. Esta línea tiene una longitud aproximada de 3,6 km. La línea de suministro de energía a las casetas de peaje, hace parte de ésta línea. Esta línea

en todo su recorrido, atraviesa zona montañosa. Adicionalmente se debe considerar la derivación desde ésta línea hasta la subestación en el portal norte del túnel El Seminario.

La línea a 13,2 kV comprendida entre la subestación Córdoba y el portal oriental del túnel Santa Elena de la conexión vial, servirá para transmitir la energía desde dicha subestación, hasta una subestación ubicada en el portal oriental. Esta línea tiene una longitud aproximada de 4,8 km. Esta línea será canalizada en 700 m, para realizar el paso en el cruce de la pista del aeropuerto José María Córdoba. Esta canalización es realizada a través de ductos existentes, propiedad de Empresas Públicas de Medellín.

La línea primaria monofásica tendrá un nivel de tensión de 7,62 kV, en configuración horizontal con cruceta volada, será soportada sobre postes de concreto de 12 m, que comparten la red de alumbrado público. La línea tendrá una longitud aproximada de 3 km a lo largo de la vía y 2 Km hasta el punto de conexión a la red primaria de energía existente más cercana.

La concepción de la familia de estructuras para ser utilizadas en las líneas a 13,2 kV, fue basada en las estructuras normalizadas por Empresas Públicas de Medellín, para este nivel de tensión.

Las estructuras para circuito sencillo, tendrán las siguientes configuraciones: configuración tipo "V" en un sólo poste, tipo "H" y tipo trillizo, con postes de concreto, crucetas en perfilados metálicos y con un sólo cable de guarda.

Los resultados del plantillado y la determinación aproximada de la localización de apoyos, se presentan en los planos No. AO-VI-EE-021 hasta AO-VI-EE-022 y desde el plano No. AO-VI-EE-024 hasta el AO-VI-EE-030 para las líneas de suministro de energía al portal occidental y oriental, respectivamente.

Las distancias verticales y horizontales tomadas en cuenta en el diseño básico de las líneas a 13,2 kV, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-15 - Distancias Redes eléctricas

DESCRIPCIÓN	DISTANCIA
Vertical	
Campo accesible a peatones	6,5 m
Campo abierto inaccesible	6,0 m
Vías de comunicación	7,0 m
Horizontal	
Edificaciones	3,5 m

### 2.2.10.2 Energía para construcción

Para cada uno de los frentes de trabajo, acorde con lo indicado en el informe final de 1999, se tiene:

**Portal occidental:** Existe disponibilidad de energía para éste frente, conectándose al circuito R4-06 a 13,2 kV, en el punto más cercano al portal, involucrando inversiones mínimas.

**Portal oriental:** Se propone que la energía para construcción sea llevada hasta dicho portal, construyendo el nuevo circuito desde la subestación Córdoba, el cual es el mismo proyectado para operación.

Sin embargo, cerca al portal oriental, sobre la vía a santa Elena, pasa un circuito a 13,2 kV que proviene de la subestación Córdoba y que es de propiedad de EPM. EL Contratista deberá consultar con EPM, la disponibilidad de dicho circuito, como fuente de energía para construcción.

**Túnel El Seminario:** Se propone que la energía para construcción sea tomada de las redes de energía de propiedad de EPM existentes, en el sector de las Palmas.

### 2.2.10.3 Equipos eléctricos principales

#### 2.2.10.3.1 Sistema eléctrico Túnel Santa Elena

Los dos portales se interconectaran con dos circuitos a 13,2 kV, con lo cual se garantiza que cualquiera de las dos fuentes bien sea de la subestación Miraflores o de Córdoba, estará en capacidad de alimentar toda la carga del túnel durante una contingencia.

Estos circuitos de interconexión entre los portales oriental y occidental del túnel, también servirán para alimentar las subestaciones localizadas al interior del túnel en los Nichos 1, 2 y 3 y en la conexión vehicular central.

En las subestaciones de cada portal, existirá un tablero de distribución principal a 13,2 kV de donde se derivaran los circuitos de interconexión entre portales, que a su vez alimentan las subestaciones de los nichos 1, 2 y 3 y el nicho de conexión vehicular central al interior del túnel y los alimentadores para los transformadores que alimentan los ventiladores del túnel y los transformadores para alimentar las cargas propias de los edificios de administración y control y la carga del tramo inicial del túnel

El sistema de alimentación a 13,2 kV de cada portal, tiene como fuente de respaldo dos plantas generadoras diesel de 1.250 kW para operación Prime, conectadas directamente a 13,2 kV y las cuales ante una falla del circuito de 13,2 kV, se sincronizan y entran en funcionamiento para la alimentación del sistema de ventilación, alumbrado y adicionalmente para el sistema contra incendio en el portal oriental.

La tensión secundaria del transformador que alimenta los ventiladores será seleccionada por el suministrador de este sistema de acuerdo con las características de los motores de los ventiladores y del variador de velocidad aplicables a ellos.

A través de dos transformadores de 300 kVA, alimentados desde el tablero de 13,2 kV, se alimentara el tablero de distribución a 480 V que servirá como fuente de alimentación para las UPS y los circuitos de alumbrado del portal y del túnel y también se alimentara un tablero a 208 V a través de un transformador de 112,5 kVA para las instalaciones eléctricas de alumbrado y fuerza para los edificios de control en los portales.

Para el alumbrado de emergencia del portal, del Túnel y del túnel de evacuación, se utilizará una fuente de potencia ininterrumpible tipo dual e igualmente para el sistema de control y señalización se utilizara otra fuente de potencia ininterrumpible tipo dual. Las potencias de estos equipos se muestran en los planos de los diagramas unifilares del sistema eléctrico del túnel.

En las subestaciones localizadas al interior del túnel en los nichos 1, 2 y 3, se tendrán tableros de distribución a 13,2 kV, para derivar los alimentadores a dos transformadores, cada uno de ellos alimentado desde circuitos diferentes, uno desde el proveniente del portal oriental y el otro del portal occidental. Desde estos transformadores, a través de una transferencia automática, se

alimenta un tablero de distribución de baja tensión a 480 V al cual se conectan las cargas de los circuitos de alumbrado, tomacorrientes y la UPS de control e iluminación.

Para el alumbrado de emergencia, el control y la señalización, al interior del túnel se instalará una fuente de potencia ininterrumpible (UPS) en cada nicho de subestación.

Los tableros de alumbrado normal TAN, los tableros de alumbrado de emergencia TAE y TAEV, las cajas de potencia CP provistas con interruptores automáticos y tomacorrientes estarán distribuidos a lo largo del túnel, ubicados en los nichos de auxilio como se muestra en los planos.

#### 2.2.10.3.2 Sistema eléctrico Túnel Seminario

De la línea de alimentación a 13,2kV proveniente de la subestación Miraflores para el portal occidental del túnel Santa Elena, se derivará un circuito trifásico para tomar la energía para alimentar el transformador de 630 kVA de la subestación eléctrica localizada en portal norte de este túnel

Desde el transformador de 630 kVA se alimentará un tablero trifásico de distribución principal a 480 V, con el respaldo de una planta generadora diesel de 500 kW (prime), con capacidad para la totalidad de la carga de los sistemas de ventilación, de alumbrado, de control, contraincendio y demás cargas asociadas a dicho túnel. En el tablero de distribución se tendrá una transferencia automática, que conmutará la carga a una planta diesel ante una falla del sistema de 13,2 kV y que la retornara al alimentador principal una vez este se recupere.

Además, para atender el sistema de alumbrado de emergencia del túnel y las cargas de los equipos de control, señalización y comunicaciones, se tendrán fuentes de potencia ininterrumpible UPS, trifásicas, para cada sistema.

Los tableros de alumbrado normal TAN, los tableros de alumbrado de emergencia TAE y TAEV, las cajas de potencia CP provistas con interruptores automáticos y tomacorrientes, los ventiladores y los tableros de control de ventiladores TCV, estarán distribuidos a lo largo del túnel, ubicados en los nichos de auxilio como se indica en los planos.

Los equipos del sistema contraincendio estarán localizados, en la plazoleta del portal norte del túnel.

#### 2.2.11 Sistema de supervisión, control y comunicaciones del túnel (SCC)

El SCC del túnel consistirá en un sistema de control digital, el cual presenta la característica de ser física y funcionalmente distribuido, lo que significa que las funciones de control y supervisión estarán repartidas en los diferentes nodos de que se compone el sistema.

El SCC estará compuesto por dos redes de datos en fibra óptica configuradas en anillo. Haciendo uso de estas dos redes en anillo se conformarán o configurarán los siguientes subsistemas que componen en SCC:

- ♣ Centros de Control.
- ♣ Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA).
- ♣ Control de Tráfico (SCT).
- ♣ Control de la Ventilación (SCV).
- ♣ Control de luminarias (SCL).
- ♣ Detección de incendios (SDI).

- ♣ Telefonía SOS (TSOS).
- ♣ Megafonía (SMG).
- ♣ Avisos Alfanuméricos (SAA).
- ♣ Detección Automática de Incidentes (DAI).
- ♣ Circuito Cerrado de Televisión (CCTV).
- ♣ Cable Radiante (SCR).
- ♣ Gestión de Energía (SGE).
- ♣ Control de Acceso (SCA) y LAN Corporativa.
- ♣ Red de Fibra Óptica Monomodo.
- ♣ Red de Fibra Óptica Multimodo.
- ♣ Peaje.
- ♣ Retro proyección de video.
- ♣ Señales de tránsito pasivas.

El plano AO-VI-CC-001 muestra la configuración para los cuartos de control de cada portal y para el túnel. Los planos AO-VI-CC-002, hasta el plano AO-VI-CC-015 muestran las configuraciones de cada uno de los sistemas del túnel.

Los planos AO-VI-CC-021, hasta el plano AO-VI-CC-028 muestran la ubicación de los equipos y las cantidades mínimas.

#### 2.2.11.1 Configuración del SCC del túnel

El sistema se compone de los equipos en los dos edificios en cada portal, los equipos del túnel de Santa Elena, los equipos en la caseta del peaje y los equipos en la caseta de la subestación en el túnel El Seminario y los equipos al interior del túnel El Seminario.

En los edificios de control, en el tercer piso, se tienen dos áreas, sala de operación y la sala de servidores. En la sala de servidores están ubicados los gabinetes con los equipos de cada uno de los sistemas.

Cada sala de operación dispondrá de:

- ♣ Las estaciones de operación las cuales estarán compuestas de sus teclados, monitores de vídeo a color (uno de para el despliegue gráfico y otro de para indicación de alarmas y eventos), dispositivo de posicionamiento del cursor (mouse). En uno de los monitores para el despliegue gráfico de los sistemas y por zonas se hará por páginas y en el caso de una alarma de alguno de los sistemas, la página donde se indicará la alarma deberá mostrarse automáticamente el otro monitor se registrará todos los eventos, alarmas y emisión de comando con fecha y hora.
- ♣ Servidores de almacenamiento masivo de datos. Toda esta información deberá quedar almacenada en un dispositivo de almacenamiento masivo (Hard Disk) donde periódicamente se deberá poder sacar respaldo o copia de esta información
- ♣ Desde las estaciones de operación se llevará a cabo la operación del sistema de altavoces, sistema de CCTV y DAI, control de la ventilación, luminarias, megafonía, sistema de gestión de energía, sistema de gestión de los equipos de comunicaciones, envío de mensaje a los avisos alfanuméricos y sistema de telefonía.
- ♣ Tablero de control de zona del sistema de detección de incendio y su computador de operación asociado.

- ♣ Impresoras, de eventos, reportes y alarmas.

Además de los dos centros de control, en el interior del túnel, se dispondrá de un sistema supervisión de control y adquisición de datos (SCADA), compuesto por controladores, estos podrán ser del tipo PLC o computadores industriales estarán ubicados en el interior del túnel y enlazados a alta velocidad a través de una red Ethernet de tipo industrial con los switches y a su vez estos se enlazan a través de una red de fibra óptica con los controladores-Maestros en una configuración de anillo de fibra óptica.

Para cada sistema, cada controlador obtendrá información de las demás a través de los controladores-Maestros. Cada controlador con su propio “software” almacenará sus propios datos y podrá tomar decisiones en el evento que pierda la comunicación con el Controlador-Maestro y trabajará como si el sistema tuviera las peores condiciones y dará órdenes para una operación segura.

La comunicación entre los controladores y los sensores o instrumentos en el túnel se hará por medio de puertos seriales o por medio de entradas análogas o digitales. Cada controlador tendrá, CPU, puertos de comunicaciones, fuente, entradas y salidas digitales y análogas.

Se tienen 19 sitios para recolección de información en el interior del túnel en los llamados nichos de parqueo, y los nichos de auxilio y control donde estarán los controladores del SCC. Los controladores cubrirán una longitud aproximada de 500 metros. Los controladores de los portales cubrirán menos de 500 metros dentro del túnel y toda la señalización y control exterior a cada portal.

Los elementos de cada sistema en el interior del túnel deberán ser instalados de tal forma que no impida el tráfico de vehículos en forma parcial o total en actividades de reparación o mantenimiento.

Cualquier alarma sonora o visual o sonora debe cumplir con los procedimientos de reconocer, silenciar y reposición del estado de alarma. Inmediatamente deberá ser impresa en la impresora de alarmas.

Para la caseta de peaje se implementará un moderno sistema automático de peajes, conocido como telepeaje, Este sistema que funciona en las casetas de recaudo, permite detectar un vehículo que ingresa a un carril a través de un identificador de usuario llamado TAG. El sistema de telepeajes funciona en la modalidad de prepago.

#### 2.2.11.2 Modo de Operación

El sistema de señalización, control y del tráfico contará, en la mayoría de sistemas, con cuatro niveles o modos de operación:

- ♣ Remoto - Automático
- ♣ Remoto - Manual
- ♣ Local - Automático
- ♣ Local - Manual

El SCC tendrá unidades funcionales de proceso que realizarán el control de los diferentes sistemas del túnel; permitirá realizar en operación normal un control Remoto Automático coordinado de todos los sistemas que conforman el túnel; además el operador podrá realizar el control Remoto-

Manual de equipos y supervisar y comandar todos los elementos de señalización dentro del túnel a través de interfaces gráficas (interface Hombre - Máquina) ubicadas en las salas de operación de cada uno de los portales de acceso al túnel. Cada sistema se podrá operar en forma Local Manual para condiciones de anomalía, prueba o mantenimiento desde cada tablero o equipo. El otro modo es el Local Automático Local que realizarán los controladores en el evento de un daño en el controlador-Maestro correspondiente.

**Remoto - Automático.** Este nivel o modo de operación será el funcionamiento normal del sistema de control y operará desde las sala de operación principal. La sala de operación ubicada en el portal occidental será la que en condiciones normales de operación, tendrá a su cargo el control. En caso de falla, la función del control será transferida automáticamente a la sala de operación del portal oriental.

Lo anterior es posible debido a que, en general, el SCC trabajará bajo el esquema de “Hot Stand-By” lo que quiere decir que cada centro de control tiene sus sistemas con los datos actualizados y el que está en “stand-by” puede en cualquier momento entrar a operar el túnel sin esperar actualizaciones de larga duración provenientes del centro de control principal.

La sala de operación que no tiene el manejo del túnel, que normalmente será el del portal oriental, tendrá todos los datos actualizados y únicamente podrá hacer supervisión.

En este modo de operación las funciones a través de cada interface hombre – máquina serán las de visualizar el estado de la instalación, selección de parámetros de funcionamiento, edición de informes, visualización de alarmas e impresión de gráficos, alarmas, reportes y eventos.

**Remoto-Manual.** En este modo de operación se podrá operar desde las interface hombre - máquina respectiva a través del teclado y del dispositivo de posicionamiento del cursor. Este modo se usará para cambiar un parámetro o “set point” o prender o apagar algún equipo sobre el que se realice control, silenciar y reconocer eventos de alarma o realizar comandos remotos a los diferentes equipos de cada sistema de control.

La operación de un sistema en este modo de control no afecta la operación de los demás sistemas que se encuentren en Remoto - Automático.

**Local-Automático.** El mando automático-local se realizará a través de los controladores. Este modo se realizará con la información básica para operar con seguridad secciones, áreas, zonas o puntos específicos dentro del túnel en caso de indisponibilidad de los niveles de control superiores: No se aplicará a todos los sistemas.

Tanto los controladores-Maestros como los demás controladores tendrán los algoritmos de control que manejarán los diferentes sistemas de que se compone el túnel.

**Local-Manual.** El mando manual-local se realizará a través de tableros de control local que poseen los equipos. Desde estos tableros se podrán probar y poner en marcha cada equipo en particular: se usará para pruebas y mantenimiento.

#### 2.1.1.1 Breve descripción operativa de los sistemas

El túnel podrá presentar las siguientes condiciones durante su vida operativa como sistema vial permanente:

- ♣ Operación normal.

- ♣ Operación con dos carriles de subida.
- ♣ Operación con dos carriles de bajada.
- ♣ Operación con restricciones en el flujo vehicular.
- ♣ Operación con cierres temporales del flujo vehicular.
- ♣ Operación en condiciones de incendio.
- ♣ Operación con cierre total del túnel.

A continuación se describe brevemente los subsistemas que componen el SCC y que servirán de ayuda para facilitar la operación bajo las condiciones anotadas:

- ♣ Centros de control. Compuestos por estaciones de operación, servidores, retroproyectores de video e interfaces Hombre - Máquina (IHM), localizados en cada uno de ellos, las cuales permitirán la presentación de despliegues en textos y gráficos y dar las órdenes de los operadores para cada sistema.
- ♣ Sistema de retroproyección de video. Este sistema estará compuesto por un muro de video ("video wall") con tecnología de retroproyección a través del cual se llevará a cabo toda el despliegue visual que generan los diferentes sistemas que componen el SCC, principalmente el que generan los sistemas de CCTV, DAI y SCADA. El sistema de retroproyección sólo será instalado en el centro de control del portal occidental, en el otro centro de control no se instalará este sistema.
- ♣ Sistema SCADA ("Supervisory Control and Data Acquisition"). Encargado de la integración de todos los sistemas componentes del SCC. A través del SCADA se llevará a cabo la operación coordinada de todos los sistemas mediante el flujo bidireccional y automático de datos entre todos ellos.
- ♣ Redes locales de datos (LAN) configuradas sobre un "backbone" de anillos de fibra óptica a las cuales irán conectadas los switches de datos como nodos activos de ese "backbone".
- ♣ Un sistema de control de la ventilación para el túnel. Conformado por los tableros de control de los ventiladores a través de los cuales se controlará automáticamente o en forma local-manual o remoto-manual la ventilación del túnel. Este sistema deberá supervisar y/o controlar equipos tales como los ventiladores y las compuertas de inyección y de extracción de humos así como las compuertas centrales del túnel. Adquirirá todas las variables de proceso a través de los medidores de CO, medidores de visibilidad, anemómetros y tableros de control local de dichos equipos.
- ♣ Un sistema de control de iluminación para el túnel (incluye el túnel de evacuación). A través de este sistema se posibilitará la operación de los circuitos de iluminación mediante la implantación de automatismos que operarán en los diferentes controladores. Este sistema supervisará y controlará los diferentes circuitos de iluminación presentes en cada zona del túnel; hacen parte de estos equipos los tableros de control local y medidores de luminancia e iluminación.
- ♣ Un sistema de control de energía para el túnel. Este sistema será para supervisar y control remoto de los interruptores de las subestaciones en los portales y en el interior del túnel.
- ♣ Un sistema de control de tráfico para el túnel. Este sistema deberá supervisar y controlar los equipos de señalización de tráfico tales como: los bucles detectores de tráfico y sus analizadores respectivos, semáforos de tres y de dos luces, avisos de velocidad variable,

barreras mecánicas y un conjunto de señalizaciones pasivas. El sistema detectará, analizará y controlará el flujo vehicular que transita por el túnel y en sus accesos. La información de los vehículos será recolectada por equipos localizados justo a la entrada del túnel. Con respecto a los analizadores de tráfico y sus bucles detectores se informa que estos sólo se instalarán a la entrada del túnel debido a que se ha reforzado la instrumentación de las variables de CO y visibilidad y, principalmente, por el diseño del sistema de CCTV con funciones DAI las cuales ayudarán en la detección del flujo de tráfico (vehículo detenido, peatón, objeto caído, baja velocidad carril, vehículo en contravía, etc) en tiempo real y con generación de alarmas y “video clips” al interior del túnel.

- ♣ El sistema de avisos alfanuméricos. El sistema de avisos alfanuméricos estará disponible para enviar información a los diferentes usuarios del túnel.
- ♣ Sistema de CCTV y aplicaciones DAI. El sistema estará conformado por el servidor de video, servidor de almacenamiento de imágenes, cámaras de video, analizadores de imágenes tanto en el interior del túnel (incluido el túnel de evacuación) como en el exterior y monitores de video, con su respectivo sistema de gestión y almacenamiento de video de todas las imágenes generadas por las cámaras y por los analizadores de video.
- ♣ Un sistema de detección de incendios para el túnel. Este sistema deberá supervisar las diferentes secciones, áreas o zonas tanto al interior del túnel como en los edificios de control. El sistema principal estará compuesto por los sensores ópticos lineales de calor que se ubicarán a todo lo largo del túnel y en las bandejas porta cables; al sistema de detección de incendio se conectarán los interruptores de retiro de extintores de los nichos de auxilio y los sensores de humo en los edificios y subestaciones, entre otros.
- ♣ Sistema de telefonía para el túnel. Cada portal contará con un sistema de telefonía IP. El sistema deberá integrar los terminales telefónicos del interior del túnel con los teléfonos ubicados en los edificios de control, conformando un único entorno de telefonía IP.
- ♣ Sistema de altavoces para el túnel. Este sistema deberá poder emitir avisos a los conductores que estacionen su vehículo en las bahías de parqueo o en cualquier otro sitio en el interior. Los equipos que componen el sistema son: una consola de operación por cada portal y los altoparlantes ubicados en las bahías de parqueo y a lo largo del túnel, los altoparlantes o altavoces estarán separados cada 50 metros. Cualquiera de las consolas podrá enviar mensajes a través del mismo altoparlante.
- ♣ Sistema de comunicaciones por cable radiante para el túnel. Este sistema proveerá una estación transmisora en FM en la frecuencia de 106.9 MHz (programable en todo el ancho de la banda de FM comercial), para el interior del túnel con el fin de emitir avisos informativos y de emergencia a los vehículos que se encuentran en el interior. Además, el sistema deberá hacer la radiación interna de las emisoras públicas comerciales de toda la banda de FM que se sintonice en ambos portales; también se implantarán funciones de “Voice Break-In” en 10 frecuencias comerciales con el fin de dar informes a los usuarios en caso de emergencias o eventos de relevancia. se implantarán canales de voz en las bandas de VHF y UHF para uso del personal de operación y mantenimiento así como para los organismos de socorro tales como la defensa civil, bomberos y policía. Para el caso particular de las bandas de celulares, se tendrán los equipos que harán la retransmisión de dichas bandas al interior y a todo lo largo del túnel pero los equipos que tomarán la señal del exterior y la conectarán al sistema interno,

es decir, los equipos repetidores externos (“Off-air repeaters”), serán suministrados, operados y mantenidos por cada uno de los respectivos operadores celulares.

El sistema de comunicaciones por cable radiante, en general, está compuesto de una estación repetidora óptica, repetidores ópticos remotos, antenas exteriores, cable radiante, consola con micrófono, radios portátiles y móviles, y demás equipos de comunicaciones.

- ♣ Equipos y control del Peaje. El peaje operará de manera autónoma e independiente del SCC, sin embargo, en caso de restricciones operativas o cierres parciales debidos a condiciones de emergencia dentro del túnel, éste podrá ser cerrado desde cualquiera de los centros de control. En el peaje se implantará un dos carriles de telepeaje cuyo funcionamiento se puede resumir así: primero el vehículo se acerca a la barrera, el lector lee el TAG ubicado en el vidrio panorámico, y el propio lector genera una maniobra para levantar la barrera. Toda esta operación se realiza sin que el vehículo se detenga. El conjunto integral permite: Registrar toda transacción y evento a nivel de vía, establecer la comunicación caseta de cobro - servidor de estación, almacenar todos los datos relevantes generados a nivel de la caseta de cobro, consultar la información almacenada, establecer la comunicación servidor de estación - servidor del centro de control operativo y procesar los datos recopilados.
- ♣ Red de fibra óptica. Esta red se diseñó como una red común para todos los sistemas y subsistemas que componen el SCC y se diseñó en detalle. La distribución de los cables de fibra óptica se hizo en bandejas porta cables por los cárcamos que irán por el lado derecho y por el lado izquierdo del túnel de Santa Elena con el fin de aumentar la confiabilidad de la red.

### 2.2.12 Señalización

El estudio de señalización tiene como objetivo determinar los dispositivos para la regulación del tránsito del Proyecto Conexión Vial Aburrá - Oriente teniendo en cuenta lo establecido en el Manual Colombiano sobre Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles y Carreteras; la señalización hace parte de las medidas de seguridad vial de bajo costo, que presenta solución a los problemas detectados en el contorno del trazado con medidas preventivas, dirigidas a reducir el número de sub-sectores potencialmente peligrosos, sin necesidad de que se haya producido todavía accidente alguno.

La función de las señales de tránsito es indicar al usuario de las vías las precauciones que debe tener en cuenta, las limitaciones que gobiernan el sector de circulación y las informaciones estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la vía.

La señalización diseñada para el proyecto cumple con cada una de las disposiciones establecidas en la Resolución 1050 de 2.004 establecida por el Ministerio de Transporte y se puede observar en los planos AO-BI-SÑ-001 - 005.

## 2.3 Infraestructura Asociada al Proyecto

### 2.3.1 Locaciones de carácter logístico

Teniendo en cuenta que el proyecto se desarrolla muy cerca de las cabeceras municipales, en zonas que son densamente pobladas se ha optado por organizar las instalaciones y oficinas para el personal en infraestructura existente en la zona, de tal forma que se puedan adaptar temporalmente como oficina por parte de los contratistas o sub-contratistas que se establezcan,

en estos sitios se contará con espacio para almacenamiento de insumos (almacén y bodegaje), parqueadero, talleres y/o similares. Sin embargo se requiere de la construcción de alguna infraestructura nueva, especialmente en el sector oriental de la conexión, donde se tendrán las oficinas administrativas principales del proyecto.

Así las cosas, se usará infraestructura dispuesta en los predios adquiridos para el proyecto y que según el cronograma de actividades permiten ser usados durante gran parte del desarrollo del proyecto, de tal forma que se cuente con puestos satélites de manejo que den celeridad a la atención de temas técnicos durante la construcción de las obras de la Conexión vial Aburrá Oriente.

Se planea tener 2 oficinas principales del constructor de las obras o locaciones de carácter logístico que serán ubicados en infraestructura de predios adquiridos para el proyecto, el primero se ubica en la zona en la que se desarrollará la plazoleta del Portal Occidental del Túnel Santa Elena, ubicada en la vereda media luna y la segunda locación se ubica en un predio ubicado en el costado occidental del acceso oriental al Túnel Santa Elena, en la vereda Sajonia.

Vale la pena resaltar que todas las zonas definidas para instalaciones, oficinas o locaciones de carácter logístico contarán con zona para manejo de residuos sólidos, baterías portátiles, agua para consumo humano a través de abastecimiento por terceros, energía eléctrica y tendrá equipos de comunicación (telefonía celular, satelital o local con adecuada señal).

Para el túnel Seminario, se contará con instalaciones provisionales tipo contenedores, baterías de baño portátiles, suministro de agua del tanque la Pastora de EPM, red de energía de EPM y telecomunicaciones.

Para el portal occidental del Túnel Santa Elena funcionaran las oficinas administrativas en infraestructura existente en un predio adquirido por el proyecto, construcción de batería de baños para los trabajadores, subestación eléctrica y taller mecánico, así como la ampliación del pozo séptico existente e implementación de contenedores para almacenamiento temporal de material y explosivos.

En el sector oriental del Túnel Santa Elena se construirán instalaciones para las oficinas del frente construcción, cerca del área de plazoleta del portal oriental, con implementación de pozo séptico y baterías de baños portátiles. En la zona de plazoleta se construirá infraestructura provisional para la subestación eléctrica y el sistema de compresores para el túnel, así como un pequeño taller de mantenimiento y reparaciones menores. En el sector de la vía a cielo abierto de acceso al portal oriental, se tendrá la instalación del taller principal con todos sus servicios necesarios. Finalmente en el sector de la vía de acceso oriental del Túnel de Santa Elena cerca del k19+100 se tendrá infraestructura nueva para las oficinas administrativas del proyecto, comedor, oficinas de control interno y supervisión ambiental, complementado con la utilización de infraestructura existente como oficinas para contratistas, laboratorios y almacén principal.

Adicionalmente, se tendrán algunos puntos satélites que serán alquilados en la zona de las obras por los subcontratistas. Periódicamente para los sitios alquilados se pagará el correspondiente canon de arrendamiento, se tendrá como soporte los contratos debidamente diligenciados y firmados por las partes y los comprobantes de pago tanto del canon como de los servicios públicos.

Al final de las obras se pagará al propietario de la vivienda o construcción un valor aproximado (establecido según los promedios de consumo de los últimos tres meses) por el uso de servicios públicos; así como todos los daños que la estructura haya podido sufrir durante el tiempo de permanencia del Concesionario o sus sub-contratista, en este aspecto se recomienda realizar un acta antes de establecerse en el lugar y un acta al abandonar el sitio con su correspondiente registro fotográfico, en el cual se establezcan las condiciones del predio; así mismo, para los lugares establecidos en el derecho de vía se debe garantizar que estas zonas quedarán limpias, sin escombros o evidencia de la ubicación de los contenedores y acorde a las condiciones del paisaje.

## 2.3.2 Vías Industriales

### 2.3.2.1 Vías industriales Sector Oriental

Durante la etapa de construcción del portal oriental del túnel Santa Elena y el tramo de vía principal de acceso al mismo, es necesario la construcción de una vía industrial que ira por el corredor de la segunda calzada del proyecto y que facilitará el acceso a las obras.

El trazado de la vía industrial inicia en el portal oriental del Túnel Santa Elena y empalma con la vía actual a Santa Elena a 300 m antes de llegar a la glorieta Sajonia. En este tramo la quebrada Sajonia o Salazar corre paralela al proyecto. En la figura 1 se muestra la localización.

Esta vía será utilizada como corredor industrial, su trazado cruza algunos afluentes de la quebrada Sajonia donde se construirán alcantarillas en tubería que garanticen su paso por la vía. Para estos cruces se han diseñado alcantarillas con tuberías de 0.90 a 1.20 m, ya sea en concreto o en PVC. El sistema de drenaje propuesto permitirá captar, conducir y descargar adecuadamente las corrientes de agua que confluyen al corredor vial.

Esta vía tendrá una sección transversal de 7 m y una superficie de rodadura en material granular, cunetas laterales y pendiente transversal que garantice su drenaje y longitudinal promedio de +5%. Se ha diseñado para una velocidad de 30 K/h.

Los otros frentes de obra de la conexión en el sector oriental tendrán acceso por las vías existentes, en las cuales se instalara la debida señalización y el establecimiento de un protocolo de manejo de tráfico.



Figura 2-22 - Localización general del proyecto.

En el sector del trazado de la vía se tiene la presencia de varios procesos morfodinámicos, todos asociados a las excavaciones realizadas para una vía de acceso antigua para la explotación de una cantera, generando procesos de inestabilidad, lo cuales serán intervenidos y tratados con la construcción de la primera calzada. En la excavación de esta vía industrial no habrá cortes de importancia que generen problemas de estabilidad.

Desde el portal oriental del túnel Santa Elena hasta el cruce con la vía Sajonia-Santa Elena, el trazado de la vía transcurre sobre las Anfibolitas, parte sobre roca sana hacia la zona del portal y parte cruzando el perfil de meteorización de dicha roca que está compuesto por un limo de color rojizo producto de la descomposición y oxidación de los minerales constituyentes como lo es la hornblenda. Llegando al cruce con la vía Sajonia-Santa Elena, la vía se encuentra sobre el contacto concordante entre las anfibolitas y el Gneis de La Ceja en una topografía plana.

En la parte final de su trayecto antes de salir a la vía a Santa Elena, se implementará la construcción de un sistema de lavado de llantas, que permitirá controlar y mitigar la contaminación por material particulado que generan los equipos en circulación.

### 2.3.2.2 Vía Industrial Sector Occidental

En el sector occidental de la conexión vial se requiere la implementación de varias vías industriales para el acceso los frentes de trabajo, que permitan la entrada y salida de insumos, equipos y materiales.

Para el sector occidental se han proyectado y diseñado las siguientes vías industriales:

- ♣ Acceso al portal occidental del túnel Santa Elena.
- ♣ Acceso a puentes y estructuras de la calzada principal
- ♣ Acceso de la vía doble calzada Las Palmas al depósito Seminario
- ♣ Acceso al portal occidental del túnel Santa Elena.

Esta vía será utilizada como corredor para garantizar la entrada y salida de insumos y materiales al portal occidental del túnel Santa Elena y a las obras de la cobertura sobre la quebrada La Aguadita. Se propone la construcción de una vía industrial de aproximadamente 450 m de longitud, la cual conectará la vía a Santa Elena con el portal occidental del Túnel; el trazado

geométrico vertical y horizontal fue desarrollado por la Concesión Túnel de Aburra Oriente(CTAO); esta vía presenta una pendiente promedio del 12%, variando desde pendientes máximas de 19.43%, en la zona más empinada, hasta el 0.16% en la zona más plana(plazoleta); se estima una velocidad máxima de diseño de 30 Km/h, teniendo como vehículo de diseño volquetas de 14m3. La vía tendrá una sección típica de 6.0 m de calzada y cunetas laterales de 0.50 m.

La vía a construir se localiza en el K5+500 de la carretera denominada Santa Elena que une el Valle de Aburrá con el Valle de San Nicolás que conduce al corregimiento de Santa Elena, Municipio de Medellín. Partirá de esta vía hasta llegar a la plazoleta del portal occidental del túnel Santa Elena.



Figura 2-23 - Vías Industriales Sector Occidental

En la zona por donde se trazó la vía de acceso industrial, existe un contacto fallado de bajo ángulo entre la Dunita y la Anfibolita, que dio lugar a una zona de rocas heterogéneas, que se disponen en una franja subparalela a la topografía con amplitud entre 200 y 500 m, dentro de las que se pueden encontrar: milonitas, esquistos, cataclasitas, metagabros, dunitas y anfibolitas afectadas tectónicamente. El perfil de meteorización de esta franja es variado por ser la mezcla de varios tipos de roca.

El trazado de la vía de acceso al portal, se encuentra entre las cuencas de las quebradas La Bocaná y La Aguadita. Inicia en la margen derecha de la quebrada La Bocaná, en una zona de baja pendiente, donde se encuentra un depósito de flujo de lodo y/o escombros. El trazado avanza bordeando la vertiente hasta llegar a la margen izquierda de la quebrada La Aguadita, donde se encuentran tramos de pendiente moderada a alta y donde afloran los horizontes IC y IC-IIA del perfil de meteorización, además algunas zonas con materiales de depósitos de flujo de lodo y/o escombros, el tramo final de la vía atraviesa la quebrada La Aguadita y llega al portal que está ubicado en la margen derecha de la quebrada.

En la zona del trazado, no se encontraron procesos morfodinámicos activos. Se encontró una cicatriz antigua (proceso inactivo) en la abscisa 0+210. El trazado geométrico de la vía implica

cortes y llenos en varios tramos del trazado. Para conformar estos llenos, se diseñó la construcción de muros de gravedad tipo ciclópeo, gaviones y tierra armada.

La vía contará con un sistema de drenaje que permitirá captar, conducir y descargar adecuadamente las corrientes de agua de escorrentía que confluyen a la vía industrial occidental, para lo cual se implementará la construcción de alcantarillas en tubería de 0.90 m de diámetro. Además contará con cunetas a lo largo de toda la vía que capten la escorrentía de la vía y la conduzcan hacia las alcantarillas proyectadas. Para las descargas de las alcantarillas se diseñaron canales escalonados para disipar la energía de flujo y reducir efectos erosivos aguas abajo de la vía.

En su trayecto antes de salir a la vía a Santa Elena, se implementará la construcción de un sistema de lavado de llantas, que permitirá controlar y mitigar la contaminación por material particulado que generan los equipos en circulación.

#### **Acceso a puentes y estructuras de la calzada principal.**

Esta vía será utilizada como corredor para garantizar el acceso de insumos, materiales y equipos a las diferentes estructuras ubicadas a lo largo de la vía que conduce desde el portal Marianito (norte) del túnel Seminario hasta el portal occidental del túnel Santa Elena y también para la conexión de los túneles de Santa Elena con la zona del depósito El Seminario, la vía está trazada y diseñada por el corredor de la futura segunda calzada de la conexión vial.

Esta vía tendrá una longitud de 4.1 km, presenta una pendiente promedio del 9.5%, variando desde pendientes máximas de 17.20%, en la zona más escarpadas, hasta el 1.27%; se estima una velocidad máxima de diseño de 20 Km/h, teniendo como vehículo de diseño volquetas de 14m<sup>3</sup>. La vía tendrá una sección típica de 6.0 m de calzada, berma-cuneta de 0.50 m. y sobre anchos de 3.0 metros a lo largo del trazado para facilitar las maniobras y operación de los equipos, la superficie de rodadura en material granular y pendiente transversal que garantice su drenaje.

Los terrenos cruzados por el alineamiento de la vía industrial están constituidos en su inicio entre el K5+900 al K7+200 por el gabo de San Diego. Se encuentran espesores de suelo residual variando entre 3 m y 12 m clasificados como suelos limoarenosos y arenolimosos. En varias zonas se encuentra el saprolito, presentando espesores hasta de 15 m.

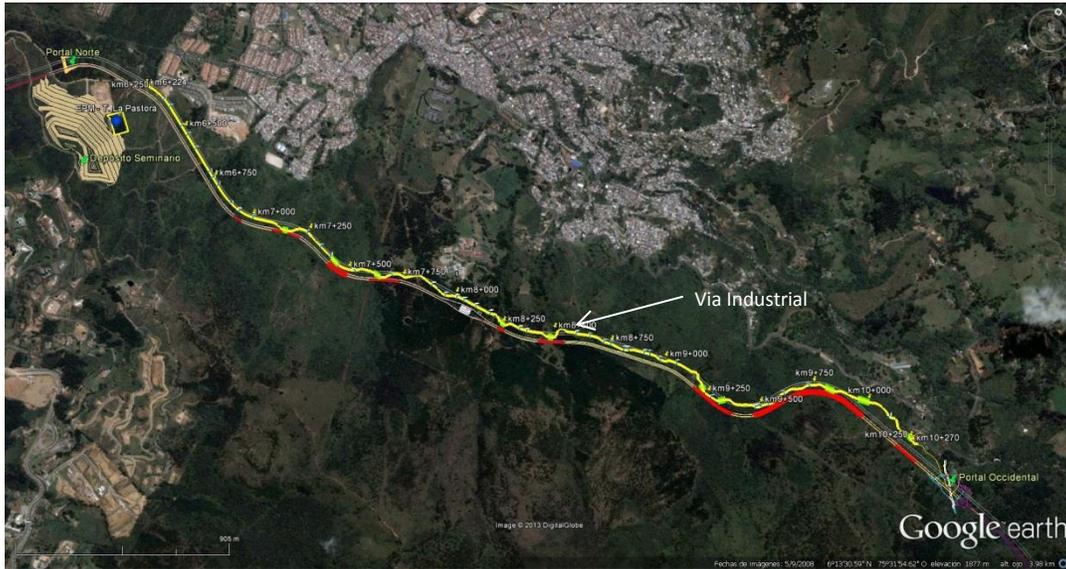


Figura 2-24 - Vía Industrial Acceso al Depósito

No se observan afloramientos de la roca en la zona de influencia de la vía. Además, se presentan depósitos de vertiente del tipo flujo que cubren parcialmente el paleorrelieve modelado sobre los suelos presentes, dentro de los que se destacan los localizados discontinuamente entre las quebradas Cuchillón y Los Caunces, sector que está a unos 200 m hacia arriba de la ladera desde el eje de la vía proyectada. Toda esta zona de unos 1.300 m de longitud aproximadamente, presenta un relieve muy suave producto de la descomposición de la roca parental y por ende la vía industrial es de fácil construcción, adicionalmente donde hay cortes se generan taludes de baja altura lo cual es benéfico para su estabilidad. Terminando este sector llegamos a la Quebrada La Pastora. En el primer sector de vía no se encuentran cauces de corrientes permanentes a excepción de un arroyo localizado en la abscisa km 6+240 que presenta flujo laminar y pequeños represamientos debido a la baja pendiente longitudinal. La ladera no presenta inestabilidades en esta zona. Los terrenos cruzados por el alineamiento de la vía industrial están constituidos en su inicio entre el K5+900 al K7+200 por el gabro de San Diego. Se encuentran espesores de suelo residual variando entre 3 m y 12 m clasificados como suelos limoarenosos y arenolimosos. En varias zonas se encuentra el saprolito, presentando espesores hasta de 15 m. No se observan afloramientos de la roca en la zona de influencia de la vía. Además, se presentan depósitos de vertiente del tipo flujo que cubren parcialmente el paleorrelieve modelado sobre los suelos presentes, dentro de los que se destacan los localizados discontinuamente entre las quebradas Cuchillón y Los Caunces, sector que está a unos 200 m hacia arriba de la ladera desde el eje de la vía proyectada. Toda esta zona de unos 1.300 m de longitud aproximadamente, presenta un relieve muy suave producto de la descomposición de la roca parental y por ende la vía industrial es de fácil construcción, adicionalmente donde hay cortes se generan taludes de baja altura lo cual es benéfico para su estabilidad. Terminando este sector llegamos a la Quebrada La Pastora.

El siguiente sector está comprendido cerca a la quebrada La Pastora, y termina en el costado derecho de la quebrada La Espadera. Los terrenos cruzados por el alineamiento están en su totalidad dentro de la zona de cabalgamiento, y presentan depósitos de vertiente localizados de menor extensión con respecto a los descritos en tramos anteriores, medidos en el sentido del alineamiento. Estos depósitos se clasifican como coluviones y flujos, siendo la mayoría de estos

últimos de poco espesor. En general, el espesor del saprolito es inferior a 15 m y se clasifica principalmente como un suelo limoarenoso y arenolimoso.

La continuidad de la vía se interrumpe por los cauces de las quebradas Chupadero (km 8+175) y Mediagua (km 8+405), los cuales corresponden a cauces profundos, de alta pendiente longitudinal y con caudales pequeños pero permanentes. En este tramo predominan los bosques de pinos para la explotación maderera. El cauce más importante pertenece a la quebrada La Espadera (km 9+195), la cual tiene un caudal alto.

El último sector se localiza en la parte alta de la ladera de la vía a Santa Elena, entre las quebradas La Espadera y La Aguadita. El alineamiento transcurre por la zona de cabalgamiento, en terrenos escarpados (inclinaciones entre 40° y 60°) donde es mínimo el desarrollo de suelo. El espesor de suelo residual no supera los 8 m y es común ver frentes de roca que va de moderadamente meteorizada a roca sana presentando discontinuidades bastante abiertas lo que ha generado la caída de los bloques observados en superficie.

La humedad de la ladera es mínima debido al alto declive y al drenaje natural compuesto por caños, que aunque son poco profundos, son numerosos. Existen pocas zonas que presentan inestabilidades, éstas poseen dimensiones mínimas, muy superficiales y están asociadas principalmente a la tala de los árboles, la fuerte pendiente y al fracturamiento de la roca.

Las corrientes de agua más importantes encontradas en el acceso occidental de la vía se encuentran en este sector, y son las quebradas La Bocana (km 10+050) y La Aguadita (km 10+260), todas ellas con caudales altos.

La altura de los cortes para la conformación de la vía es inferior a 9 m (k8+200 a k10+250), encontrando también sectores con secciones de excavación en lleno y mixtas, en los taludes superiores a 5 metros se realizaran tratamientos de soporte consistentes en drenajes, anclajes y colocación de concreto neumático o protección con grama o agromantos, según las condiciones encontradas.

En el sector se encuentran cauces medianamente profundos, con y sin aguas permanentes que serán superados por obras hidráulicas como alcantarillas circulares con tuberías de 0.90 a 1.50 m, ya sea en concreto o en PVC. El sistema de drenaje propuesto permitirá captar, conducir y descargar adecuadamente las corrientes de agua que confluyen al corredor de la vía industrial.

Para los sectores de mayores depresiones del terreno y quebradas, se tiene proyectado la instalación de puentes industriales tipo militares, metálicos para un solo vehículo así:

- Quebrada La Pulgarina 1 k7+120/140 , luz de 20 m
- Quebrada La Pulgarina k7+390/420 , luz de 30 m
- Quebrada La Pastora k7+590/625 , luz de 35 m
- Quebrada Chupadero k8+205/235 , luz de 30 m
- Quebrada Mediagua k8+425/450 , luz de 25 m
- K9+181/205 , luz de 24 m
- Quebrada La Espadera K9+283/315 , luz de 32 m
- K9+786/826 , luz de 40 m
- K9+930/967 , luz de 37 m
- K10+200/230 , luz de 30 m

- acceso de la vía doble calzada Las Palmas al depósito Seminario

Esta vía será utilizada para el acceso de insumos, materiales y equipos para las diferentes obras a ejecutar, ubicadas a lo largo de la vía industrial y definitiva, que va desde el portal Marianito(norte) del túnel Seminario hasta el portal occidental del túnel Santa Elena, también para el ingreso inicialmente de materiales sobrantes de excavación tipo roca hasta la conformación de los enrocados en la zona de depósito El Seminario y para el ingreso a manera de restitución de la vía existente del seminario conciliar y sus instalaciones en sus primeros 420 metros, donde el trazado del proyecto por las obras del intercambio Baltimore anula la vía actual.



Figura 2-25 - Vía Industrial Portal Palmas Túnel Seminario al Depósito

Esta vía tendrá una longitud de 1.8 km, presenta una pendiente promedio del 8%, variando desde pendientes máximas de 15%, en la zona más escarpadas, hasta el 1.2%; se estima una velocidad máxima de diseño de 30 Km/h, teniendo como vehículo de diseño volquetas de 14m3. La vía tendrá una sección típica de 7.0 m de calzada, y berma-cuneta laterales de 0.50 m.

La superficie de rodadura será hasta nivel de pavimento flexible, desde este punto y hasta la zona de ingreso a las actuales instalaciones de servicio del Seminario (620 m arriba) se mejorara la superficie actual de rodadura y se instalara pavimento flexible los puntos críticos identificados en los taludes serán tratados según el diseño.

Este sector de aproximadamente unos 1.020 metros será común para la obra y el seminario, para ello se instalara la debida señalización y se acordara con el Seminario un protocolo de manejo de tráfico, evitando la interrupción de la circulación y los riesgos que se puedan presentar.

De este punto en adelante y hasta la zona del depósito El seminario se realizará los tratamientos a los puntos críticos de la vía según diseño y se construirá una estructura de la vía a nivel de afirmado para la circulación de los equipos.

Toda ésta vía transcurre por suelos residuales del Gabro de San Diego que es una roca ígnea compuesta básicamente por cuarzo, feldespatos y macrocristales de hornblenda. El suelo residual tiene espesores entre 40-60 m hasta alcanzar el nivel de saprolito. El suelo debido a la descomposición del feldespato, genera unos minerales arcillosos como la caolinita la cual tiene la capacidad de almacenar y de no transmitir agua, comportándose como una especie de acucludo.

La vía pasa por 2 sectores con vulnerabilidad geotécnica; el primero es un deslizamiento ubicado sobre la margen derecha en el K0+510 (A partir de la vía Las palmas) producido por la infiltración de aguas en una terraza superior donde quedaba instalada una cancha de fútbol; el segundo en el K1+130 donde hay una cicatriz en media luna de un deslizamiento probablemente ocurrido en una zona empleada anteriormente como depósito de material proveniente del corte de taludes para el emplazamiento de las habitaciones de los seminaristas. Ambas zonas han sido estudiadas y se tienen identificadas las actividades respectivas para estabilizarlas.

### **2.3.3 Restitución de vías de acceso.**

#### **2.3.3.1 Vía de acceso al Seminario mayor de Medellín.**

Como parte de la construcción del portal de entrada del túnel Seminario, es necesaria la intervención del acceso actual al Seminario Conciliar de Medellín, razón por la cual se ha diseñado una reposición del acceso y su empalme con la doble calzada Las Palmas, garantizando la circulación y acceso al predio.

Partiendo del k5+000 de la actual vía a Las Palmas se inicia el trazado el cual empalmara con la actual vía interna en el sector del aserrío, en este sector de unos 420 m se realizara la construcción de la nueva portería de control de ingreso del seminario y el ramal de conexión al futuro desarrollo vial de la conexión para la salida de los vehículos.

La vía tendrá una sección típica de 7.0 m de calzada, y berma-cuneta laterales de 0.50 m. y superficie de rodadura en concreto asfáltico.



Figura 2-26 - Vía d Acceso al Seminario Mayor de Medellín

### 2.3.3.2 Carreteable de acceso al tanque la pastora:

Esta vía será utilizada para el acceso del personal de EPM al tanque de abastecimiento de agua, a manera de restitución de la vía existente donde el trazado del proyecto por las obras de vía a cielo abierto occidental, sector 2, anula esta vía. Va desde la Hermita del padre Marianito hasta el actual tanque. Tiene una longitud de 407 m y se hace necesario la construcción de dos pasos a desnivel tipo box, uno sobre la quebrada La India y otro en la intersección con el trazado de la vía principal de la conexión. Tendrá un ancho de vía de 6 m y pendientes entre el 1.11 y 11%.



Figura 2-27 - Carreteable de acceso al tanque la Pastora

### 2.3.4 Zonas de Acopio

El manejo de las zonas de acopio para la construcción del proyecto vial, se realizará de la siguiente forma:

1. En los frentes de obra se podrá establecer acopio de material en cantidades menores con las cuales el Contratista pueda desarrollar su actividad sin inconvenientes
2. En los sitios definidos para instalaciones provisionales o locaciones de carácter logístico se tendrá acopio de material en cantidades tales que permitan tener un stock constante de material para atender las necesidades de la obra en sus diferentes frentes.

El material acopiado en los diferentes sitios será debidamente identificado; haciendo diferencia entre el material pétreo y no pétreo que allí se establezca. Para el material pétreo se tomarán todas las medidas requeridas y establecidas puntualmente en la ficha de manejo, evitando al máximo la dispersión o arrastre del material; en el caso de cemento este se ubicará sobre estibas de madera y en lugares cubiertos con suficiente ventilación.

Para la manipulación de los diferentes materiales acopiados el personal encargado de tal actividad contará con todos los elementos y recursos de protección personal requeridos de acuerdo con el panorama de riesgos definidos.

Las zonas de acopio contarán con sus especificaciones de ejecución como lo son: NO se establecerán cerca de cuerpos de agua; su distancia mínima está definida en la normatividad ambiental, los planes de ordenamiento territorial y los POMCA donde se defina el ancho mínimo a respetar para garantizar la protección de las fuentes de agua, todas las zonas contarán con la aceptación de la autoridad ambiental y se tomarán todas las medidas definidas en el Plan de Manejo Ambiental.

Posterior al uso de estos lugares, se garantizarán en condiciones similares o mejores a las encontradas, para lo cual el constructor llevará un registro fotográfico y actas de vecindad de las propiedades antes de dar inicio a la actividad; este procedimiento se realizará al finalizar y entregar las zonas.

### 2.3.5 Disposición de Material Excedente en el Proyecto

Conforme lo descrito anteriormente, se requiere contar con áreas o zonas de depósito cuya capacidad permita disponer in situ un volumen total de materiales del orden de 2.319.517 m<sup>3</sup>.

Tabla 2-16 - Volumen de material de excavación sobrante

Actividad Generadora	Volumen material (m3)
Vías a Cielo Abierto	634.875
Vía Industrial Occidental	38.000
Excavaciones Túnel Seminario	103.028
Excavaciones Túnel Santa Elena	1.543.614
Total	2.319.517

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

En la selección de los sitios de depósito del proyecto fueron realizados teniendo en cuenta criterios tales como: localización, accesibilidad, estabilidad de la zona, capacidad del depósito, impactos ambientales generados, ausencia de cuerpos de agua, etc.

Es de aclarar que parte del material excavado del túnel Santa Elena (un 60% aprox.) será utilizado en la misma obra para la fabricación de concretos, bases, sub base, terraplenes y llenos, material para filtros y gaviones, por lo tanto esto reduce la capacidad necesaria de sitios de depósito.

En el Estudio de Impacto Ambiental realizado en el año 2.000 y el cual fue aprobado con la Licencia Ambiental otorgada por CORNARE mediante la Resolución 1764 de junio de 2.002, se tenían previstos los siguientes espacios como depósitos:

Tabla 2-17 - Depósitos identificados en el EIA 2000

Número	Nombre	Coordenadas		Área (m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>2</sup> )
1	Autopista	1 176 620	855 450	48 000	248 884
2	La Primavera	1 176 880	855 380	51 250	611 175
3	La Cortada	1 176 290	853 000	25 500	212 608
4	El Carmin	1 176 600	851 900	80 250	1 125 690
5	Ranchería	1 176 520	850 200	25 000	114 603
6	Ventana 1	1 177 830	845 020	23 000	157 047
7	Ventana 2-a	1 177 670	845 150	23 000	150 717
8	Ventana 2-b	1 177 790	845 250	33 000	248 344
9	Ventana 2-c	1 177 800	845 150	32 000	344 409
10	Pantaniello	1 177 000	843 680	37 500	1 021 900
11	La Esperanza	1 176 800	845 150	3 765	52 000
12	Seminario	1 180 230	836 900	26 000	120 000
13	Bolivariana	-	-	20 000	120 000
14	Contrapeso derrumbe km 10+700 vía Santa Elena	-	-	4 128	15 000

Fuente: Integral 2000

Con la actualización a hoy del Estudio de Impacto Ambiental realizada en el año 2.009 y en desarrollo de la actualización de la línea base ambiental del proyecto desarrollada con el fin de dar respuesta a cada uno de los requerimientos expedidos por la ANLA con la Resolución 456 de 2.012, se ha realizado un nuevo análisis de las restricciones y conveniencia de los sitios de depósitos aprobados, en la licencia ambiental actual del proyecto descartándose algunos de los sitios anteriores, modificándose otros e incluyendo algunos nuevos, de tal forma que se tendrían los siguientes sitios de depósito como definitivos para todo el proyecto:

Tabla 2-18 - Depósitos para el proyecto Conexión Vial Aburrá - Oriente

Nombre Depósito	Coordenadas		Volumen (m <sup>3</sup> )
Seminario	1 180 230	836 900	1.000.000 m <sup>3</sup>
La Querencia	1 175 934	850 313	150.000 m <sup>3</sup>
Depósito Mina Guayabito - Ingetierras	1 168 684	848 284	300.000 m <sup>3</sup>
Depósito Mina Samarcanda - Locería Colombiana S.A.	1 167 292	851 711	60.000 m <sup>3</sup>
Depósito Mina SUMICOL	1 168 648	854 488	10.000 m <sup>3</sup>

Fuente: Concesión Túnel Aburrá - Oriente

### 2.3.5.1 Descripción de los diferentes depósitos

#### Deposito Seminario:

Se localiza en la parte alta y media de las quebradas La Cangreja y la India, en cercanías del tanque de suministro de agua de EPM La Pastora, delimitado en su parte inferior por la vía de acceso al tanque y en su parte superior por una vía industrial, por el costado oriental está limitado por la quebrada La India y por el costado occidental con la vaguada del afluente intermitente de la quebrada La Cangreja. Sus coordenadas al punto central son Este 836950 - Norte 1180150 y cota 1872m. El Cuerpo principal se desarrollara sobre una geomorfología de vertientes moderada con inclinación entre 15% y 30%, aproximadamente.



Figura 2-28 - Ubicación depósito Seminario

Como se mencionó anteriormente con el fin de compensar la no utilización del depósito Bolivariana, se realizó una optimización de los diseños del depósito Seminario, para aumentar la capacidad del mismo sin afectar las condiciones de estabilidad de la zona, reducir el riesgo a las amenazas naturales del sitio y el impacto ambiental de las obras considerando las condiciones actuales, minimizando la intervención a las laderas y cauces naturales. La optimización incluyó la evaluación y mejoramiento de los tratamientos inicialmente propuestos, con base en los reconocimientos geológicos y geotécnicos, la exploración del subsuelo y la implementación de un sistema de instrumentación con la finalidad de monitorear los niveles piezométricos y las deformaciones laterales del terreno antes, durante y después de ejecutadas las obras propuestas.

En la zona donde se encuentra ubicado el Depósito se presentan dos unidades geológicas como son: Depósitos de flujos de lodos y el Stock de San Diego. El Depósito Seminario se emplaza dentro del stock de San Diego, en esta zona predominan rocas ígneas intrusivas, las cuales son clasificadas como Gabro, actualmente, en la zona predominan los horizontes IB y IC de meteorización, los cuales alcanzan a tener hasta los 40m de espesor.

La condición definitiva del depósito Seminario implica una capacidad cercana a 1.000.000 m<sup>3</sup>, condición que conlleva a intervenir una parte importante de la zona, por esta razón, es fundamental realizar una adecuación integral del terreno y los drenajes naturales presentes en la zona.

Con el fin de minimizar el área a intervenir, se propone la construcción del depósito en dos etapas, la primera comprende un volumen de 650.000m<sup>3</sup> y la segunda de 350.000 m<sup>3</sup>, en principio, con la primera etapa se estima se cubriría el material producto de la excavación de la vía y parte de los túneles, sin embargo, se dejó una capacidad adicional para atender volúmenes propios de la construcción de la vía, cada etapa requiere un tratamiento integral de cuencas y drenajes, de tal forma que se reduzca el impacto ambiental y se garantice la estabilidad del depósito.

Los análisis de estabilidad muestran que bajo las condiciones actuales la ladera es estable tanto en condiciones estáticas como pseudo estáticas de carga. Bajo la condición de servicio, el depósito es estable aún para el escenario conservador que consideró el nivel freático en el contacto lleno-terreno natural, las potenciales superficies de falla presentaron valores adecuados, por lo que se descartan fallas que comprometan la fundación del sitio. De los análisis de estabilidad, no se detectaron fallas o potenciales superficies de falla las cuales comprometan la estabilidad actual y futura del tanque la Pastora.

La optimización contemplo la reevaluación de los sistemas de drenaje subsuperficial y de escorrentía. El primer sistema consiste en la construcción de filtros profundos tipo espina de pescado con el fin de captar y encauzar de manera organizada y eficiente las aguas que se infiltren desde el lleno y la fundación. El segundo sistema consiste en un sistema de canales y alcantarillas, diseñadas para un periodo de retorno de 100 años. El diseño final del depósito se encuentra en el Anexo 2.2 - Informe de diseño I-2284-TO-DP-01-Rev1 realizado por la firma Inteinsa S.A.

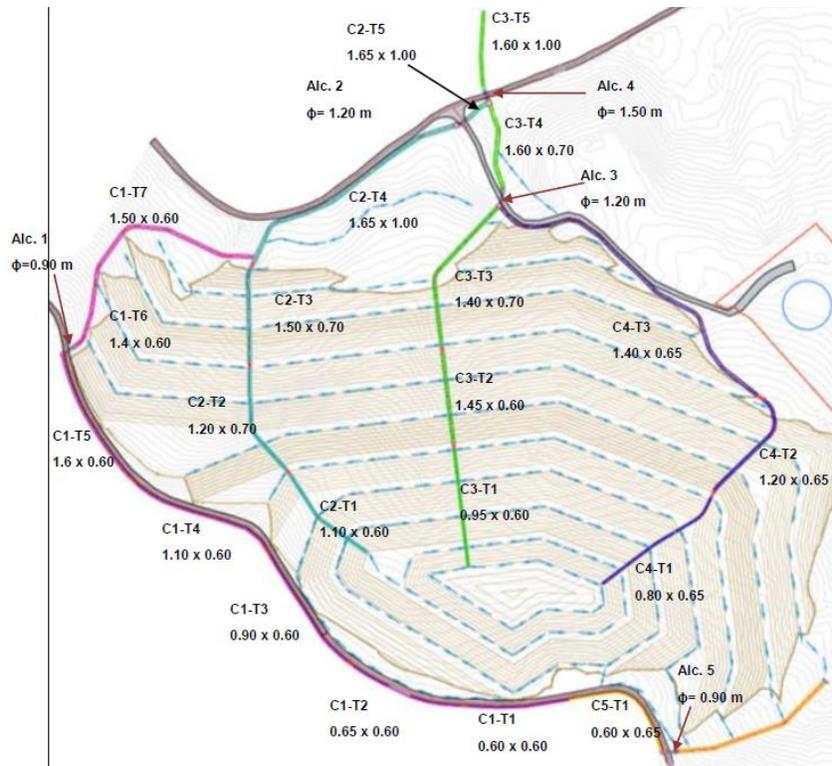


Figura 2-29 - Deposito Seminario. Obras hidráulicas de manejo de aguas

### **Deposito Mina Guayabito - Ingetierras**

Está ubicado en la vereda Guayabito del municipio de Rionegro, sobre la margen izquierda de la vía Don Diego a Rionegro y a 4 kilómetros antes de llegar al Centro comercial Llanogrande.

Este depósito se encuentra a 10 kilómetros del portal oriental del Túnel Santa Elena y su recorrido se hace por la vía glorieta Sajonia, glorieta aeropuerto, vía Llanogrande y finalmente por la vía Llanogrande - Don Diego.

La zona de depósito corresponde al área de recuperación de la explotación minera realizada por Ingetierras de Colombia S.A. en la llanura aluvial del Rio Negro. Esta zona está comprendida dentro del área de concesión minera con código HDMK-01 para la explotación de arenas y gravas naturales en un área de 146,52 hectáreas. Esta explotación minera cuenta con licencia ambiental otorgada por Cornare mediante resolución N° 112-0020 del 14 de enero de 2005, posteriormente modificada por la resolución 112-5877 del 14 de noviembre de 2007. Actualmente la competencia ambiental la tiene el actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible según la resolución 2333 del 21 de diciembre de 2007, modificada por la resolución 2353 del 24 de diciembre de 2007.

En la actualidad este depósito cuenta con una capacidad disponible de 300.000 m<sup>3</sup> aproximadamente como parte del llenado de las celdas de explotación de acuerdo a los requerimientos de la entidad ambiental.

### **Depósito Mina Samarcanda – Locería Colombiana S.A.**

Ubicado en la vereda cabeceras del municipio de Rionegro. Su acceso se hace a través de la vía que conduce del Centro Comercial Llanogrande hacia la vereda Cabeceras, en un recorrido de 1.8 kilómetros hasta la entrada de la mina para un recorrido final de 600 metros. El trayecto desde el portal Oriental del Túnel Santa Elena hasta el sitio de depósito es de 9.5 kilómetros.

Este depósito corresponde a la recuperación de la explotación minera que realiza Locería Colombiana dentro del área de concesión minera C-766 (nuevo código CFWB-02). En la actualidad este depósito cuenta con una capacidad disponible de 60.000 m<sup>3</sup> aproximadamente como parte del llenado de las celdas de explotación de arcilla, de acuerdo a los requerimientos de la entidad ambiental.

### **Depósito Mina SUMICOL en San Antonio de Pereira – Rionegro.**

El ingreso está a 1 Km desde San Antonio, sobre la vía que conduce al Municipio de La Ceja; desde este punto se gira a la derecha unos 50 metros y llega a la portería de la mina. Desde el Portal oriental del Túnel Santa Elena hasta la boca de mina hay 13 Km transitados por vía pavimentada.

El depósito corresponde a una zona de recuperación minera donde Sumicol ha explotado arcillas de origen lacustre dentro del área de su Concesión minera, la cual cuenta con Licencia ambiental única otorgada por CORNARE mediante Resolución No 5269 del 26 de septiembre de 1996. Este depósito cuenta con una capacidad disponible de unos 10.000 m<sup>3</sup> aproximadamente.

### **Depósito La Querencia.**

Su ingreso está a 1 Km desde la glorieta del aeropuerto JMC y a unos 4 Km desde el portal oriental, sobre la margen derecha de la vía Aeropuerto-Guarne; La zona del depósito está conformada por un relieve de pequeñas colinas y bajos relieves, éstos últimos serían los que se aprovecharían para

hacer un lleno técnico y conformar el terreno. En general, la zona presenta una geomorfología de baja pendiente, con lomos redondeados y de baja altura, la cual es típica del Batolito Antioqueno. Adicionalmente, por la parte inferior de la zona pasa la quebrada Rancherías, de caudal importante (76 l/s), esta presenta un ancho cercano a los 3 m, de baja pendiente, cuenta además con una planicie o zona de inundación, en donde al parecer se riega el caudal en avenidas torrenciales.



Figura 2-30 - Localización del Depósito la Querencia

La zona está dominada por dos unidades geológicas principales como son El Batolito Antioqueno y depósitos aluviales, los cuales generalmente cubren suelos derivados de cenizas volcánicas y/o un nivel de arcillas denominado Horizonte Gley, que a su vez descansan sobre suelos residuales del Batolito. Los depósitos aluviales se presentan a lo largo de la quebrada que limita el depósito en su parte baja, estos cuerpos están conformados por niveles de arcillas plásticas, con frecuente presencia de niveles de turba, los cuales son concentraciones de materia orgánica de espesor variable; en la zona se han reportado estos niveles de más de 4 m.

La zona de análisis se encuentra ubicada dentro de la cuenca del Rio Negro, en el municipio de Rionegro. Específicamente, el sitio se encuentra en medio de dos corrientes afluentes de dicha cuenca, denominados quebrada Rancherías y Afluente Sur, de los cuales el mas cercano a los depósitos sería el Afluente quebrada Rancherías.

En la zona no se aprecian procesos morfodinámicos de importancia y relevancia, en general, la vertiente está libre de cicatrices, procesos o movimientos en masa; sin embargo, resalta la presencia de afluente en la parte baja de la vertiente el cual tiene una amplia zona de inundación, la cual permanece la mayor parte del tiempo saturada, dicha zona de inundación es primordialmente plana, por lo que se espera un predominio de suelos limo arenosos provenientes de la dinámica misma de la quebrada, no se descarta la presencia de Turba y materia orgánica en estas márgenes. Considerando el afluente y la zona de inundación se propuso emplear un retiro de por lo menos 30 m del eje del afluente como un límite inicial para los depósitos.

Se estima que las diversas zonas bajas para lleno, tendrían una capacidad total de unos 180.000 m<sup>3</sup>. En la siguiente figura se aprecia la conformación de las zonas de disposición.



Figura 2-31 - Zonas de disposición depósito la Querencia

Con la finalidad de garantizar las mejores condiciones para los materiales de la fundación del depósito, se implementará la construcción de una red de filtros superficiales. Por las limitantes topográficas de la zona, es importante emplear filtro superficiales de máximo 1.0 m de altura, con remates de altura variable, tratando en lo posible entregar lo más cercano posible al afluente.

Una vez implementado el depósito, y la construcción de las obras de captación y conducción de aguas de escorrentía diseñadas (cunetas, canales, rondas) es importante poner en marcha un programa de instrumentación que permita monitorear el comportamiento de las presiones de poro y la estabilidad del depósito como tal. Se propone instalar por lo menos tres (3) piezómetros, por lo menos uno en cada pata de ventana y al menos un inclinómetro en la parte alta del depósito con el fin de evaluar la estabilidad del lleno, y otro cerca de la pata del depósito con el objeto de detectar fallas de fondo.

### 2.3.6 Fuentes de Materiales

Las fuentes de materiales que se proponen para el proyecto corresponden a proveedores de la zona de influencia del proyecto que cuentan con los respectivos permisos ambientales y mineros requeridos de acuerdo con los lineamientos del Código de Minas; en este sentido es de resaltar que la directriz es la no explotación directa de fuentes y la utilización del material proveniente de las excavaciones de los túneles.

Así las cosas, se plantea adquirir los materiales requeridos para la construcción del proyecto de las siguientes fuentes de materiales:

Tabla 2-19 - Fuentes de materiales de construcción

Nombre de la Fuente de Materiales	Ubicación	Permiso Ambiental	Permiso Minero	Representante Legal	Observaciones
Reutilización del	Portal Oriental	Resolución 1764		Gobernación de	

Nombre de la Fuente de Materiales	Ubicación	Permiso Ambiental	Permiso Minero	Representante Legal	Observaciones
material de excavación del Túnel de Santa Elena	Túnel de Santa Elena	de 2002 de CORNARE		Antioquia	
Cantera La Borrascosa	Vía Represa La Fe Medellín	Expediente Ambiental CORNARE No. 19.1.833		Gustavo Alberto Vélez Correa Cel: 3113392324	Restricciones: Debido a que se localiza en área de influencia de la Reserva Forestal Nare, el área licenciada se restringe a 5 hectáreas
Ingetierras de Colombia S.A.	Antigua vía del Tranvía Frente a Coltejer	Expediente Ambiental CORNARE No. 20.10.0881	Título H5837005	Diego Javier Jiménez Nit: 811006779-8	
Constructora y Clasificadora de materiales para la construcción – C&C Ltda	Calle 41 No. 52-53 Monteverde Rionegro	Expediente Ambiental No. 20.10.0899		Jesus Alberto Cifuentes Flores Tel: 5633036 - 5661929	
Cantera Yarumal	Vía Santa Elena. Vereda Yarumal, municipio de Rionegro.	Expediente Ambiental No. 056151004332		Ivan Campuzano Tel: 5360446 – 3006191989	
Concretos y asfaltos (conasfaltos)	Km 12 Autopista Norte - Bello Ant	Resol. 1066 de 8/06/2010	Registro Minero 00074 de 9 de Marzo de 1993 (Res 795 de 1992 de GobAnt))		
Pavimentar - Procopal	Vereda San Esteban. Girardota	Expediente Amb. 3-97643	Registro Minero 00022 desde 17 julio de 1992 (a nombre de Procopal) Res 1743 de 1993 de GobAnt		
Mezcla Asfáltica	El Condor / Agregados San javier	Resolución 130AN6199 de 2007			
Santa Rita	Calle 28 No. 87-33 – Sector Belen Altavista				
Agregados San	Calle 43 BB	Resol 10701 del			

Nombre de la Fuente de Materiales	Ubicación	Permiso Ambiental	Permiso Minero	Representante Legal	Observaciones
Javier	No. 120 B - 151	3/03/10 y Resol 2528 del 21/09/04			
Agregados del Norte	Calle 5B #21 - 24. Girardota		Registro Minero 0555138380		

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

Adicionalmente, se planea la reutilización de los materiales provenientes de las excavaciones del Túnel de Santa Elena y en tal sentido se están adelantando los trámites del título minero ante la Secretaria de Minas de la Gobernación de Antioquía.

### 2.3.7 Plantas de Concreto y de Trituración

#### Sector oriental

Planta de concreto: Para este sector está contemplado el montaje de una planta de concreto a ubicarse en un predio de la franja adquirida para la construcción de la segunda etapa del proyecto. Estará ubicada en el predio CA- 29, donde anteriormente funcionaba el estadero El Cortijo, predio ubicado sobre la margen derecha de vía a Santa Elena- Rionegro, a 563 metros del portal oriental del túnel Santa Elena.

Planta de asfalto: No se contará con montaje de plantas de asfalto dentro del área de la obra. Está previsto adquirir el concreto asfáltico de los diferentes proveedores autorizados, localizados en la zona del Valle de San Nicolás o en el Valle de Aburrá.

Planta de trituración: Se prevé utilizar los servicios de la planta de trituración de Ingetierras, localizada en el municipio de Rionegro.

La ubicación y distribución de estas plantas se encuentran en el plano AO-IP-GE-00.

#### Sector occidental

Planta de concreto: Para este sector está contemplado el montaje de una planta de concreto a ubicarse en un predio de la franja adquirida en cercanías del depósito seminario, desprendido del predio CA- 15, de propiedad del Seminario Conciliar de Medellín. Esta planta suministrará concreto al túnel Seminario, vías a cielo abierto y túnel Santa Elena por el portal occidental.

Planta de asfalto: No se contará con montaje de plantas de asfalto dentro del área de la obra. Está previsto adquirir el concreto asfáltico de los diferentes proveedores autorizados, localizados en el valle de Aburrá.

Planta de trituración: Se prevé la instalación de una planta en el mismo predio donde estará ubicada la planta de concreto.

La ubicación y distribución de estas plantas se encuentran en el plano AO-IP-GE-001 y AO-IP-GE-002.

## 2.4 Actividades del proyecto

A continuación se resumen las principales actividades de obra requeridas para la construcción del proyecto de Conexión Vial Aburrá Oriente de acuerdo con la descripción del proyecto realizada anteriormente:

### 2.4.1 Etapa de Preconstrucción

**Adquisición predial:** Identificación de los predios ubicados dentro del corredor del proyecto. Comprende la realización de Estudios de Títulos, avalúos, realización de ofertas, trámites legales (Adquisición, expropiación, escrituración, registro y entrega del predio). Esta actividad se realiza en la vía a cielo abierto, zonas de portales, vías industriales y zonas de depósito, áreas de instalaciones temporales.

**Cercado y alindamiento predial:** Consiste en la implementación de cercas y señalización de protección de las zonas de los predios adquiridos para el proyecto.

**Adecuación de servidumbres locales:** corresponde a la restitución o acondicionamiento temporal de accesos a predios e instalaciones que queden aisladas por la construcción del proyecto.

**Montaje e instalación de dispositivos y estaciones de monitoreo ambiental:** Es el montaje de unidades de monitoreo y seguimiento ambiental del proyecto. Contempla estaciones pluviométrica, estaciones de monitoreo de caudales, red de monitoreo de piezómetros, estaciones de monitoreo de ruido y aire.

**Montaje de la red de monitoreo e instrumentación:** Instalación de piezómetros, inclinómetros, puntos de asentamientos, puntos topográficos de control, instrumentación geotécnica, red piezométricas, red geodésica de control,

**Demolición y desmantelamiento de inmuebles:** Retiro de instalaciones y/o construcciones ubicadas dentro de los predios adquiridos para la obra y dentro del corredor de construcción de la misma.

**Cargue, acarreo y disposición de insumos y materiales:** Suministro, transporte y acopio de todos los insumos requeridos para la construcción de las obras, tales como combustibles para las maquinas, cemento, acero, agregados pétreos, afirmado, asfaltos y concretos.

**Cargue, transporte y disposición final de material sobrante:** Incluye la actividad de recolección, cargue y transporte de materiales sobrantes de excavación, demolición, derrumbes, y todo material sobrante, que debe ser depositado y conformado adecuadamente en los sitios seleccionados y con permiso ambiental para tal fin.

**Restitución y/o reubicación de redes y servicios:** Traslado, restitución y adecuación de redes de acueducto, alcantarillado, telecomunicaciones, redes eléctricas en aquellas áreas de servidumbre que cruzan las fajas adquiridas para el proyecto (Incluye excavaciones, instalación, transporte, montaje de tuberías, cables y demás accesorios requeridos para el desarrollo de la actividad).

**Rescate y traslado de vedas florísticas epifitas:** Al mismo tiempo que se realice la erradicación de la vegetación presente en el área de las obras y una vez realizado el apeo a cada árbol, se inspeccionan las ramas y follaje presentes en el mismo. Las epifitas que se encuentren adheridas a cada árbol serán sujetadas a su base, para mantener la integridad de la planta al momento de su separación, luego se realiza el corte circundante sobre la corteza en su parte superficial, y con

esto, se desprenden completamente del árbol. Las epifitas rescatadas se reubican en nuevos árboles fuera del área de influencia directa de las obras, después de colocarles enraizador hormonal y sujetándolas a sus nuevos hospederos mediante cuerdas.

**Ahuyentamiento de fauna:** Consiste en inducir el desplazamiento de los animales por sus propios medios y así evitar su captura, procedimiento que por lo general no ocasiona lesiones a los animales, ni pone en peligro a las personas que realizan el salvamento. Sin embargo, algunos animales permanecerán en el sitio y es necesario capturarlos y trasladarlos.

**Tala o traslado de vedas florísticas arbóreas** Dentro del aprovechamiento de árboles en las áreas del proyecto, se afectarán tanto bosques naturales como bosques plantados, en los que se verán afectadas especies con alguna categoría de riesgo de extinción o de veda que requieren de un tratamiento especial. Se incluyen actividades y acciones que se consideran apropiadas y oportunas para lograr un adecuado manejo de los impactos y afectaciones que se pueden presentar, dentro de estas medidas está el rescate de árboles pequeños, trasplantándolos a hábitats cercanos que no serán intervenidos o se llevarán a espacios temporales para luego introducirlos en los programas de compensación, traslado en las condiciones técnicas establecidas de los individuos arbóreos establecidos a zonas de similares o iguales condiciones o finalmente la tala o corte del individuo y su aprovechamiento forestal (utilización de la madera) y su posterior compensación.

**Aprovechamiento forestal:** Comprende toda la actividad de corte, repique, troza de madera, acopio y retiro y disposición de material sobrante en zonas aledañas al proyecto que no causen interferencia con las obras, ni con cuerpos de agua.

**Rescate arqueológico:** Se hace referencia a la labor de salvamento a los vestigios culturales que aparezcan durante las distintas actividades del proyecto que implique la remoción de capas superficiales de suelo. Cumplir con los lineamientos del Instituto Colombiano de Antropología e Historia -ICANH, institución encargada de la protección y conservación del patrimonio histórico en el país, sin interferir con las acciones del proyecto en las áreas de interés arqueológico.

**Montaje de locaciones temporales en portales (plataforma de operaciones y locaciones):** Incluye actividades como construcción de talleres provisionales, instalación de oficinas provisionales, instalación de plantas eléctricas y zonas de transformadores, zonas de polvorines, área de aguas servidas, tanques de aguas industriales, instalaciones de ventilaciones de construcción, subestación eléctrica y red eléctrica provisional, instalaciones de sanidad y salud, construcción de comedores, baterías sanitarias y sistemas de tratamiento, áreas de capacitaciones, almacenes, casetas de vigilancia.

**Construcción y adecuación de instalaciones provisionales administrativas:** Adecuación, construcción de instalaciones para oficinas administrativas, parqueaderos, talleres, zonas de laboratorio, comedor, incluye baterías sanitarias y sistemas de tratamiento.

**Montaje de locaciones temporales (Puentes, viaductos y otros):** Corresponde a la instalación y/o adecuación de oficinas, vestieros, baños portátiles, comedores, zonas provisionales de acopio, plataformas o pistas para prefabricados.

**Trámite y compra de material explosivos:** Corresponde a la gestión, solicitud de cupo y compra de material explosivo ante la entidad nacional competente, sea directamente a ella o a un tercero nacional o extranjero. Incluye el traslado a los batallones de almacenamiento autorizado.

**Materialización de vías industriales:** Replanteo, descapote, excavación, obras de drenaje y protección de taludes, obras de contención, construcción de pasos provisionales sobre cuerpos de agua, obras de arte, llenos, pavimento y señalización. Se ubican en el sector del portal oriental y occidental del Túnel de Santa Elena.

**Materialización de senderos industriales:** Comprende la construcción de caminos peatonales con su correspondiente señalización y demarcación, dentro y en cercanías del corredor del proyecto.

**Señalización y demarcación de vías, locaciones y zonas de depósito:** Corresponde la instalación de toda la señalización informativa, preventiva, reglamentaria y ambiental requerida para la construcción del proyecto.

**Adecuación de zonas de depósito:** Para la ejecución de las obras es necesario contar con sitios técnicamente y ambientalmente adecuados para la disposición de los materiales sobrantes de las excavaciones. La adecuación comprende actividades como Desmontes, Descapote, Excavación y Adecuación de obras de drenaje, contención, confinamiento y señalización de zonas de depósitos. Incluye adecuación de zonas de accesos e instalaciones de red de monitoreo geotécnico.

**Adecuación e instalación de plantas de trituración y concretos:** corresponde a la instalación de plantas para trituración de materiales pétreos, plantas para producción de concretos, incluyendo la adecuación de zonas de acopio de materiales, zonas de maniobras de maquinaria y vehículos y demás infraestructura requerida para el control ambiental de la actividad.

## 2.4.2 Etapa de Construcción

**Desmontes y descapote en bancas en vías a cielo abierto:** Se define como el retiro de la capa vegetal de las zonas de las vías a cielo abierto. Incluye traslado, acopio y protección del material para su posterior reutilización en la revegetalización de la obra.

**Adquisición, almacenamiento y transporte de explosivos.** Comprende la actividad de transporte del material explosivo desde los batallones de almacenamiento hasta los polvorines adecuados en obra acondicionados para su almacenamiento. Incluye la actividad de adecuación de polvorines y la implementación de medidas de seguridad para su almacenamiento y transporte.

**Excavaciones (cortes) para explanaciones:** Corresponde a la excavación mecánica o con la utilización de explosivos para la conformación de la banca de las vías definitivas a cielo abierto y accesos a puentes y viaductos.

**Excavaciones para estructuras y obras de arte:** Corresponde a la excavación mecánica, manual con utilización o no de explosivos para la construcción de fundaciones de estructuras, protección de cauces y obras de arte.

**Construcción obras de drenaje y sub-drenaje:** Considera la ejecución de alcantarillas, cunetas, filtros, rondas de coronación drenajes horizontales y verticales, canales y descoles, y toda aquella estructura referente al control y manejo de aguas de escorrentía y freáticas.

**Construcción obras de contención y confinamiento:** Corresponde a todas las estructuras que buscan estabilizar y confinar laderas, taludes, llenos y terraplenes de acuerdo a los diseños previstos.

**Estabilización y manejo de taludes de corte:** Corresponde a la actividad de adecuación de laderas y la construcción de las obras para estabilizarla tales como pernos, mallas, rondas de coronación y

de terraza, drenaje, micropilotes, anclajes, concreto lanzado, grama, cunetas de berma, engramado, revegetalización, geo sintéticos y agromantos, etc.

**Conformación de rellenos y terraplenes:** Corresponde a las estructuras que contrarias a los cortes en los taludes crearan los mismos con la compactación y conformación de llenos con materiales seleccionado de las excavaciones.

**Protección y manejo de taludes de terraplenes:** Implementación de sistemas de protección, los cuales se harán con el material vegetal proveniente de los descapotes, previa a la implementación de filtros o cubrimientos protectores con agromantos y mallas biodegradables. Llevará cunetas de drenaje en su corona y remates en cunetas y muros de protección.

**Construcción de cimentaciones en puentes y viaductos:** Comprende la construcción de pilas, pilotes, zapatas y/o dados y columnas que sirven para soportar la superestructura de estas obras.

**Construcción de infraestructura en puentes y viaductos:** Comprende la construcción de columnas, vigas cabezales, muros, aletas y todas las estructuras de concreto y/o metálicas necesarias para poder apoyar la superestructura.

**Construcción de superestructura en puentes y viaductos:** Comprende la construcción de las obras, en concreto o metálicas, necesarias para apoyar la superficie para la banca y rodadura de la vía.

**Adecuación de obras de accesibilidad local:** Construcción de todas las obras necesarias para la restitución de todas las circulaciones peatonales o vehiculares restringidas por la construcción de las obras.

**Emportalamiento de túneles:** Comprende las excavaciones sean mecánicas o con uso de explosivos, necesarias para conformar y proteger el acceso a los túneles, incluye la utilización de concreto lanzado, pernos de anclaje, perforación y voladura de protección, arcos y cerchas metálicas, sistemas de enfilajes o sombrilla, inyecciones y preinyecciones, sistemas de drenajes, pilas y pantallas, manejo y control de aguas externas e internas.

**Confirmación geotécnicas:** Ejecución de sondeos con extracción de núcleos o destructivas y/o pruebas de geo símica que permitirán evaluar el tipo y calidad de los macizos a excavar con el fin de anticipar las medidas de protección necesarias para garantizar su estabilización.

**Sistemas de presoporte:** Corresponde a los sistemas de sostenimiento previos a la excavación de la sección de túnel con el fin de darle mayor calidad de autosoporte y prevenir las infiltraciones de agua. Se utilizaran sistemas como son Preinyecciones, enfilajes, pernos de fibra, inyecciones de consolidación, drenajes, pernos de soporte.

**Excavaciones subterráneas:** Ejecución de las excavaciones controladas mecánicas o por PyV (Perforación y voladura) con un patrón preciso para un adecuado control de la roca y dar seguridad al túnel para la extracción del material y conformar la sección del tubo, galería o conexión.

**Bombeos y tratamientos de aguas industriales:** Implementación de sistemas de evacuación de las aguas encontradas o utilizadas en el proceso de excavación y tratamiento de las mismas antes del punto de vertimiento a las fuentes de agua naturales. Comprende la composición de sistemas como estaciones de bombeo, tubería, sistemas desarenadores, sedimentadores y retención de grasas.

**Sostenimiento de excavaciones subterráneas:** Consiste en la instalación de la ayuda necesaria por el terreno para llegar a su autoapoyo. Ayuda que puede consistir en la utilización de concreto lanzado, que puede ser simple o reforzados con fibras metálicas o sintéticas, pernos, cerchas y marcos metálicos, drenes y refuerzos acrílicos e inyectables.

**Actividades de drenaje e impermeabilización de excavaciones subterráneas:** Esta labor se iniciará en momentos previos a la excavación de la sección con perforaciones de drenaje, inyecciones, preinyecciones y continuara posterior a la excavación con la colocación de más drenajes y más inyecciones de ser necesario. Antes del revestimiento, pero después del sostenimiento si fuese necesario se colocaran estructuras de captación de las aguas de infiltración restantes después del proceso, las cuales serán encausadas por medio de ductos y membranas impermeables hacia los niveles inferiores del túnel donde se encuentran ubicados los colectores o tubería de drenaje.

**Revestimiento de la excavación:** Es la colocación de una estructura que reviste la cavidad y que está en contacto con el terreno o con el sostenimiento previamente colocado, para la puesta en servicio. Este vestido puede consistir en concreto lanzado con fibra, concreto lanzado con fibra allanado, capas de concreto hidráulico tipo estructural con y sin refuerzo, concreto reforzado con mallas metálicas o sintéticas o la utilización de placas prefabricadas de concreto (dovelas).

**Trituración de materiales pétreos, incluye rezaga:** Es el machaqueo o procesamiento del material pétreo apto, proveniente de las excavaciones subterráneas del túnel de tal forma que se obtenga material clasificado para las diferentes actividades de la obra.

**Fabricación de concretos hidráulicos:** Consiste en la elaboración por medio de mezclado de agregados pétreos con arenas y cementantes para producir una pasta homogénea que finalmente fragua denominada concreto hidráulico. Esta fabricación se dará tanto en plantas estacionarias y en plantas móviles.

**Cargue, acarreo y disposición de insumos y materiales:** Hace referencia a todas las actividades de cargue de materiales a través de medios manuales o mecánicos, dependiendo del material y transporte de dichos elementos en los medios adecuados hasta los diferentes sitios pertinentes en la obra para su utilización.

**Adecuación y conformación de materiales en zonas de depósitos:** Corresponde a las actividades necesarias para una disposición, conformación técnica y ambientalmente adecuada de materiales provenientes de las excavaciones de las obras, como son control de calidad y selección de materiales a disponer, control de aguas, correcta extensión del material y compactación, control de la geometría de diseño de acuerdo a los procedimientos establecidos.

**Construcción estructuras de pavimento rígido:** Hace referencia a la conformación de una superficie de circulación vehicular o peatonal en material granular (subbase y base) y concreto hidráulico con sus correspondientes componentes de acuerdo a los diseños como son acero de refuerzo, pasadores de acero, juntas, sellado de juntas y provisiones para sistemas de drenaje (cajas de inspección, cunetas y sumideros).

**Construcción estructuras de pavimento flexible:** Hace referencia a la conformación de una superficie de circulación vehicular o peatonal en material granular (subbase y afirmado) y concreto asfáltico (base y rodadura) y provisiones necesarias para sistemas de drenaje (cajas de inspección, cunetas y sumideros).

**Señalización y demarcación vial definitiva:** Comprende todos los dispositivos para la regulación del tránsito del Proyecto teniendo en cuenta lo establecido en el Manual Colombiano sobre Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles y Carreteras. Componen este sistemas la colocación de señalización vertical, dispositivos instalados sobre el contorno de la vía con información preventiva, reglamentario e informativa; señalización horizontal (líneas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, sardineles y estructuras de las vías como líneas de demarcación, tachas reflectivas, delineadores de curvas, captafaros.

**Construcción e Instalación de dispositivos de seguridad y control operativo:** Se compone de los requerimientos técnicos, las características y las capacidades de estructuras y equipos para proveer a los túneles de sistemas de ventilación, iluminación, contra incendio, respaldo de energía, sistema de supervisión, control y comunicaciones que provean condiciones adecuadas de visibilidad y del nivel de contaminantes al interior de los túneles, sistemas de señalización, control y vigilancia en las vías a cielo abierto para garantizar la seguridad y el confort de los usuarios.

**Sistema de tratamiento de aguas de infiltración y sistema contra incendio:** Corresponde a toda la infraestructura necesaria (tanques desarenadores, separadores de aceites) para el tratamiento de las aguas industriales provenientes de las excavaciones de los túneles y su disposición a los puntos de vertimiento ambientalmente aprobados. Estas estructuras servirán también de tratamiento de aguas una vez los túneles estén en operación y en determinados casos como respaldo de almacenamiento al sistema contra incendio.

**Actividades de adecuación arquitectónica y paisajística:** Como parte del mejoramiento visual de la zona donde se construyen las obras se plantea una adecuación e integración de las obras con el paisaje de las diferentes áreas con la ejecución de embellecimiento del paisaje y un adecuado diseño arquitectónico de las construcciones para ser compatibles con el ambiente. La integración paisajística puede ser de interés para la creación de paisajes, la recuperación de paisajes degradados, regulando el frágil equilibrio existente entre el protagonismo formal de la intervención y su adecuación al paisaje, con el fin de mantener intactos unos determinados paisajes e incluso recuperarlos o recrearlos si han sido modificados.

**Construcción de edificio de control:** En cada uno de los portales del túnel se dispuso la construcción de un edificio en el cual se concentran las funciones propias de administración y control y las obras complementarias correspondientes a su atención y vigilancia. El diseño y la solución formal de los edificios se definieron a partir de los condicionantes físicos establecidos tales como las vías de acceso, los determinantes geográficos como topografía, orientación, paisaje, etc., del terreno y los requerimientos de espacio para ubicación de los equipos. Los edificios se dividen en tres módulos independientes, comunicados interiormente e integrados formalmente, con un área total construida de 1.792 m<sup>2</sup>.

**Actividades de desmantelamiento y retiro:** El desmantelamiento y retiro puede ser definido como el conjunto de procedimientos y acciones que se deberá llevar a cabo en la etapa final o abandono de la actividad para en lo posible devolver a su estado inicial las zonas intervenidas por una instalación. El plan incorpora las medidas orientadas a prevenir impactos ambientales y riesgos durante el cierre de la fase constructiva, considera acciones como restablecer en lo posible las condiciones descritas en la línea base del EIA., puntualizar las acciones de descontaminación, restauración, retiro de instalaciones temporales como: almacenes, oficinas provisionales para uso del contratista, patios de maquinarias, etc. utilizadas en el proyecto, así como los residuos generados (plásticos, madera, baterías, filtros, entre otros) y otras necesarias para abandonar el

área, asegurando que el lugar recuperado no represente riesgos a la salud y seguridad humana, ni que signifique impactos al ambiente ni pasivos ambientales, Consegui que la zona cumpla con todas las leyes y reglamentos aplicables, es decir, que sea consistente con todos los códigos, guías y prácticas recomendadas, así como con los requerimientos de uso del terreno de las autoridades municipales y/o gubernamentales, asegurar que la zona de abandono no represente una responsabilidad inaceptable para presentes o futuros propietarios del terreno, sea estéticamente aceptable y no signifique deterioros al paisaje.

**Cercado y demarcación definitiva del corredor:** Esta actividad corresponde al cerramiento con postes de madera o concreto y malla eslabonada o alambre de púas los linderos de los predios adquiridos para el proyecto una vez terminadas la obras, con el fin de resguardar, vigilar, evitar invasiones y dar seguridad a los usuarios en todo el tramo de circulación a cielo abierto y zonas de instalaciones de operación y control.

**Siembras arbóreas compensatorias:** tiene como fin resarcir los impactos o efectos negativos que no pueden ser evitados o sustituidos y que serán directamente ocasionados por la disminución de la especie al ser talados y que se encuentran en condiciones aptas para la reproducción (que garantizan la permanencia de la especie en la cobertura vegetal) y a su vez, el repoblamiento de otras zonas aledañas. Al ser talados estos individuos ya no se tendrá la disponibilidad de frutos y semillas que estos solían proporcionar y que permitían su reproducción. Se hará una siembra compensatoria de árboles amenazados o en veda en las proporciones indicadas en los planes de manejo ambiental y en las zonas debidamente seleccionadas.

## 2.5 Cronograma del Proyecto

En el anexo 2.3 se encuentra el cronograma de la primera fase del proyecto de Conexión Vial Aburrá Oriente.

## 2.6 Costos

A continuación se presentan los costos resumidos del proyecto:

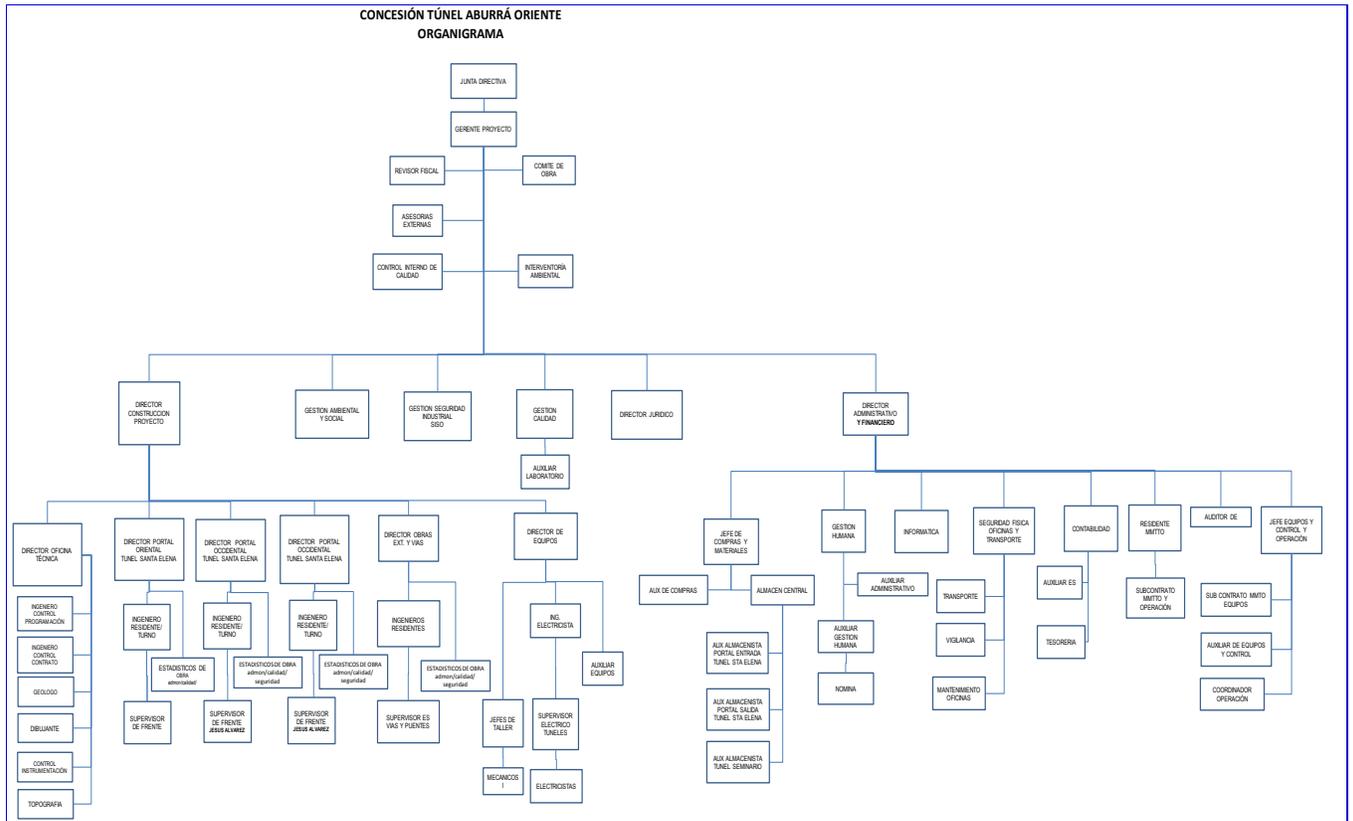
Tabla 2-20 - Costos Resumidos del Proyecto

	Frente de Trabajo	Valor Total (pesos col Ene/09)
1	Obra Civil (Túneles y vía a Cielo Abierto)	584.504.149.088
2	Equipos eléctricos y mecánicos de los túneles Seminario y Santa Elena	106.879.056.983
3	Costos Ambientales	31.859.148.201
	TOTAL	723.242.354.272

## 2.7 Estructura organizacional

Durante la construcción del proyecto la Concesión Túnel Aburrá Oriente manejará una estructura organización encabezada por una Junta Directiva, que escoge un Gerente, que es el que finalmente actúa como representante legal de la Concesión.

El Gerente conforma un grupo de trabajo compuesto por un Director de Construcción, un Director Administrativo y financiero, un Director Jurídico, un Director de Gestión Ambiental y Social, un Director de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial y un Director de Calidad. Finalmente cada una de las direcciones mencionadas conforma sus equipos de trabajo tal como se puede observar en el Anexo 2.4 y en el siguiente organigrama:



Tal como se puede observar del esquema organizacional anterior la Dirección de Gestión Ambiental y Social (Departamento de Gestión Ambiental) está en el más alto nivel de la organización, dependiendo directamente de la Gerencia y al mismo nivel de la Dirección de Construcción de tal forma que se garantice desde la concepción de la estructura organizacional un papel destacado para la Gestión Socio Ambiental en las decisiones de la organización.

El Departamento de Gestión Ambiental o Dirección de Gestión socio Ambiental se conforma según lo establecido en el Decreto 1299 del 22 de abril de 2008. Sus principales funciones son:

1. Implementar el Plan de Manejo Ambiental del proyecto y sus Programas Ambientales.
2. Dar cumplimiento a los requerimientos de la Licencia Ambiental del proyecto.
3. Cumplir la normatividad ambiental vigente.
4. Incorporar la dimensión ambiental en la toma de decisiones del proyecto.
5. Brindar asesoría ambiental al interior de la empresa.
6. Tramitar los permisos requeridos para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales.
7. Mejorar continuamente el Sistema de Gestión Ambiental.

8. Implementar mejores prácticas ambientales.
9. Implementar el Programa de Educación Ambiental que tiene como objetivo capacitar y sensibilizar al personal.
10. Hacer seguimiento continuo al desempeño ambiental del proyecto.
11. Presentar los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) al Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
12. Presentar los Informes Ambientales Mensuales para la Interventoría del Proyecto.
13. Preparar la información requerida por el Sistema de Información Ambiental que administra el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.

El personal que conformará este equipo se detalla en el Plan de Manejo Ambiental.