



**El ambiente
es de todos**

Minambiente



MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES

ANEXO

**REQUERIMIENTOS ADICIONALES PARA LA ELABORACION DEL ESTUDIO
DE IMPACTO AMBIENTAL – EIA, PARA PROYECTOS QUE REQUIEREN LA
CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE TUNELES**

**BOGOTÁ D.C.
2019**



TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	6
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	11
1.1 LOCALIZACIÓN.....	11
1.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.....	11
1.2.1 EXPERIENCIAS PREVIAS Y EXISTENTES	11
1.2.2 FASES Y ACTIVIDADES DEL PROYECTO.....	12
1.2.3 DISEÑO DEL PROYECTO	12
1.2.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL (LOS) TÚNEL (ES):	12
1.2.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	13
1.2.4.1 FASE DE ADECUACIÓN Y PRECONSTRUCCIÓN	13
1.2.4.2 FASE CONSTRUCCIÓN	13
1.2.4.3 FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	16
1.2.4.4 FASE DE DESMANTELAMIENTO Y ABANDONO	16
2. ÁREA DE ANÁLISIS	17
3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ANÁLISIS	18
3.1 MEDIO ABIÓTICO	20
3.1.1 TOPOGRAFÍA	20
3.1.2 GEOLÓGICO.....	21
3.1.2.1 ESTRATIGRAFÍA	22
3.1.2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	22
3.1.2.3 SISMICIDAD	24
3.1.2.4 GEOMORFOLOGÍA	25
3.1.2.5 GEOTECNIA	25
3.1.2.6 GEOAMENAZAS	27
3.1.2.7 EXPLORACIÓN GEOLÓGICA	28
3.1.3 PAISAJE	30



3.1.4	SUELOS Y USOS DE LA TIERRA	30
3.1.5	HIDROLÓGICO	31
3.1.5.1	CLIMATOLOGÍA.....	31
3.1.5.2	CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL	32
3.1.5.3	USOS DEL AGUA.....	34
3.1.6	HIDROGEOLÓGICO	34
3.1.6.1	CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	36
3.1.6.2	MODELIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	38
3.1.7	MODELO DE TERRENO.....	40
3.1.8	VIBRACIÓN.....	40
3.1.9	ATMOSFÉRICO	41
3.1.9.1	INVENTARIO DE FUENTES DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	41
3.1.9.2	CALIDAD DEL AIRE	41
3.1.9.3	METEOROLOGÍA.....	41
3.1.9.4	RUIDO.....	41
3.2	MEDIO BIÓTICO.....	41
3.3	MEDIO SOCIOECONÓMICO	42
4.	DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES.....	43
4.1	CONCESIÓN DE AGUA SUPERFICIAL	43
4.2	CONCESIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	43
4.3	REÚSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA	44
4.4	PERMISO DE VERTIMIENTO	44
4.5	OCUPACIÓN DE CAUCES.....	46
4.6	APROVECHAMIENTO FORESTAL.....	47
4.7	PERMISO DE RECOLECCIÓN DE ESPECÍMENES DE ESPECIES SILVESTRES DE LA BIODIVERSIDAD	47
4.8	PERMISO DE EMISIÓN ATMOSFÉRICA (AIRE Y RUIDO)	47



4.9	APROVECHAMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	47
5.	PLANES Y PROGRAMAS	48
5.1	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.....	48
6.	BIBLIOGRAFÍA	52

VERSIÓN PRELIMINAR



LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

MGEPEA: Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales

TPD: Tráfico Promedio Diario

VERSIÓN PRELIMINAR



GLOSARIO

Para la aplicación de los presentes términos de referencia se tendrá en cuenta el siguiente glosario¹:

- **Acuífero:** unidad de roca o sedimento, capaz de almacenar y transmitir agua en cantidades significativas.^[1]
- **Área de análisis:** corresponde aquella área en donde se manifiestan los impactos por la preconstrucción, construcción, operación y mantenimiento, desmantelamiento y abandono, del (los) túnel (es), sobre los medios abiótico, biótico y socioeconómico, en cada uno de los componentes de dichos medios y es aquella en donde se levantará la información solicitada en el numeral 4. "CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ANÁLISIS".^[2]
- **Calzada:** zona de la vía destinada a la circulación de vehículos.^[3]
- **Carretera:** obra de infraestructura del transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.^[4]
- **Carril:** parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.⁵
- **Carril de Emergencia:** franja por fuera de las líneas que delimitan la calzada, el cual permite el estacionamiento de vehículos averiados.⁶
- **Corredor:** franja geográfica de ancho variable en la cual se ubican uno o varios trayectos o alternativas para la circulación del tránsito vehicular entre dos puntos conocidos.⁷
- **Modelo de Terreno:** conjunto de los diferentes factores que caracterizan el área del proyecto (modelo topográfico, geológico, geotécnico, hidrológico, hidrogeológico). En este se reúnen todas las características y las condiciones predominantes del terreno⁸.

¹ Las referencias para esta sección se encuentran al final del documento, en el ítem de Bibliografía.



El ambiente
es de todos

Minambiente



- **Túnel:** obra subterránea de carácter lineal que comunica dos puntos, para el transporte de personas, fluidos o materiales.⁹

VERSIÓN PRELIMINAR



CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

El presente Anexo técnico tiene como objetivo presentar los requerimientos adicionales a los términos de referencia genéricos expedidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, de proyectos, obras o actividades de los sectores infraestructura (viales y férreos), eléctrico, mineros e hídricos, que involucren la construcción y operación (cuando aplique) de túneles.

La razón de establecer requerimientos adicionales se fundamenta en las particularidades propias de los proyectos, obras o actividades que involucren la construcción y operación de túneles conforme lo establecido en el Decreto 1076 de 2015, tanto para la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, como para las Corporaciones Autónomas Regionales, las de Desarrollo Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y las autoridades ambientales creadas mediante la Ley 768 de 2002 o aquella que la modifique, sustituya o derogue.

El presente anexo técnico debe ser aplicado en la construcción y operación de túneles de los proyectos que se relacionan a continuación:

I. En el sector minero (construcción y operación):

- a) Carbón²;
- b) Materiales de construcción y arcillas o minerales industriales no metálicos;
- c) Minerales metálicos y piedras preciosas y semipreciosas;
- d) Otros minerales y materiales:

II. En el sector eléctrico (construcción y operación)

² Se debe tener en cuenta que el parágrafo 3 del artículo 2.2.2.3.6.2 del Decreto 1076 de 2015 indica que:

“Artículo 2.2.2.3.6.2. De la solicitud de licencia ambiental y sus requisitos.

(...)

Parágrafo 3º. Las solicitudes de licencia ambiental para proyectos de explotación minera de carbón deberán incluir los estudios sobre las condiciones del modo de transporte desde el sitio de explotación de carbón hasta el puerto de embarque del mismo, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 3083 de 2007 o la norma que lo modifique o sustituya.”.

En este sentido, para los proyectos mineros de carbón, se debe contemplar la adecuación de la infraestructura de transporte que sea necesaria para transportar este mineral desde la mina hasta el puerto de embarque, para lo cual se podría necesitar construir y operar túneles, sean éstos férreos o carreteros.



- a) Centrales generadoras de energía eléctrica

III. Sector Vial³

- a) Proyectos de la red vial nacional, secundaria y terciaria
- La construcción de carreteras, incluyendo puentes y demás infraestructura asociada a la misma;
 - La construcción de segundas calzadas; salvo lo dispuesto en el párrafo 2º del artículo 1º del Decreto 769 de 2014;
 - La construcción de túneles con sus accesos.

IV. Sector Férreo

- a) La construcción de vías férreas y/o variantes de la red férrea nacional o de carácter regional tanto pública como privada.

V. Sector Hídrico

- a) Los proyectos que requieran trasvase de una cuenca a otra

El presente anexo debe incorporarse como complemento según sea el caso y el sector a los requerimientos establecidos en:

I. Sector Minero:

- Resolución 2206 del 27 de diciembre de 2016 "*Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA Proyectos de explotación minera TdR – 13*".

II. Sector Eléctrico:

- Resolución 1519 del 26 de julio de 2017 "*Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental para la construcción y operación de centrales generadoras de energía hidroeléctricas TDR – 014*".

III. Sector Vial:

Requerimientos adicionales para la elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA, para proyectos que requieren la construcción y operación de túneles



- Resolución 1559 del 12 agosto de 2009 “*Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental para la construcción de segundas calzadas en terreno plano a semiondulado VI-TER-1-02*”.
- Resolución 0751 del 26 de marzo de 2015 “*Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA en proyectos de construcción de carreteras y/o túneles M-M-INA-02 Versión No 2*”.

IV. Sector Férreo

- Resolución 0750 del 07 de abril de 2017 “*Términos de Referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental – EIA en proyectos de construcción de líneas férreas TDR-03*”.

V. Sector Hídrico

- Resolución 1270 del 30 de junio de 2006 “*Términos de Referencia para la elaboración de E.I.A., para proyectos que requieran trasvase de una cuenca a otra corriente de agua que excedan de 2 m³/s durante los periodos de mínimo caudal TR-TER-1-01*”

El interesado en ejecutar proyectos, obras o actividades sujetos a licenciamiento ambiental debe elaborar los estudios ambientales que se requiera siguiendo las directrices establecidas en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, adoptada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución 1402 de 2018 o aquella que la modifique sustituya o derogue. Adicionalmente, la elaboración de dichos estudios ambientales debe atender los requerimientos señalados en el presente anexo, que son adicionales, complementarios y específicos para la construcción y operación de túneles.

El diseño, construcción y operación de túneles, se debe realizar bajo el principio de desarrollo sostenible, el cual abarca no sólo la integración paisajística de la obra en su ambiente natural, sino que se extienden a una concepción racional de ésta, tanto en términos geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos, como en términos funcionales.



1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 LOCALIZACIÓN

Se debe presentar de manera esquemática la localización geográfica y político-administrativa (departamental, municipal y corregimental, en los casos que aplique incorporar el ámbito veredal), que permita dimensionar y ubicar el (los) túnel (es) en el entorno geográfico. Asimismo, se debe localizar el (los) túnel (es) en un mapa georreferenciado en coordenadas planas (*datum magna sirgas*) a una escala de presentación 1:2.000 o más detallada, que permita la adecuada lectura de la información, cumpliendo con los estándares de cartografía base del IGAC, así como con los catálogos de objetos.

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Se deben especificar las características técnicas del (los) túnel (es) en las diferentes fases, acompañándolas de los respectivos diseños definitivos de la infraestructura a construir y/o adecuar. Igualmente, se debe informar la duración del proyecto y presentar el cronograma estimado de actividades, los costos estimados y la estructura organizacional del mismo. Por otra parte, se debe informar con precisión, la cantidad de área requerida para la construcción del proyecto y su infraestructura asociada.

Presentar los volúmenes de corte y relleno, materiales necesarios, localización de las fuentes de abastecimiento y reportar los volúmenes a emplear, sitios de ubicación y disposición de sobrantes de excavación, demás obras o actividades que se consideren necesarias.

Se debe describir, dimensionar y ubicar en planos o mapas (planta, perfil y cortes típicos), los siguientes aspectos:

1.2.1 Experiencias previas y existentes

Se debe investigar, compilar y referenciar experiencias de construcción y operación (cuando aplique) de túneles anteriores y existentes presentes en el área de influencia del proyecto especificando:

- Información básica nombre, objetivo, altura, diámetro, longitud, espacio libre horizontal y vertical, forma del túnel, condiciones generales del terreno.



- Características relevantes de proyectos anteriores, referenciado métodos de excavación, comportamiento del suelo, condiciones geotécnicas e hidrogeológicas, tipo de revestimiento y métodos de soporte en el suelo.
- Resumen de los problemas reportados durante la construcción y cómo se superaron.
- Historial de daños por estática en el túnel (por ejemplo, colapsos locales, grandes deformaciones, agrietamiento o desprendimiento del revestimiento debido a movimientos de tierra), a menos que se tomen medidas de adaptación para estabilizar el túnel.

1.2.2 Fases y actividades del proyecto

Se debe presentar la descripción de cada una de las fases bajo las cuales se desarrollará el (los) túnel (es), incluyendo las actividades de adecuación pre-construcción, construcción, operación y mantenimiento (según sea el caso), así como las de desmantelamiento, restauración, cierre y clausura y/o terminación de todas las acciones, usos del espacio, actividades e infraestructura temporal y permanente relacionados, uso y aprovechamiento de recursos naturales renovables y no renovables.

1.2.3 Diseño del proyecto

Presentar las características técnicas del (los) túnel (es) para cada una de las fases, incluyendo la información de cada una de las obras de infraestructura que hacen parte del proyecto, estableciendo criterios de diseño para el dimensionamiento.

1.2.3.1 Características geométricas del (los) túnel (es):

Se debe describir y presentar las características geométricas del (los) túnel (es) teniendo en cuenta como mínimo:

- Información básica nombre, objetivo, altura, diámetro, longitud, espacio libre horizontal y vertical, forma del túnel, condiciones generales del terreno entre otras.
- Criterios técnicos de diseño geométrico teniendo en cuenta como mínimo (según sea el caso):
 - Velocidad de diseño y de operación
 - Radio curvatura
 - Pendiente longitudinal
 - Peralte máximo
 - Bombeo



- Caudal de diseño
- Principales características geométricas del (los) túnel (es) a construir:
 - Sección de servicio
 - Ancho de calzada
 - Gálibo vertical
 - Bóveda
 - Andenes
 - Alineamiento

Se debe presentar un mapa y una descripción de Planta - Perfil del (los) túnel (es) propuestos a una escala H: 1:2000 y V: 1:200 con el alineamiento horizontal y vertical del (los) túnel (es), los elementos de curvatura, ancho de calzada, andenes, nichos, localización de obras de drenaje y otros.

1.2.4 Características técnicas

1.2.4.1 Fase de adecuación y preconstrucción

Se debe describir las actividades a realizar previas a la construcción del (los) túnel (es) teniendo en cuenta como mínimo según sea el caso:

- Preparación del sitio
- Gestión del derecho de vía.
- Compra de predios
- Cercado y alindamiento
- Contratación de bienes y servicios
- Contratación de mano de obra
- Barda perimetral.
- Volumen de remoción de la cobertura vegetal y descapote
- Limpieza del terreno.
- Movilización de maquinaria y personal

1.2.4.2 Fase Construcción

Se debe describir las actividades a realizar en la construcción del (los) túnel (es) teniendo en cuenta como mínimo según sea el caso:

- Portales



- Procesos de emportamiento
 - Localización, topografía detallada de portales y diseño detallado de áreas de portales
 - Características y tipo de roca en donde serán alojados los portales de acceso.
 - Frentes de ataque (portales).
 - Método de Excavación⁴
 - Selección y justificación del (los) método (s) de excavación según el modelo del terreno (ver numeral 4.1.9).
 - Carga de explosivos y voladuras.
 - Sistemas y tipos de soporte, según el modelo de terreno
 - Barrenación.
 - Anclaje y concreto lanzado.
 - Diseños estructurales de los tipos de soporte.
- Nota.** Se deben presentar planos de secuencia de excavación para cada tipo de soporte.
- Nota.** Se debe considerar como el macizo rocoso puede verse afectado por los trabajos de voladura (aumento de la conectividad, cambio de flujo preferente, entre otras) que se realizan en la excavación del túnel.
- Drenaje
 - Sistemas de drenaje interior y exterior
 - Estimando de los caudales a drenar
 - Impermeabilización
 - Rellenos y compactaciones.

⁴ La excavación de la sección transversal se determinará tomando en consideración no sólo la sección transversal interna, las condiciones del suelo, la locación del sitio, método de excavación, procedimiento de construcción, soportes, revestimiento, drenaje, aislamiento térmico, convergencia después de la excavación, sino también la estabilidad del túnel a largo plazo. En malas condiciones de suelo, la excavación de la sección transversal debe incluir la solera o contrabóveda. En un terreno con gran convergencia, la excavación de la sección transversal debe determinarse considerando la deformación permisible.



- Sistemas de impermeabilización (preinyecciones, inyecciones, lechadas, etc.)

Nota. Para el drenaje e impermeabilización del (los) túnel (es), se deben describir las obras de captación, conducción desagüe, tratamiento del agua de infiltración.

Nota: En caso de que se requiera el uso de inyecciones durante la construcción del túnel para la impermeabilización y la estabilización temporal del terreno, se debe indicar las medidas de manejo a realizar por el solicitante para evitar afectaciones al ambiente.

- Revestimiento
 - Tipo de revestimiento (detallar si este tendrá función estructural), en caso de no contemplarse el revestimiento justificar él por qué.
- Remoción, carga y transporte de material sobrante de excavación y escombros.
- Prediseño del pavimento de los túneles, se presentan los detalles de las juntas y planos de modulación de losas para cada túnel.
- Sistemas de Iluminación
- Sistemas de ventilación
- Sistema de detección y extinción de incendios
- Sistema de suministro de energía
- Sistema de auxilio S.O.S.
- Sistema de control de tráfico.
- Sistema de supervisión control y comunicación
- Elementos de control ambiental y sensores
 - Monóxido de carbón (CO),
 - NOx (Monóxido Nitroso y Dióxido Nitroso)
 - Visibilidad (VIS) o factor de extinción Velocidad del aire causado por la regulación de la ventilación.



- Anemómetros
- Construcción de túneles falsos
- Taludes
 - Sistemas para la estabilización de taludes previstos en cortes y terraplenes.
 - Análisis de estabilidad

1.2.4.3 Fase de Operación y mantenimiento

Se debe describir las actividades a realizar en la operación del (los) túnel (es) teniendo en cuenta como mínimo según sea el caso:

- Circulación vehicular.
- Manejo y disposición de residuos.
- Conducción de agua
- Monitoreo de emisiones.
- Ventilación.
- Requerimiento de energía.
- Mano de obra.

Se debe describir las actividades a realizar en el mantenimiento del (los) túnel (es) teniendo en cuenta como mínimo según sea el caso:

- General
- Rutinario
- Preventivo
- De infraestructura
- De equipos

1.2.4.4 Fase de desmantelamiento y abandono

Se debe describir las actividades a realizar en el desmantelamiento y abandono del (los) túnel (es) teniendo en cuenta como mínimo según sea el caso:

- Actividades de desmantelamiento y retiro de infraestructura
- Recuperación y restauración de áreas intervenidas



2. ÁREA DE ANÁLISIS

El área de análisis corresponde aquella área en donde se manifiestan los impactos ambientales por la adecuación, preconstrucción, construcción, operación y mantenimiento (según sea el caso), así como las de desmantelamiento, restauración, cierre y clausura y/o terminación de todas las acciones, del (los) túnel (es), y es aquella en donde se levantará la información solicitada en el numeral 4. “CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ANÁLISIS”.

Para la definición del área de análisis se debe tener en cuenta que esta es diferente al área de influencia del proyecto⁵.

Se debe tener en cuenta que el área de análisis es delimitada por el solicitante y que para ello se recomienda tener en cuenta como mínimo los siguientes aspectos:

- Deslizamientos
- Zonas de fractura
- Fallas
- Suelo no consolidado
- Presencia e infiltración de agua subterránea hacia el túnel
- Conexión del agua subterránea y el agua superficial
- Geoamenazas

⁵ El área de influencia del proyecto contiene el área de análisis del (los) túnel (es).



3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ANÁLISIS

Para la caracterización del área de análisis, se debe sectorizar el túnel en tramos prioritarios (A) y no prioritarios (B) según su complejidad, geológica, geotécnica, geomecánica, e hidrogeológica como se describe en la Tabla 1:

Tabla 1. Sectorización del Túnel

CLASE		Explicación
CLASE A	Tramo Prioritario	<p>Corresponde al sector o sectores del área de análisis del túnel que:</p> <ul style="list-style-type: none">- Se verían afectados por el o los impactos ambientales significativos del proyecto. Ejemplos: zonas residenciales, ecosistemas protegidos, manantiales, cuencas, humedales, etc., que puedan afectarse por subsidencia, deslizamientos, infiltraciones, abatimientos, vibraciones etc.- Presentan zonas altamente heterogéneas y anisótropas.- Zonas que presente una alta amenaza geológica.
CLASE B	Tramo No Prioritario	Corresponde al sector o sectores que no sean clasificados como clase A.

La clase A requiere información de mayor detalle del tramo del túnel respecto a la información requerida en el tramo de clase B, conforme a lo establecido en los presentes términos de referencia.

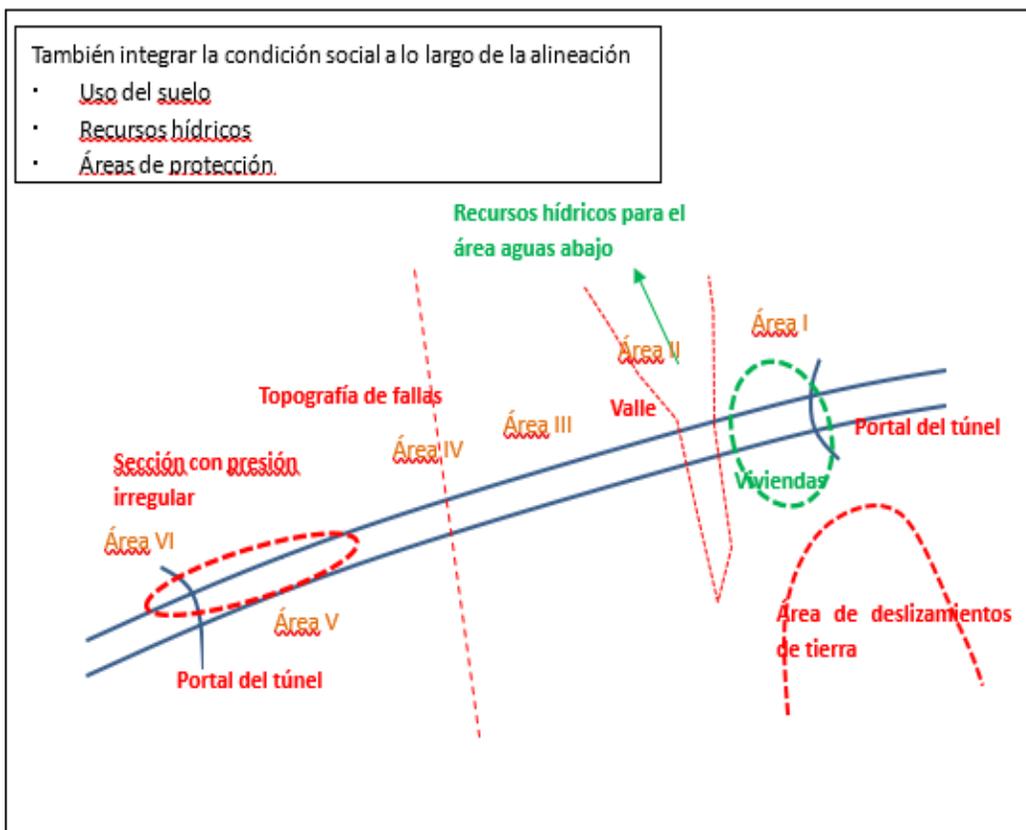


Figura 1. esquema de clasificación por sectores

El resultado de la clasificación podría organizarse en una tabla como se muestra a continuación.

áreas de estudio	Condicionamientos geológicos y topográficos						Otras		Clase		Observaciones
	Deslizamiento de tierra	Zona de fractura	Falla	Suelo no consolidado	Presión irregular	Valle	Vivienda u otras instalaciones	Recurso hídrico	A	B	
I	✓						✓		✓		Portal del Túnel
II						✓		✓	✓		
III										✓	
IV			✓						✓		
V					✓				✓		
VI					✓				✓		Portal del Túnel



Pueden resultar circunstancias donde la sectorización del túnel por sus condiciones se considere todo como clase A o B, para ello se debe justificar los criterios utilizados para la sectorización.

Adicional a lo establecido en los términos de referencia genéricos para casa sector en la caracterización del área de influencia, se debe presentar

3.1 MEDIO ABIÓTICO

3.1.1 Topografía

Para la descripción topográfica el solicitante, como parte de la información topográfica básica, debe incluir en los planos del proyecto lo siguiente:

- Dibujo de la planta y el perfil topográfico.
- Secciones transversales a cada 10 m.
- Ubicación de las referencias fijas sobre el terreno.
- Alineamiento vertical y horizontal.
- Ubicación de los portales y la extensión de las zonas de excavación a cielo abierto.
- Elevaciones en planta y en el perfil longitudinal.
- Símbolos de curvas horizontales.
- Flechas indicando la dirección al destino de la carretera o del tramo.
- Tabla de datos de la geometría del alineamiento horizontal.
- Tabla de elevaciones de subrasante y terreno natural para el perfil longitudinal.
- Croquis de ubicación de la subrasante.
- Esquema de las secciones tipo en el interior del túnel y túneles falsos para tangente y curva.
- Croquis de localización.
- Simbología.
- Cuadro de notas.
- Escalas (gráficas y numéricas).

Asimismo, deben presentarse planos de secciones transversales que incluyan según sea el caso información sobre: sección del terreno natural, geometría de la calzada, taludes de corte o terraplén, cadenamientos, elevaciones, etcétera. Estas secciones deberán abarcar un área de unos 30 m antes del plano de emportalamiento y 20 m después. En estas secciones deberán plasmarse los tratamientos propuestos en los taludes de los cortes.



Nota. En las zonas de portales para galerías de escape, portales del túnel principal y as zonas de accidentes geográficos (e.g. quebradas), se requiere topografía convencional (levantamientos topográficos terrestres).

- En los portales debe cubrirse un ancho mínimo de 50 m en cada costado perpendicular al eje y mínimo 100 m en dirección del eje.
- Los levantamientos topográficos deberán estar en escala 1:2500 para el alineamiento del túnel y 1:500 para el área de portales y galerías de escape.
- Se requiere de topografía de detalle en los portales y zonas de las galerías de escape que se presenten teniendo en cuenta la longitud del túnel.
- Se requiere un mapeo topográfico preciso para respaldar el mapeo de la geología de la superficie y el diseño de las perforaciones exploratorias, ya sea existente o realizado para el proyecto.

4.1.1.1. Grado de precisión

La planta topográfica del área definida para elaborar el proyecto, debe contener la configuración con curvas de nivel a cada 1 m, así como el eje de trazo del camino principal cadeneado a cada 20 m, la localización de caminos secundarios, las referencias del trazo, construcciones aledañas (indicando el tipo de construcción de que se trate), líneas de energía eléctrica, telegráficas y telefónicas, ductos, cercas o muros, caminos, simbología, etc. y todos los datos que se consideren necesarios para la elaboración del proyecto.

Los levantamientos topográficos en las zonas de los portales tienen que contar con un alto nivel de detalle, con curvas de nivel a cada metro y deberán dibujarse secciones transversales considerando, las áreas destinadas a los cuartos o edificios de control.

3.1.2 Geológico

Adicionalmente para la descripción geológica se debe presentar para el área de análisis:

Con base en la geología regional, se debe realizar el reconocimiento geológico en campo que consiste en identificar las diferentes unidades litológicas y los datos estructurales de las principales discontinuidades existentes en el macizo rocoso, así como la existencia de estructuras mayores; dicho reconocimiento, se debe efectuar en la zona del eje del trazo a partir de los afloramientos expuestos en el terreno natural de la ladera donde se emplazará el túnel y en caso de existir, en los arroyos



más próximos a los portales del mismo, caminos de acceso y zonas aledañas al túnel.

La información del componente geológico debe ser presentada a una escala 1:5.000 o de mayor detalle para los sectores clasificados como B, para los sectores clasificados como A la información debe ser presentada a una escala de 1:2.000 o de mayor detalle. La geología detallada de los portales, pozos de ventilación y galerías de escape, y el mapeo de la información estructural complementaria, debe entregarse a una escala de 1:1.000. El mapeo debe contener la información geológica, la litología y descripción del macizo rocoso. El análisis de discontinuidades, la ubicación y orientación, los planos de debilitamiento relativo a la excavación del túnel, planos de estratificación, fallas, juntas, zonas de corte.

3.1.2.1 Estratigrafía

Adicionalmente para la descripción estratigráfica se debe presentar para el área de análisis:

- Perfil geológico a lo largo de la (s) alineación (es) del túnel que muestra la estratigrafía generalizada y las unidades de roca/suelo, indicando las ubicaciones, profundidades y orientaciones de los barrenos.
- Determinación de la inclinación de los estratos con respecto al túnel.

3.1.2.2 Geología estructural

Adicionalmente para la descripción geotécnica para el (los) tramo (s) clasificado como A se debe presentar:

- Determinar con precisión la litología exacta del afloramiento, la descripción y caracterización de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso.
- Determinar el contacto entre las diversas unidades litoestratigráficas, su orientación, los ejes de las estructuras y las fallas.
- Realizar el análisis detallado y mapeo de fallas y discontinuidades que permita establecer su relación o afectación con respecto al eje y la longitud del túnel, describiendo:
 - Tipo, orientación, relleno, espaciamiento, persistencia, número de familia, rugosidad, resistencia, apertura, densidad, área, forma, conteo, conectividad, apertura, aspereza, recubrimiento, meteorización.
 - Fallas y su actividad
 - Erosión de la roca
 - Sumideros y terrenos kársticos



- Accidentes topográficos importantes.
 - Actividad volcánica
 - Presencia de Anhidrita, yeso, pirita o lutitas hinchadas
 - Grietas para aliviar el estrés
 - Presencia de talud o cantos rodados.
- Una vez efectuado el levantamiento geológico estructural y definidas las características y propiedades de cada una de las discontinuidades del macizo rocoso que alojará al túnel, se debe realizar la representación gráfica de las diferentes familias de discontinuidades mediante una proyección estereográfica, en la que, además, se representan los polos o planos con valores medidos de las diferentes familias. Es aconsejable medir varias orientaciones de discontinuidades para definir adecuadamente cada familia. El número de medidas dependerá de la extensión de la zona de estudio, de la aleatoriedad de las orientaciones de los planos y del detalle del análisis.

Nota. En caso de terrenos rocosos, se debe presentar especial atención a la eventual presencia de fallas o discontinuidades importantes, de ámbito regional o local, que pudieran ser cortadas por la perforación del túnel.

- Para el área de análisis, se debe presentar el modelo geológico prospectado y técnicamente sustentado, según sea el caso, del cual se obtenga la siguiente información:
 - Definición, localización y cuantificación de las actividades de exploración geológica directa por medio de perforaciones con recuperación de núcleo, e indirecta por medio de prospección geofísica y sus respectivos registros, realizadas sobre los corredores⁶ y áreas de las obras subterráneas a construir tales como túneles de desviación del proyecto, casas de máquinas, pozos, etc.
 - Identificación de las unidades litológicas y situación geológico estructural a lo largo del corredor del túnel que permita conocer la condición geológica del macizo rocoso. Para este propósito se requiere esquematizar el modelo en planta y perfiles longitudinales y transversales a escala 1:5.000 o mayor detalle, dependiendo la sectorización del túnel; considerando siempre que se debe brindar la suficiente claridad, ilustración y comprensión de las condiciones geológicas del túnel propuesto.

⁶Para la exploración geológica, directa e indirecta se debe tener en cuenta lo establecido en el numeral 3.1.2.7.



- Caracterización del macizo rocoso, identificando el estado de las discontinuidades y análisis cinemático del macizo para establecer la posibilidad de falla por la alteración del contorno del túnel. La caracterización del macizo rocoso debe diferenciar los dominios estructurales; y la capacidad hidrogeológica; así mismo, se debe anexar el registro de datos estructurales levantados en campo.
- Identificación de tramos con diferentes calidades de roca, y zonificación geológica a lo largo de los ejes de los túneles y en el contorno de las casas de máquinas, dependiendo del estado del macizo (roca sana, roca parcialmente meteorizada, roca fracturada, roca alterada hidrotermalmente, corredores de falla, etc.).
- Mapa de Formaciones superficiales en términos del origen y estado de material aflorante y su condición como material de ingeniería, diferenciándolo entre suelo depositado, suelo residual, roca meteorizada, saprolito, roca meteorizada, rellenos antrópicos, etc.

Nota. Se debe presentar un modelo geomecánico que integre todos los estudios de campo y laboratorio realizados en el área de análisis el cual debe considerar las características geométricas de excavación que se presentan en los tajos de acceso, la secuencia de esta y la interacción que existe con los sistemas de estabilización y reforzamiento (anclas, concreto lanzado, drenaje, elementos de contención, etc.). También se debe definir los distintos mecanismos de inestabilidad que pueden presentarse y los factores que los determinan (la estructura rocosa o la naturaleza del suelo).

3.1.2.3 Sismicidad

Adicionalmente para la descripción sísmica se debe presentar para el área de análisis:

- En caso de que en el área de análisis se identifiquen suelo licuable o masas de suelo inestable susceptibles de deslizamiento de tierra a lo largo de la alineación del túnel, se debe evaluar si se esperaría que ocurriera una licuefacción o deslizamiento de tierra durante el evento sísmico de diseño y evaluar los impactos en el túnel.
- Determinar la amenaza sísmica, especificando la aceleración pico esperada, e incluir estudios de microtrepidaciones de la zona donde se va a construir el túnel. En proyectos localizados en zonas de amenaza volcánica incluir el análisis de este factor en el estudio de riesgos.
- Se deben definir y caracterizar todas las posibles fuentes sísmicas, junto con su potencial sísmico asociado (magnitud y la tasa esperada de ocurrencia de



eventos de estas magnitudes). Una vez que se caracterizan las fuentes sísmicas, se debe caracterizar la intensidad de los movimientos del terreno⁷ en el sitio del proyecto a partir de estas fuentes.

- Se debe determinar y justificar el sismo de diseño del (los) túnel (es) propuesto (s).

La información de sismicidad debe generarse en escala 1:25.000 o más detallada, acorde con el área del proyecto de exploración geotérmica.

3.1.2.4 Geomorfología

Adicionalmente para la descripción geomorfológica se debe presentar para el área de análisis:

- Estudio de los fenómenos de erosión y movimientos en masa del terreno como solifluxión, “creep”, deslizamientos y avalanchas⁸.
- Presentar mapa de pendientes con los siguientes rangos: 0:15%, 15-30%, 30-50%, 50-100% y mayor a 100%.

La información geomorfológica debe presentarse a escala 1:5.000 o más detallada.

3.1.2.5 Geotecnia

Adicionalmente para la descripción geotécnica se debe presentar para el área de análisis:

- La investigación geotécnica⁹ proveerá información para aclarar estos problemas y para entender y examinar los siguientes puntos:
 - La geología en general, distribución y características de la sección del túnel.

⁷ Hay tres formas generales mediante las cuales se evalúa en la práctica la intensidad de los movimientos del terreno en el sitio del proyecto. Son, en orden de complejidad: (1) el uso de los resultados de análisis de peligros existentes publicados por agencias creíbles, como US Geological Survey (USGS) y algunas agencias estatales; (2) evaluación del peligro sísmico determinista específica del proyecto y del sitio; y (3) evaluación probabilística de peligros sísmicos específicos del proyecto y del sitio.

⁸ Estos parámetros adquieren una importancia muy especial en el caso de los túneles cercanos a laderas, ya que es en estas zonas donde los fenómenos de geodinámica externa adquieren mayor importancia.

⁹ La investigación geotécnica debe abordar no solo las propiedades del suelo y las rocas, sino también sus comportamientos anticipados durante la excavación.



- Clasificación de suelos con consideraciones técnicas basadas en los resultados de la investigación.
- Topografía y geología de las locaciones del portal, referencias básicas para los problemas y medidas.
- Evaluación de la estabilidad del frente, selección de diseño de soporte y contramedidas, referencias básicas para la selección del método de excavación y el método de avance del túnel.
- Distribución y características de las condiciones especiales del suelo, predicción de problemas potenciales y fenómenos y referencias básicas de posibles contra medidas.

Nota. Los elementos de investigación necesarios deberán ser seleccionados e investigados adecuadamente en consideración del objetivo de la investigación y las condiciones del terreno.

Adicionalmente para la descripción geotécnica para el (los) tramo (s) clasificado como A se debe presentar:

- Determinar los parámetros de deformabilidad y resistencia de la roca matriz y del macizo rocoso, así como sus posibles rangos de variación, presentando los resultados de las pruebas y los análisis de laboratorios, justificando la extrapolación de los resultados obtenidos en la roca matriz a todo el macizo rocoso.
- Se debe definir las características de la roca para las diferentes muestras: calidad aparente, textura, existencia de grietas, fisuras, poros, etcétera, identificando posibles planos potenciales de rotura.
- Definir el comportamiento geomecánico del macizo rocoso.

Modelización Geotécnica

- El modelo geomecánico debe incluir todos los detalles del procedimiento constructivo a implementar, desde la geometría y secuencia de las distintas fases de excavación, como el orden y el tipo de elementos de sostenimiento que se planea colocar.
- Para el modelamiento matemático geotécnico, el solicitante debe justificar la selección del software a utilizar y entregar la descripción general de la estructura del modelo construido, (procesos modelados, ecuaciones matemáticas, variables de estado, parámetros del modelo, condiciones de frontera, condiciones iniciales, métodos de solución numérica o plataforma de solución analítica, ventajas, limitaciones, suposiciones y los parámetros de entrada), a su vez debe realizar un análisis de sensibilidad de incertidumbre paramétrica, y la determinación de límites de confianza, calibración y validación



del mismo, entre otros aspectos. Se debe justificar la representatividad del modelo empleado para las condiciones del área de análisis y los criterios de selección del modelo en razón a la información de entrada.

- Análisis de estabilidad y evaluación de la amenaza. Con base en el estudio de amenaza sísmica y la investigación geotécnica, se debe realizar el análisis de estabilidad. Se utilizarán métodos de análisis y cálculo de reconocida validez aplicables a los mecanismos de falla que han sido identificados.

Nota. Para el caso de la construcción de túneles en proyectos hidroeléctricos y mineros que requieran la construcción de otras obras subterráneas, se debe hacer la respectiva caracterización geotécnica identificando los diferentes niveles de estabilidad de las excavaciones en función de la probabilidad de falla por caída de cuñas, abombamiento u otros procesos que impliquen redistribución de esfuerzos posterior a la construcción del túnel, con base en los análisis cinemáticos y la caracterización geológica local de los túneles, pozos y casa de máquinas.

La información geotécnica se debe presentar en planta y perfil en escala 1:5.000 o más detallada para los sectores B y 1:2.000 o más detallada para los sectores clasificados como A, considerando siempre que se debe brindar la suficiente claridad, ilustración y comprensión de las condiciones geotécnicas del (los) túnel (es) propuesto (s).

3.1.2.6 Geoamenazas

Adicionalmente para la descripción de geoamenazas se debe presentar para el área de análisis identificando:

- Suelos Blandos
- Rocas con planos débiles que se intersecan con un túnel
- Zonas de cizallamiento o planos de lecho débil bien desarrollados y conjuntos de juntas bien desarrollados que están abiertos o llenos de rocas desgastadas.
- Unidades geológicas adyacentes que tengan grandes contrastes en la rigidez que pueden conducir a concentraciones de estrés o desplazamiento diferencial.
- Presencia de metano u otros gases o líquidos peligrosos.
- Agua termal (calor) y gas.
- Deslizamiento de tierra que interseca el túnel, ya sea que el deslizamiento esté activo o no;
- Suelos licuables adyacentes al túnel.



- Debe destacarse, asimismo, la presencia de otras anomalías o singularidades estructurales del terreno o medio rocoso, como zonas cársticas o

3.1.2.7 Exploración Geológica

Se deben describir y determinar las diferentes técnicas directas e indirectas utilizadas en la exploración geología del área de análisis teniendo en cuenta como mínimo:

Directas

Perforaciones

- Describir la ubicación y profundidad de las perforaciones, las cuales deben estar justificadas en los modelos preliminares: geológico, geotécnico e hidrogeológico. Es decir, ambas características están directamente ligadas a la complejidad geológica del área de análisis.
- Considerar la utilidad para ampliar la información en cuanto a presencia, orientación y extensión de estructuras geológicas relevantes (fallas).
- En las zonas de los portales, se debe considerar que la profundidad debe superar cualquier superficie de falla potencial y en todo caso no inferior a tres (3) diámetros por debajo de la solera del túnel.
- Se deben recuperar muestras de las perforaciones en sitios definidos de acuerdo con las condiciones geológicas, con el fin de elaborar el modelo geológico geotécnico de terreno.
- La ubicación y orientación de los sondeos se debe realizar de forma tal que se obtenga el mayor conocimiento posible del macizo a la profundidad del túnel y en su porción central, para poder apreciar la calidad de la roca a distintas profundidades.

Nota. Se debe realizar una perforación en la zona de cada portal hasta la profundidad de la rasante; si la longitud del túnel es de no más de 200 m y presenta coberturas de alrededor de los 100 m, se recomienda efectuar un sondeo que no coincida con el eje del túnel, es decir se deben realizar a un costado para evitar que el barrenado sea un conducto de agua hacia la excavación del túnel durante su construcción. Sí el túnel tiene una longitud mayor a 200 m y coberturas mayores a 100 m, se recomienda efectuar sondeos a por lo menos cada 100 m o en zonas de posibles accidentes geológico o zonas de falla y, cuando sea posible llegar por lo menos a la rasante o atravesar mínimo dos unidades litológicas diferentes.



Nota. De cada uno de los sondeos realizados se deben recuperar núcleos de roca, de los cuales se debe hacer una clasificación litológica macroscópica, evaluando los parámetros de recuperación (REC) e índice de calidad de la roca (RQD) y se deben describir detalladamente las características de las fracturas. Así mismo, se deben tomar fotografías de los núcleos extraídos, identificando claramente el nombre del túnel, cadenamamiento de ubicación, el número de sondeo y profundidad. Una vez analizados los núcleos, se deben realizar los perfiles stratigráficos de cada uno de los barrenos; en los cuales se debe reflejar la litología, características de fracturamiento, porcentaje de recuperación e índice de calidad de la roca (RQD).

Indirectas

- Para garantizar una exploración geofísica adecuada al sistema de riesgos, es conveniente que la exploración indirecta tenga en cuenta:
 - Tener una profundidad de investigación adecuada a la profundidad del túnel y lo más cerca posible de su eje.
 - En zonas tectónicamente complejas debe estar orientada de tal forma que se obtenga la posición real de las estructuras.
- Se debe realizar la exploración geofísica en las zonas de portales, encaminada a determinar:
 - Espesor de los depósitos.
 - Localización de contactos.
 - Localización de posibles fallas o estructuras tectónicas.
 - Localización del nivel freático.
 - Valores de velocidad de onda para determinar parámetros

Es necesario se utilicen y empleen técnicas geofísicas y estas se relacionen con los resultados de las perforaciones para tener un mejor entendimiento de las condiciones geológicas presentes en el área de análisis. Se deben realizar sísmica de refracción y/o reflexión de superficie enfocada en la búsqueda de contactos litológicos y posibles zonas de falla. También se puede utilizar la tomografía sísmica para determinar los parámetros geomecánicos.

Se debe incluir la descripción del método geofísico empleado, justificando su selección, de acuerdo con la extensión y profundidad y las condiciones geológico-estructurales particulares del área de análisis, la georreferenciación de los puntos de medición empleados, los valores de la propiedad geofísica medida y su correlación con las características de las unidades litológicas; adicionalmente, se



deben presentar perfiles geológico – geofísicos y bloques diagrama que ilustren la geometría de las unidades geológicas. Se debe suministrar tanto los datos de campo, como la interpretación de estos.

3.1.3 Paisaje

La información del componente paisaje debe ser presentada a una escala de 1:10.000 o más detallada.

3.1.4 Suelos y usos de la tierra

Adicionalmente para la descripción del suelo y usos de la tierra se debe presentar para el área de análisis:

- Características físicas y ocurrencias de cada unidad de roca o suelo distinguible, incluyendo relleno, suelos naturales y roca de fondo; describir el grado de intemperización / alteración; Incluyendo unidades cercanas a la superficie para cimentaciones / tuberías.
- Resultados de pruebas de laboratorio y de campo presentados en formato de histograma (u otro adecuado), agrupados según cada unidad de roca o suelo distinguible pertinente.
- Presencia de cantos rodados y otras obstrucciones; líneas de base para número, frecuencia (es decir, aleatorias o concentradas a lo largo de contactos geológicos), tamaño y fuerza.
- Factores de carga / hinchamiento y factores de compactación del suelo.
- Descripciones de línea de base de las profundidades/espesores o varias longitudes o porcentajes de cada tipo de suelo o estrato distinguible pertinente que se encontrará durante la excavación.
- La propiedades fisicoquímicas y biológicas de cada tipo suelo, conforme los siguientes parámetros:
 - Físicas: Estructura, Color, humedad, Permeabilidad, Consistencia, Plasticidad, Macro y Microporosidad, Compactación, Conductividad hidráulica, Densidad real, Textura, Retención de humedad, profundidad efectiva, Infiltración, temperatura y Densidad aparente;
 - Químicas: Nitrógeno, fósforo y potasio disponible, pH, contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, Potencial de óxido reducción, Sodio intercambiable y Aluminio intercambiable, Carbono orgánico, grasas y aceites, Razón de Absorción del Sodio (RAS);



- Biológicas: Cuantificación de microorganismos fijadores de Nitrógeno, solubilizadores de fosfato, bacterias y actinomicetos, hongos y celulolíticos aerobios.
- Análisis de vulnerabilidad del recurso suelo.

Nota. La caracterización fisicoquímica y biológica de los suelos debe realizarse por laboratorios acreditados por el IDEAM.

Nota. Se debe entregar información sobre las categorías de manejo ambiental dentro la ronda hídrica de los cuerpos de agua identificados en el área, la cual debe haber sido acotada por la Autoridad Ambiental Competente, así como de los respectivos usos del suelo definidos en dichas rondas por la entidad territorial. En caso de no existir tal información, se debe anexar información relacionada con el régimen de propiedad y usos del suelo en las áreas correspondientes dentro del paisaje fluvial.

La información del componente Suelos y usos de la tierra debe ser presentada a una escala de 1:25.000 o de mayor detalle.

3.1.5 Hidrológico

Adicionalmente para la descripción hidrológica se debe presentar para el área de análisis:

- Inventario detallado de todas las fuentes hídricas superficiales continentales (lénticas y lólicas), así como las aguas marinas interiores y costeras que se encuentran en el área de análisis y la posible conectividad con el túnel.
- Análisis de la dinámica hídrica y las variaciones de su régimen natural.
- Estimación de los niveles y caudales característicos de las corrientes inventariadas.
- Tasas de infiltración en los diferentes tipos de materiales.

La localización de las corrientes y cuerpos de agua en relación con el túnel debe presentarse a una escala 1:5.000 o más detallada para sectores clasificados como B y escala 1:2.000 o más detallada sectores clasificados como A.

3.1.5.1 Climatología

Adicionalmente para la descripción climatológica se debe presentar para el área de análisis:



- Identificar, zonificar y describir las condiciones climáticas mensuales multianuales del área, con base en la información de las estaciones meteorológicas existentes en la región.
- Se debe realizar una proyección climática para la zona del proyecto que considere los efectos del cambio climático en época de estiaje y de lluvias.

3.1.5.2 Calidad del agua superficial

Adicionalmente para caracterización de la calidad del agua superficial se debe presentar para el área de análisis:

- Métodos y técnicas empleadas para realizar muestreos.
- Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las corrientes hídricas ubicadas en el área de análisis, incluyendo aquellas susceptibles de intervención por el proyecto (concesión, vertimientos y/u ocupaciones de cauces), considerando las dos (2) épocas climáticas (época seca y época de lluvias¹⁰). La caracterización se debe realizar siguiendo la misma masa de agua sobre la corriente muestreada.
- Análisis de la calidad del agua incluyendo la correlación de datos fisicoquímicos e hidrobiológicos.
- Cálculo del Índice de Langelier y de la Capacidad Buffer (Tampón) del cuerpo de agua a fin de implementar las medidas de gestión ambiental respectivas.
- Estimación del Índice de Calidad del Agua - ICA y el Índice de Alteración del Potencial de la Calidad del Agua - IACAL¹¹ para las corrientes correspondientes a las Subzonas Hidrográficas y niveles subsiguientes (de acuerdo con la clasificación establecida por el IDEAM para la ordenación y manejo de las cuencas). Se deben incluir en el análisis los cuerpos de agua tributarios principales y los que tengan concesiones que sean de uso para consumo humano y doméstico, agrícola, pecuario y/o recreativo.

La caracterización de la calidad del agua debe incluir como mínimo los parámetros establecidos en la **Tabla 2**:

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a caracterizar en cuerpos superficiales presentes en el área de análisis

PARÁMETROS	UNIDADES
------------	----------

¹⁰ En áreas desérticas del país, se debe realizar la caracterización considerando dos períodos secos.

¹¹ IDEAM. 2014. Estudio Nacional del Agua. Bogotá, D. C.



PARÁMETROS	UNIDADES
Generales	
Temperatura	(°C)
Potencial de Hidrógeno – pH	Unidades de pH
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg/L O ₂)
Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco (5) días (DBO ₅)	(mg/L O ₂).
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L
Grasas y Aceites	mg/L
Fenoles Totales	mg/L
Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM)	mg/L
Conductividad eléctrica	(uS/cm)
Turbiedad	(UNT)
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L O ₂
Potasio	mg/L
Hidrocarburos	
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L
Compuestos de Fósforo	
Fósforo Total (P)	mg/L
Compuestos de Nitrógeno	
Nitrógeno Total	mg/L
Iones	
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L
Sulfatos (SO ₄)	mg/L
Metales y Metaloides*	
Arsénico (As)	mg/L
Cadmio (Cd)	mg/L
Bario (Ba)	mg/L
Cinc (Zn)	mg/L
Cobre (Cu)	mg/L
Cromo (Cr)	mg/L
Hierro (Fe)	mg/L
Mercurio (Hg)	mg/L
Níquel (Ni)	mg/L
Plomo (Pb)	mg/L
Plata (Ag)	mg/L
Selenio (Se)	mg/L
Otros Parámetros para Análisis y Reporte	
Acidez Total	mg/L CaCo ₃
Alcalinidad Total	mg/L CaCo ₄
Dureza Cálctica	mg/L CaCo ₅
Dureza Total	mg/L CaCo ₆
Color Real (m ⁻¹) (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436nm, 525nm y 620nm).	m ⁻¹
Microbiológicos	
Coliformes Totales	NMP/100 mL
Coliformes Fecales	NMP/100 mL



PARÁMETROS	UNIDADES
E. Coli	NMP/100 mL

*Se deben incluir en el análisis, los parámetros de calidad fisicoquímica que no estén relacionados en la presente tabla y que puedan generarse con el desarrollo del proyecto. Se debe contemplar los requerimientos hechos en la Resolución 631 de 2015, en relación con la temperatura de la zona de mezcla térmica.

Las muestras tomadas deben ser de tipo integrada en la profundidad y en la sección transversal, siguiendo los lineamientos establecidos por el IDEAM¹². La evaluación de la calidad del agua debe seguir la guía para el monitoreo y seguimiento del agua, elaborada por el IDEAM, el INVEMAR y el DANE¹³ o aquella que la modifique, sustituya o derogue.

3.1.5.3 Usos del agua

Adicionalmente para caracterización de los usos del agua, se debe presentar para el área de análisis:

- En caso de existir Registro de Usuarios del Recurso Hídrico - RURH elaborado por la autoridad ambiental, se debe consultar y en caso de ser necesario complementar, con un levantamiento detallado de todos los usos y usuarios en todos los tramos afectados por el proyecto (vertimiento, captación y/u ocupación de cauces), esto con el objeto de estimar la demanda hídrica real y potencial.

La información del componente debe ser presentada a una escala de 1:5.000 o más detallada para sectores clasificados como B y escala 1:2.000 o más detallada sectores clasificados como A.

3.1.6 Hidrogeológico

Adicionalmente para caracterización hidrogeológica se debe presentar para el área de análisis:

- Inventario de puntos de agua subterránea, su georreferenciación debe realizarse mediante GPS submétrico y su respectiva nivelación del terreno.
- Para la validación de las principales direcciones de flujo del agua subterránea se debe:

¹² IDEAM. 2002. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Bogotá, D. C.

¹³ IDEAM, INVEMAR y DANE. 2004. Guía para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá, D. C. 39 p.



- Utilizar la información de la caracterización hidrogeoquímica e isotópica o las técnicas que se consideren apropiadas para tal fin, las cuales deben ser sustentadas técnicamente.
 - Tener en cuenta los efectos de las fallas (permeabilidad de la falla, grosor de la zona de falla, permeabilidad de las rocas en contacto con la falla, buzamiento y orientación de la falla).
 - Efectos de la geometría de la cuenca (límites y forma de la cuenca, cabeza hidráulica y profundidad relativa de la cuenca).
 - Efectos de la geología (estratificación, aparición de lentes y anisotropía).
- Para estimar los parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas se debe considerar como mínimo:
 - Realizar dos perforaciones, que alcancen la mayor profundidad entre 40 metros o 5 metros por debajo del nivel freático, separadas por una distancia no superior a 100 metros. Debe realizarse al menos una prueba de bombeo por cada unidad acuífera reconocida.

Nota. Para las pruebas de bombeo se debe contemplar el uso de pozos de observación que capten los mismos niveles del pozo bombeado, con el fin de establecer su radio de influencia y los parámetros hidráulicos del acuífero. Se podrán usar pozos existentes, siempre y cuando se conozca su diseño, capten la misma unidad hidrogeológica de la cual se hace el bombeo, permitan la accesibilidad del personal, la toma de muestra y la suspensión del bombeo por lo menos 24 horas consecutivas previas a la realización de la prueba. De no existir pozos que cumplan las anteriores condiciones, se podrán perforar piezómetros con diseño apropiado. En caso de considerar que no se requiere pozo de observación se deberá dar justificación amplia y suficiente de los motivos, así como analizar la certidumbre de los datos obtenidos en la prueba.

Nota. Cuando se empleen otros ensayos diferentes a las pruebas de bombeo para determinar la permeabilidad p.e.: Slug Test¹⁴, Lefranc, Lugeon, Gilg-Gavard, u otro tipo de pruebas (pruebas de carga ascendente, descendente y de cabeza constante; pruebas de empacador, etc.), se deberá justificar e indicar el alcance de los parámetros interpretados.

¹⁴ Cuando se han identificado puntos de agua subterránea en el inventario, pero no se dispone de pozos construidos en el área de influencia directa del túnel, se recomienda instalar piezómetros y ejecutar pruebas "slug" para obtener los parámetros hidráulicos del acuífero.



- Presentar el análisis de las condiciones del agua subterránea dentro del túnel y su influencia en la construcción y operación.
- Estimación de la tasa de infiltración de agua subterránea que entra al (los) túnel (s) y su distribución a lo largo de este. Identificando la vía posible de entrada de agua al túnel (goteando por el techo, con intensidad variable; por las paredes, en forma de gotas o corriente continua, debido a la presencia de alguna discontinuidad permeable, etc.).
- Análisis del riesgo de contaminación del agua subterránea por el desarrollo de las actividades y obras planteadas.
- Modelo hidrogeológico conceptual, con base en el análisis y síntesis de la información del inventario de puntos de agua, geológica, geotécnica, geofísica, hidrológica, hidráulica, hidrogeoquímica e isotópica, se debe construir y definir un modelo hidrogeológico conceptual, que incluya como mínimo la siguiente información: delimitación de las zonas de recarga, tránsito y descarga; direcciones de flujo; conexiones hidráulicas entre las diferentes unidades acuíferas y fuentes superficiales; características hidrogeoquímicas e isotópicas, características hidráulicas.
- Efectuar un análisis de isótopos ambientales deuterio (2H), Oxígeno 18 (18O) y radiactivos Tritio (3H) en cuerpos de agua superficial y subterránea (aguas del reservorio y de acuíferos superficiales) y agua meteórica (mediante totalizadores de agua lluvia). El muestreo de agua lluvia se debe realizar mínimo durante un año hidrológico con el fin de determinar la línea meteórica local. Con base en los resultados se debe establecer las relaciones existentes entre el agua meteórica, superficial y subterránea, y emplear los resultados para la identificación de las zonas de recarga, tránsito y descarga, los tiempos aproximados de tránsito, la comparación con la línea meteórica mundial y local para Colombia y determinar la edad promedio de las muestras.

La información del componente debe ser presentada a una escala de 1:5.000 o más detallada para sectores clasificados como B y escala 1:2.000 o más detallada sectores clasificados como A.

Nota. En cuanto sea posible se ubicará el túnel por encima del nivel freático o potenciométrico del agua subterránea del acuífero que abastece a la población o aporta el caudal base a las fuentes de agua superficial.

Nota. El agua que se infiltra al túnel requiere de un tratamiento previo para su disposición final.

3.1.6.1 Calidad del agua subterránea



Para la caracterización hidrogeoquímica y la determinación de la línea base de la calidad del agua subterránea de las unidades hidrogeológicas identificadas, se deben caracterizar como mínimo los parámetros establecidos en la **Tabla 3** de los puntos de agua subterránea representativos¹⁵, y presentar su interpretación y análisis. Se podrán reportar las relaciones interparamétricas que se consideren apropiadas para verificar la calidad de los análisis reportados.

Nota. El análisis de las caracterizaciones debe incluir una correlación entre puntos de características similares, asociados a los diferentes acuíferos en el área de influencia directa del túnel.

Nota. Para la recolección de muestras con fines de caracterización hidrogeoquímica, primero debe verificarse si existen hidrocarburos volátiles u otras sustancias insolubles en agua que puedan afectar los equipos de muestreo y con ellos los resultados analíticos. Estos compuestos deben ser retirados antes de iniciar la recolección de las muestras.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a caracterizar en fuentes de agua subterránea presentes en el área de influencia.

PARÁMETROS	UNIDADES
Generales	
Profundidad	M
Nivel freático o piezométrico	M
Altura sobre el nivel del mar	M
Temperatura	(°C)
pH	Unidades de pH
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)
Potencial Oxido Reducción (Eh)	(mV)
Turbiedad	(UNT)
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg/L O ₂)
Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco (5) días (DBO5)	(mg/L O ₂)
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/L
Sólidos Totales (ST)	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L

¹⁵ El muestreo debe incluir por lo menos 1 muestra por cada unidad hidrogeológica, los puntos a muestrear deben mostrar una representatividad general; además, deben caracterizar la calidad de las aguas subterráneas contenidas dentro del acuífero principal, las cuales surten las actividades domésticas y pecuarias de la comunidad en la zona o aportan el caudal base a cuerpos de agua superficiales.



PARÁMETROS	UNIDADES
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L
Grasas y Aceites	mg/L
Fenoles	mg/L
Sílice (SiO ₂)	mg/L
Cationes	
Calcio (Ca ⁺⁺)	mg/L
Sodio (Na ⁺)	mg/L
Potasio (K ⁺)	mg/L
Magnesio (Mg ⁺⁺)	mg/L
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/L
Hierro Total (Fe)	mg/L
Manganeso (Mn)	mg/L
Aniones	
Nitrato (N-NO ₃)	mg/L
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L
Cloruro (CL ⁻)	mg/L
Sulfato (SO ₄ ⁼)	mg/L
Carbonato (CO ₃ ⁼)	mg/L
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	mg/L
Fluoruros (F ⁻)	mg/L
Metales y Metaloides	
Aluminio (Al)	mg/L
Arsénico (As)	mg/L
Bario (Ba)	mg/L
Bromo (Br)	mg/L
Cadmio (Cd)	mg/L
Cobalto (Co)	mg/L
Cromo (Cr)	mg/L
Estroncio (Sr)	mg/L
Mercurio (Hg)	mg/L
Plomo (Pb)	mg/L
Selenio (Se)	mg/L
Otros parámetros para análisis y reporte	
Acidez Total	mg/L CaCO ₃
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃
Dureza Total	mg/L CaCO ₃
Microbiológicos	
Coliformes Totales	NMP/100 mL
Coliformes Fecales	NMP/100 mL
E. Coli	NMP/100 mL

3.1.6.2 Modelización Hidrogeológica



Se debe presentar una modelización numérica del agua subterránea, empleando el *software* adecuado para las características específicas las unidades hidrogeológicas presentes en el área de análisis y sustentando su selección. El modelo numérico debe permitir la simulación espacial y temporal del comportamiento del recurso hídrico subterráneo en donde se determine la posición actual del nivel piezométrico (estado estacionario) y cómo puede variar este nivel con el desarrollo del proyecto de construcción del (los) túnel (es) (estado transitorio), deben tenerse en cuenta como mínimo los siguientes aspectos:

- Justificación de la selección del modelo más apropiado para las condiciones del sistema a modelar, teniendo en cuenta los procesos dominantes, la complejidad del problema, ecuaciones matemáticas, variables de estado, método de solución, ventajas, suposiciones, limitaciones, la variación espacial (unidimensional, bidimensional o tridimensional) y temporal (dinámico, estado estable) de la calidad del agua y de las descargas existentes en el tramo estudiado. El programa de monitoreo debe ajustarse de acuerdo con el modelo seleccionado.
- Definición de la estructura conceptual para la modelación de la calidad del agua. Se deben incluir como mínimo, los siguientes aspectos:
 - Protocolo o marco de modelación.
 - Síntesis de la información preliminar para definir el modelo conceptual.
 - Esquemas que indiquen: entradas, salidas, fuentes, sumideros y procesos fisicoquímicos dominantes identificados en el sistema a modelar.
 - Segmentación inicial del sistema, teniendo en cuenta la definición de los tramos o sectores de análisis y, si es necesario, de acuerdo con criterios de estabilidad y precisión numérica para la implementación del código del modelo seleccionado.
 - Definición y delimitación de los volúmenes elementales representativos, justificando las suposiciones de isotropía y homogeneidad del medio.
 - Definición de los determinantes de calidad del agua a simular.
 - Descripción general de la estructura del modelo seleccionado: procesos modelados, ecuaciones matemáticas, variables de estado, parámetros del modelo, condiciones de frontera, condiciones iniciales, método de solución numérica o analítica, plataforma de solución, ventajas, limitaciones y suposiciones.
 - Análisis de sensibilidad paramétrica
 - Definición de criterios para la calibración y validación del modelo, lo cual incluye la descripción de la función objetivo, las tasas, constantes y



velocidades de transformación por calibrar, y rangos, algoritmo(s) de calibración y validación y criterios de aceptabilidad del modelo.

- Se deben presentar como mínimo los siguientes escenarios de modelización:
 - Condición sin proyecto (línea base estado estacionario).
 - Efectos en el flujo subterráneo que podría causar la construcción del túnel en el área de influencia directa del túnel¹⁶.
 - Efectos en la calidad del agua por el transporte de contaminantes.
 - Cambios en el tiempo de la tasa de infiltración de agua subterránea junto con su distribución a lo largo de la línea del (los) túnel (es), conforme avanza la excavación y construcción de este.
 - Efectos esperados que tienen las medidas para de prevención y mitigación sobre la infiltración hacia el túnel (impermeabilización, inyecciones, entre otras).
- Comparación entre todos los escenarios de modelación, así como con respecto a los criterios de calidad para la destinación del recurso hídrico establecidos por la autoridad ambiental (si existen) o a nivel nacional, y análisis de los conflictos con los usos actuales y potenciales del recurso hídrico de acuerdo con los resultados obtenidos.

3.1.7 Modelo de terreno

Para el área de análisis se debe presentar un modelo de terreno, en el cual se integre la información obtenida en la descripción abiótica (topografía, geología, geomorfología, geotécnica, suelos, hidrológica e hidrogeológica). El modelo debe presentar como mínimo la siguiente información:

- Estratigrafía, litología y contactos litológicos, estructura y características del macizo rocoso, geomorfología, espesor y características de los suelos y capas meteorizadas, posición y flujo del agua.

3.1.8 Vibración

Para vibración se deben realizar muestreos de vibraciones conforme a lo dispuesto en la DIN 4150 (DIN 2001a, DIN 2001b, DIN 2001c), en la zona de estudio, orientados a caracterizar la emisión natural, así como en las áreas

¹⁶ Debe considerarse la proyección, para la zona del proyecto, de los efectos del cambio climático en época de estiaje y de lluvias



cercanas a ubicaciones proyectadas de instalaciones o actividades que sean generadoras de vibraciones.

Las mediciones de vibraciones se deben ejecutar utilizando sensores sísmicos y equipos de almacenamiento y procesamiento de datos que permitan evaluar los diferentes parámetros de aceleración y velocidad. Estos sensores darán como resultado la aceleración del suelo en tres ejes ortogonales, en bandas de tercio de octava desde 1 Hz a 315 Hz y la función de transferencia que sufre la señal hasta llegar al receptor.

El propósito de la medición es realizar una evaluación general que permita estimar los niveles globales de vibración del suelo que puedan llegar a generar riesgo o daño cosmético en las edificaciones dentro del área de influencia del proyecto, obra o actividad. El enfoque básico para la evaluación general es definir dos o más puntos de medición que permitan determinar la vibración global de la superficie del suelo en función de la distancia desde la fuente.

Las mediciones de vibración ambiental se deben realizar al aire libre, pero cerca de las edificaciones receptoras con el fin de estimar de manera global si los valores de vibración generados por el proyecto, obra o actividad pueden estar generando daños en las edificaciones y/o molestias de confort de la población de acuerdo con lo establecido con los estándares internacionales.

3.1.9 Atmosférico

3.1.9.1 Inventario de fuentes de emisiones atmosféricas

3.1.9.2 Calidad del aire

3.1.9.3 Meteorología

3.1.9.4 Ruido

Adicionalmente para caracterización del ruido se deben anexar los reportes de los muestreos sin procesamiento, junto con la memoria de sumatorias de niveles y aplicación de los ajustes K en formato Excel.

3.2 MEDIO BIÓTICO

La información del medio biótico debe presentarse a escala 1:25.000 o más detallada.



3.3 MEDIO SOCIOECONÓMICO

La información del medio socioeconómico debe presentarse a una escala 1:25.000 o más detallada.

VERSIÓN PRELIMINAR



4. DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

Para la caracterización detallada de los recursos naturales renovables que demanda el proyecto y que serán utilizados, aprovechados o afectados durante las diferentes fases, se deben seguir los lineamientos establecidos en el numeral 6 del capítulo III de la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales.

En cuanto a los permisos, concesiones y autorizaciones requeridos por el proyecto para uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales, se deben presentar diligenciados los Formularios Únicos Nacionales, existentes para tal fin.

Los puntos de uso y aprovechamiento de recursos naturales renovables se deben localizar en un plano a escala 1:25.000, con referencia a la base hidrológica y cartográfica utilizada, y a la localización del proyecto.

4.1 CONCESIÓN DE AGUA SUPERFICIAL

La caracterización de los cuerpos de agua superficiales en los cuales se solicite concesión, además de los parámetros presentados en la Tabla 4, debe considerar como mínimo, los consignados en la **Tabla 4**:

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos adicionales a caracterizar en corrientes superficiales en las que se solicita concesión de agua superficial.

PARÁMETROS	UNIDADES
Compuestos de Nitrógeno	
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L
Nitrógeno Total	mg/L
Iones	
Cianuro Total (CN)	mg/L
Metales y Metaloides	
Cromo Hexavalente (Cr ⁺⁶)	mg/L
Vanadio (V)	mg/L

Fuente: DAASU Minambiente 2018

4.2 CONCESIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA



Para el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua subterránea objeto de concesión se deben caracterizar como mínimo los parámetros establecidos en la **Tabla 3**.

4.3 REÚSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA

En caso de proponer el reúso del agua residual no domestica tratada, esté debe realizarse según lo establecido en la Resolución 1207 de 2014 o aquella norma que la modifique, sustituya o derogue.

Adicionalmente, se debe proveer la descripción detallada de la infraestructura asociada al reúso y del proceso asociado, incluyendo el almacenamiento, trasiego, manejo, tratamiento y reúso de los residuos líquidos, desde que es generado, hasta que es reusado.

Así mismo se debe especificar:

- Actividad en la cual se propone hacer el reúso del agua residual no domestica tratada, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 1207 de 2014 o aquella norma que la modifique, sustituya o derogue.
- Ubicación de la infraestructura asociada al reúso.
- Volumen de agua residual no domestica estimada para el reúso.
- Descripción detallada de las facilidades de tratamiento para el reúso.
- Manejo de los residuos que se generan como producto del tratamiento del agua residual domestica para su reúso.
- Describir cómo el tratamiento del agua residual no domestica tratada conducirá a cumplir con los parámetros establecidos en la Resolución 1207 de 2014 o aquella norma que la modifique, sustituya o derogue, según el uso requerido.

4.4 PERMISO DE VERTIMIENTO

Para la solicitud de permiso de vertimiento se debe presentar la siguiente información adicional:

- Caracterización de los cuerpos de agua superficiales que se están considerando como receptores de los vertimientos, calculando como mínimo los parámetros establecidos en la Tabla 8.

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a caracterizar en las fuentes de agua superficial objeto de vertimiento.



PARÁMETROS		PARA LOS CUERPOS DE AGUA EN LOS QUE SE PROPONEN VERTIMIENTOS DIRECTOS	
		AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA
Generales	Unidades		
Temperatura	(°C)	X	X
Potencial de Hidrógeno – pH	Unidades de pH	X	X
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg/L O ₂)	X	X
Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco (5) días (DBO5)	(mg/L O ₂).	X	X
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	X	X
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	X	X
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	X	X
Grasas y Aceites	mg/L	X	X
Fenoles Totales	mg/L	X	X
Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	X	X
Coliformes Totales	NMP/100 mL	X	X
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	X	X
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	X	X
Turbiedad	(UNT)	X	X
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L O ₂	X	X
Potasio	mg/L	X	X
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	X	X
Compuestos de Fósforo			
Fósforo Total (P)	mg/L	X	X
Compuestos de Nitrógeno			
Nitrógeno Total	mg/L	X	X
Iones			
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	X	X
Sulfatos (SO ₄)	mg/L	X	X
Metales y Metaloides*			
Arsénico (As)	mg/L		X
Cadmio (Cd)	mg/L		X
Bario (Ba)	mg/L		X
Cinc (Zn)	mg/L		X
Cobre (Cu)	mg/L		X
Cromo (Cr)	mg/L		X
Hierro (Fe)	mg/L		X
Mercurio (Hg)	mg/L		X
Níquel (Ni)	mg/L		X
Plomo (Pb)	mg/L		X



PARÁMETROS		PARA LOS CUERPOS DE AGUA EN LOS QUE SE PROPONEN VERTIMIENTOS DIRECTOS	
		AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	AGUA RESIDUAL NO DOMÉSTICA
Plata (Ag)	mg/L		X
Selenio (Se)	mg/L		X
Otros Parámetros para Análisis y Reporte			
Acidez Total	mg/L CaCo ₃	X	X
Alcalinidad Total	mg/L CaCo ₄	X	X
Dureza Cálctica	mg/L CaCo ₅	X	X
Dureza Total	mg/L CaCo ₆	X	X
Color Real (m ⁻¹) (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436nm, 525nm y 620nm).	m ⁻¹	X	X
Microbiológicos		Unidades	
Coliformes Totales	NMP/100 mL	X	X
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	X	X

Fuente: DAASU 2018, adaptación Resolución 631 de 2015

4.5 OCUPACIÓN DE CAUCES

Para gestionar el permiso de ocupación de cauces se debe realizar una caracterización fisicoquímica y microbiológica del cuerpo de agua a ocupar que incluya como mínimo los parámetros establecidos en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos a caracterizar en las fuentes de agua superficial susceptibles de intervención por ocupación de cauce.

PARÁMETROS	UNIDADES
Generales	
Temperatura	(°C)
pH	Unidades de pH
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)
Turbiedad	(UNT)
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mg/L O ₂)
Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco (5) días (DBO ₅)	(mg/L O ₂)
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/L
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L
Grasas y Aceites	mg/L



PARÁMETROS	UNIDADES
Fenoles	mg/L
Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM)	mg/L
Sedimentos	
Granulometría	Mm
Densidad	(kg/m ³)
Peso específico	(kN/m ³)
Porosidad	(%)
Material de fondo	

Fuente: DAASU Minambiente 2018, adaptación Resolución 631 de 2015

4.6 APROVECHAMIENTO FORESTAL

4.7 PERMISO DE RECOLECCIÓN DE ESPECÍMENES DE ESPECIES SILVESTRES DE LA BIODIVERSIDAD

4.8 PERMISO DE EMISIÓN ATMOSFÉRICA (AIRE Y RUIDO)

4.9 APROVECHAMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Cuando la obtención de los materiales de construcción hace parte del proyecto licenciar, su explotación debe estar amparada con el respectivo registro minero, el cual debe estar incluido en la solicitud de licencia ambiental¹⁷.

¹⁷ En dicho caso, en el capítulo 1 se debe presentar la descripción de la actividad con el respectivo diseño de la explotación, acorde con los trabajos de exploración y el Plan de Trabajo y Obra - PTO presentado ante la Autoridad Minera. De igual forma, la evaluación de los impactos y su manejo ambiental deben formar parte del EIA.



5. PLANES Y PROGRAMAS

Para la formulación de los planes y programas se deben seguir los lineamientos previstos en el numeral 9 del capítulo III de la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales.

5.1 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

5.1.1 PROGRAMAS DE MANEJO AMBIENTAL.

5.1.1.1. Programas de manejo de agua subterránea

El programa de manejo de agua subterránea debe contemplar como mínimo las siguientes medidas:

- Medidas a tomar para prevenir la subsidencia del terreno por la deshidratación de los niveles freáticos.
- Medidas a tomar para prevenir y minimizar el descenso y la infiltración de agua hacia el (los) túnel (es) a construir. Previniendo y minimizando los efectos sobre los pozos de abastecimiento y sobre el caudal base de los cuerpos superficiales.
- Describir las medidas para la gestión del agua subterránea que se infiltra en el túnel, previniendo la migración de contaminantes existentes en el suelo y en el agua subterránea debido a la deshidratación.

5.1.2 PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO

5.1.2.1. Programas de seguimiento y monitoreo geotécnico

El programa de monitoreo geotécnico debe contemplar las medidas conforme lo expuesto en la Tabla 7.

Tabla 7. Selección de Elementos Clave para la Observación/Medición de Diferentes Condiciones del Terreno

Condición y Clasificación del	Fenómeno	Elemento de Observación / Medición
-------------------------------	----------	------------------------------------



Terreno			Observación e Investigación	Convergencia	Asentamiento de la corona	Medida del asentamiento en el piso	Medición del levantamiento	Prueba de muestra de suelo	Investigación / ensayos in situ	Desplazamiento del terreno en superficie	Desplazamiento del terreno	Fuerza axial del perno de la	Tensión del hormigón	Tensión del soporte de acero	Tensión del revestimiento
Terreno de roca dura	Unas pocas grietas	Caída de rocas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
	Muchas grietas, pero no se presenta arcilla	Caída de rocas Presión de suelo suelto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
	Muchas grietas y fracturas	Caída de rocas Disminución de la presión Presión real del terreno Estabilidad del frente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Terreno de roca blanda	Gran factor de competencia	Caída de rocas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
	Pequeño factor de competencia	Disminución de la presión Presión real del terreno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	Extremadamente pequeño factor de competencia	Disminución de la presión Presión real del terreno Estabilidad del frente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Suelo		Disminución de la presión Estabilidad del frente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Suelo apretado		Disminución de la presión, Presión real del terreno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nota) - Para túneles con una pequeña sobrecarga (aproximadamente, menos de dos veces el ancho de la excavación del túnel), se debe medir el desplazamiento de la superficie, además de los elementos enumerados anteriormente.

- Para túneles cercanos a una (s) estructura (s), se deberá medir el asentamiento de la (s) estructura (s) y aguas subterráneas, además de los elementos enumerados anteriormente.

Fuente: Especificación estándar para la tunelización - 2006: Túneles de montaña (Sociedad de Ingenieros Civiles de Japón)

5.1.2.2. Programas de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico superficial

El programa de monitoreo del recurso hídrico superficial debe contemplar como mínimo:

- El monitoreo del caudal de las fuentes de agua superficial presentes en el área de análisis.



Nota. El monitoreo y el seguimiento debe implementarse en el mismo punto de línea base. El período deseable de monitoreo es de al menos 2 años. Si el resultado de la supervisión excede el nivel objetivo, las medidas de mitigación deben ser reconsideradas y el período de monitoreo también debe extenderse

5.1.2.3. Programas de seguimiento y monitoreo del recurso hídrico subterráneo

El programa de monitoreo del recurso hídrico subterráneo debe contemplar como mínimo:

- Instalación de una red de monitoreo¹⁸ de agua subterránea conformada por pozos de observación y piezómetros (de tubo abierto o diafragma)¹⁹
- Evaluación de los cambios de humedad del suelo en las perforaciones.
- Programa de deshidratación en el cual se describan los niveles máximos de abatimiento que se tendrá con el avance de la construcción.

Nota. El monitoreo y el seguimiento debe implementarse en el mismo punto de línea base. El período deseable de monitoreo es de al menos 2 años. Si el resultado de la supervisión excede el nivel objetivo, las medidas de mitigación deben ser reconsideradas y el período de monitoreo también debe extenderse

5.1.2.4. Programas de seguimiento y monitoreo de parámetros de vibración

El programa de monitoreo de vibraciones debe contemplar como mínimo

No solo es importante monitorear los parámetros de vibración, sino también el registro de trabajos de voladura en roca. Además, se recomienda registrar la situación estructural en la vivienda objetivo. Conforme los elementos presentes en la Tabla 8.

Tabla 8. Elementos de Monitoreo

Elemento a monitorear	Parámetro	Método y ubicación de Monitoreo
Vibración	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad Pico de la Partícula PPV (cm/s) • Frecuencia (Hz) 	Ubicación: casa objetivo, vivienda. Método: Medidor de vibraciones, grabadora

¹⁸ El monitoreo debe iniciarse por lo menos 6 meses antes del inicio de la etapa de construcción y extenderse hasta la etapa de operación del proyecto.

¹⁹ Los pozos de observación y los piezómetros deben ser monitoreados periódicamente durante un período prolongado de tiempo para proporcionar información sobre las variaciones estacionales en los niveles de agua subterránea.



Elemento a monitorear	Parámetro	Método y ubicación de Monitoreo
	<ul style="list-style-type: none"> Valor de k 	
Registro de trabajo de voladura en roca	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de polvo generado por la detonación (kg/Retardo) Posición de los explosivos 	Ubicación: El frente de trabajo del túnel Método: registro de trabajo de voladura
Situación estructural de la casa objetivo	<ul style="list-style-type: none"> La situación de: Cimientos Paredes Pilares Ventana, Puerta 	Ubicación: casa objetivo, vivienda. Método: tomar fotos de la situación antes de la construcción

7.1.3 PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO

Adicionalmente, para la formulación y presentación del Plan de gestión del riesgo, se debe tener en cuenta los artículos 2.3.1.5.2.1. y 2.3.1.5.2.1.1 del Decreto 2157 de 20 diciembre del 2017; o aquella normativa que la modifique, sustituya o derogue.

En el marco del plan de gestión del riesgo se debe realizar y proveer un análisis de riesgo de efectos potenciales que la construcción del (los) túnel (es) incluyendo en el análisis los riesgos relacionados con:

- Geológica y geotecnia
- Derrumbes debido a saturación del terreno por la presencia excesiva de agua
- Inundaciones al encontrar durante la excavación agua subterránea contenida en acuíferos no identificados
- Contracciones del suelo por la cantidad de humedad
- Explosión al encontrar gases inflamables
- Abatimiento del nivel freático
- Subsistencia del terreno
- Altas temperaturas (áreas de volcanismo o actividad geotérmica)
- Desecamiento de fuentes hídricas superficiales
- Sostenimiento de hábitats
- Desabastecimiento del recurso a la población.

Nota. El plan debe incluir todos los riesgos razonables asociados con el diseño, adquisición y construcción.



6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Tomado de: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE – Minambiente. Artículo 2.2.9.6.1.2. Definiciones. Decreto 1076. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015.

[2] Modificada de: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE - Minambiente. Decreto 1076 de 2015. “Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales”. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015.

[3] Tomado de: MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Túneles de Carretera, Bogotá, Colombia., INIVAS.2015.

⁴ Tomado de: MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Túneles de Carretera, Bogotá, Colombia., INIVAS.2015

⁵ Tomado de: MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Túneles de Carretera, Bogotá, Colombia., INIVAS.2015.

⁶ Tomado de: MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Túneles de Carretera, Bogotá, Colombia., INIVAS.2015.

⁷ Tomado de: MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Túneles de Carretera, Bogotá, Colombia., INIVAS.2015.

⁸ Tomado de: MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Túneles de Carretera, Bogotá, Colombia., INIVAS.2015.

⁹ Tomado de: MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual para el Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Túneles de Carretera, Bogotá, Colombia., INIVAS.2015.