



**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA CONSTRUCCIÓN SUBTERRÁNEA CONVENCIONAL Y LA UTILIZADA EN EL PROYECTO AUTOPISTA AMÉRICO VESPUCCIO ORIENTE EN FUNCIÓN DE LA MITIGACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.**

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:

**Javiera Rocío Valenzuela Torres**

Profesor Guía:

**Carlos Cabaña Chávez**

Profesor Colaborador:

**Alejandro Ossandón Sasso**

Fecha:

Marzo 2020

Santiago, Chile



Índice

1	Introducción .....	7
1.1	Introducción.....	7
1.2	Objetivos.....	8
1.2.1	Objetivo general.....	8
1.2.2	Objetivos específicos.....	9
2	Capítulo 2 Antecedentes generales.....	10
2.1	Definición impacto ambiental.....	10
2.2	Historia del impacto ambiental.....	12
2.3	Clasificación de impactos ambientales.....	14
2.4	Eficiencia energética.....	15
2.5	Desarrollo sustentable.....	16
3	Capítulo 3 Túneles.....	17
3.1	Preámbulos.....	17
3.2	Historia de los túneles.....	18
3.3	Métodos tradicionales de excavación de túneles.....	25
3.4	Características constructivas de túneles según el manual de carreteras.....	27
3.4.1	Características estructurales.....	27
3.4.2	Métodos constructivos.....	28
3.5	Túneles de Chile a la actualidad.....	32
3.6	Normas en Chile.....	35
4	Nuevas tecnologías.....	36
4.1	Persistencia de lo habitable.....	36
4.2	Tecnología de la construcción.....	38
4.3	Metodologías constructivas.....	40
4.3.1	Túnel en roca.....	41
4.3.2	Túnel en suelo.....	42
4.3.3	Método convencional NATM.....	43
4.3.4	Método mecanizado TBM.....	45
4.4	Fortificación y resistencia del material en obras subterráneas.....	46
4.5	Casos internacionales.....	51
5	Capítulo 5 Proyecto Autopista Vespucio Oriente.....	53
5.1	Descripción del proyecto.....	53



5.2	Método constructivo.....	55
5.2.1	Tipología de las obras contempladas por sector.....	57
5.3	Evaluación impacto ambiental.....	64
5.3.1	Identificación de etapas del impacto ambiental.....	68
5.4	Metodología de calificación impacto Ambiental.....	70
5.4.1	Valoración ambiental.....	72
5.4.2	Identificación de impacto.....	74
5.4.3	Puntuación y calificación por impacto.....	76
5.5	Mitigación de las obras de construcción.....	84
5.5.1	Mitigación de la polución.....	84
5.5.2	Mitigación de ruido y vibraciones.....	88
6	Desafíos a futuro.....	93
7	Conclusiones.....	94
8	Bibliografía y Webgrafía.....	97

SOLO USO ACADÉMICO



Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1 Perforación de túnel con fuego</i> .....	18
<i>Ilustración 2 Trabajadores en las excavaciones</i> .....	19
<i>Ilustración 3 Ángulos rectos</i> .....	21
<i>Ilustración 4 Triángulo rectángulo</i> .....	21
<i>Ilustración 5 Obtención de hipotenusa</i> .....	21
<i>Ilustración 6 Fortificaciones para de bloqueos militares</i> .....	22
<i>Ilustración 7 La Mina de Daroca (Provincia de Zaragoza, España)</i> .....	22
<i>Ilustración 8 Túnel de Elba, Hamburgo</i> .....	23
<i>Ilustración 9 Túnel Seikan, Japón</i> .....	24
<i>Ilustración 10 San Gotardo, Suiza</i> .....	24
<i>Ilustración 11 Proceso perforación túnel en roca</i> .....	41
<i>Ilustración 12 Perspectiva del Proyecto AVO</i> .....	54
<i>Ilustración 13 Esquema Fase C Zona 1 del Sector 2 y conexión con el Sector 1</i> .....	56
<i>Ilustración 14 Excavación con maquinaria</i> .....	57
<i>Ilustración 15 Excavación de túneles por el Método Austriaco</i> .....	58
<i>Ilustración 16 Trabajos de excavación y refuerzo de un pique circular</i> .....	59
<i>Ilustración 17 Vista esperada</i> .....	62
<i>Ilustración 18 Medición de ruido por sonómetro</i> .....	89
<i>Ilustración 19 Vista 3D</i> .....	90
<i>Ilustración 20 Vista de ruido 3D</i> .....	91
<i>Ilustración 21 Modelo de semicierro para martillo neumático</i> .....	91
<i>Ilustración 22 Participación de la construcción en la economía de Chile</i> .....	94

SOLO USO ACADÉMICO



## Resumen.

Este proyecto de título consiste en la realización de un análisis comparativo entre los sistemas constructivos convencionales utilizados para ejecutar túneles subterráneos y el sistema empleado en la construcción del proyecto Autopista Vespucio Oriente (AVO), iniciado el 1 de septiembre de 2016 en la Región Metropolitana, a objeto de identificar los impactos ambientales que ambas modalidades generan.

El estudio se fundamenta en la necesidad de identificar las ventajas y desventajas de cada sistema constructivo. Esto en función de las exigencias que los impactos ambientales plantean a los procesos de planificación a este tipo de obras, en términos del cumplimiento de mayores exigencias normativas y los consecuentes nuevos ítems de costos que deben incorporarse a estos.

Se realizará una descripción de los impactos ambientales, un análisis de los mismos y una proyección de la importancia que adquirirán de acuerdo al incremento de los grados de conciencia que exhiben las comunidades donde los proyectos se ejecutan.

Asimismo, se realizará una descripción de las obras de mitigación que se plantean como necesarias para satisfacer la normativa vigente y los requerimientos de las comunidades donde se insertan los proyectos, procurando estimar cualitativamente los incrementos de costos en que es pertinente incurrir para materializar tales las actividades.

SOLO USO ACADÉMICO



Abstract.

This title project consists of carrying out a comparative analysis between the conventional construction systems used to execute underground tunnels and the system used in the construction of the Vespucio Oriente Highway (AVO) started on September 1, 2016, in the Metropolitan Region, in order to identify the environmental impacts that both modalities generate.

The study is based on the need to identify the advantages and disadvantages of each construction system, based on the demands that environmental impacts pose to the planning processes to this type of works in terms of compliance with greater regulatory requirements and the consequent new ones. cost items that should be incorporated into these.

A description of the environmental impacts will be made, an analysis of them and a projection of the importance that they will acquire according to the increase in the degrees of awareness exhibited by the communities where the projects are executed.

Likewise, a description will be made of the mitigation works that are considered necessary to satisfy the current regulations and the requirements of the communities where the projects are inserted, trying to qualitatively estimate the cost increases that are relevant to incur in order to materialize such activities.

SOLO USO ACADÉMICO



## 1 Introducción

### 1.1 Introducción.

En la actualidad los proyectos de túneles han presentado cambios sustanciales respecto de los métodos y nuevas tecnologías que se aplican para la mejora en el proceso de la construcción y diseño de túneles.

La búsqueda de la mejora continua es parte importante de la misión para el rubro de la construcción, puesto que es necesario mantener el progreso para así conseguir resultados positivos y que siempre sea visto como inversión y no como un costo. Cuando la empresa y la obra efectuada aumentan su rendimiento en tiempos, genera gran valor y es reconocido producto de estos cambios en el tiempo. Es por esto que a lo largo de la historia se ha trabajado con el principio de la mínima acción, reconociendo un comportamiento humano que espera hacer las cosas más rápido y con incipiente esfuerzo, tratando de obtener mayores resultados con ahorro de energía y tiempo. Por ejemplo, proyectando mayor exactitud en lo planificado, producción efectiva evitando contratiempos y nuevas soluciones, basándose en estándares de seguridad y normas, por lo tanto, el trabajo bien desarrollado disminuye la pérdida de material y costos asociados en general.

La incorporación de nuevas tecnologías tempranas resulta ventajosa cuando se relaciona al mismo tiempo con el impacto ambiental que generan las obras. Se espera que los beneficios sean aún mayores cuando el impacto ambiental este internalizado y pensando en las mejoras desde las etapas iniciales del proyecto hasta su término de ejecución.



## 1.2 Objetivos.

### 1.2.1 Objetivo general.

Realizar un estudio comparativo entre la construcción subterránea convencional y la utilizada en el proyecto Autopista Vespucio Oriente (AVO) en la Región Metropolitana, analizando y proyectando ventajas y desventajas en función de los impactos ambientales que provocan.

SOLO USO ACADÉMICO





1.2.2 Objetivos específicos.

- Describir y proyectar los beneficios que representa para el entorno que un proyecto cuente con la responsabilidad social en pro de un desarrollo sustentable.
- Identificar técnicamente los principales tipos de construcción de túneles utilizados en Chile en el tiempo.
- Exhibir las nuevas tecnologías en la industria de la construcción subterránea que permite la reducción de efectos contaminantes en la ejecución de las obras.
- Describir los procedimientos de calificación para el impacto ambiental en el proyecto.
- Analizar las medidas implementadas para la mitigación de contaminación ambiental.
- Comparar método antiguo de construcción con las nuevas tecnologías expuestas para el proyecto, con foco en ventajas y desventajas.

SOLO USO ACADÉMICO



## 2 Capítulo 2 Antecedentes generales.

### 2.1 Definición impacto ambiental.

Al plantear un tema tan específico, es necesario diferenciar entre los 3 términos que hablan de un mismo concepto. Esto refiere a las definiciones: medio, ambiente y medio ambiente. Gran parte de expertos en el tema, utilizan indistintamente los tres términos como sinónimos, aunque cada uno de ellos tiene un origen diferente. Por lo tanto, la palabra medio hace referencia a donde habita una persona, animal o cosa y el ambiente como el conjunto de factores vivos e inertes que actúan sobre los organismos y comunidades ecológicas.

Medio ambiente es el conjunto de circunstancias físicas que rodean a los seres vivos. Desde este punto de vista, ninguno de estos tres términos tiene un significado único, sino que está condicionado al punto de referencia que se tome. Por lo tanto, la diferencia entre ambiente y medio ambiente es que esta última tiende a hacer referencia a lo que involucra al ser humano, mientras que ambiente lo utilizan de una forma más global para todos los seres vivos.

En efecto el impacto ambiental es la evidencia de como la calidad y el estado del medio ambiente sufre cambios y alteraciones producidas por el hombre. Por tanto, la concientización ciudadana del medio ambiente ha ido evolucionando y tomando mayor fuerza a medida que el medio ambiente va evidenciando sus consecuencias. La protección del lugar donde se habita y el cuidado continuo de este, es un tema extremadamente relevante en países ya desarrollados y en los que están en vías de desarrollo. En poco tiempo ha crecido sustancialmente la cantidad de personas involucradas de no solo hacerse cargo del impacto ambiental, si no también lograr concientizar y transformar la mentalidad de los habitantes de distinto grupo etario.

El rubro de la construcción, por su naturaleza, si no toma algunas consideraciones puede parecer poco amigable con el medio ambiente y sus cuidados no se ven como óptimos al momento de compararse con otras industrias. Esta es invasiva y poco afable en cuanto al efecto que provoca producto de construcciones. La construcción presenta elementos que son visibles a primera vista como diversidad de maquinarias que generan contaminantes como ruido, contaminación atmosférica por vapores o humos, desechos, contaminación de aguas, gases y polvo entre otros.

En general la ciudadanía entiende que los proyectos de construcción son indispensables para el desarrollo humano y para el crecimiento de población, muchas veces es la fuente de impulso en la economía, cuyo impacto es muy relevante para la sociedad que cada vez se hace más presente. Lamentablemente son pocas las empresas constructoras y proyectos que hacen parte el cuidado medioambiental.



Se estima que identificar los impactos de los proyectos de construcción sobre el entorno es una tarea que debe ser realizada a fin de poder realizar una protección eficaz.ii

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es el documento que describe pormenorizadamente las características de un proyecto o actividad que se pretenda llevar a cabo o su modificación. Debe proporcionar antecedentes para la predicción, identificación e interpretación de su impacto ambiental y describir la o las acciones que ejecutará para impedir o minimizar sus efectos significativamente adversos.

La evaluación de impacto ambiental es el procedimiento, a cargo del Servicio de Evaluación Ambiental, que, en base a un estudio o declaración de impacto ambiental, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes.

SOLO USO ACADÉMICO



## 2.2 Historia del impacto ambiental.

El impacto ambiental tiene sus primeros inicios en la década de los años 70, donde se realizaron las primeras conferencias, reuniones y encuentros sobre medio ambiente, desde ese tiempo ya se reconocía como una necesidad impostergable de solucionar. La evaluación ambiental (EIA) nace como una herramienta de protección ambiental que, se dirige y se orienta acorde a la realidad de cada país. Esta es con el propósito de hacer prevención, buscando la forma de evitar o minimizar los efectos ambientales producto de cualquier actividad humana. Su origen legal se remonta al 1 de enero de 1970, cuando los Estados Unidos promulgan la “Ley Nacional sobre Política Medioambiental”<sup>iii</sup>

Es así como en 1973, seis países se incluían en la propuesta, sin embargo, la mayor expansión de este método preventivo fue a partir de 1985, cuando la Unión Europea la adoptó como un requisito para todos los países miembros. Tiempo después logra gran relevancia y se desarrolla el concepto de desarrollo sustentable, donde se incluye al medio ambiente como parte integral de la economía y haciendo mayor hincapié en que no puede haber un progreso estable si no existe una preocupación de la sociedad por la conservación de los recursos naturales. Por lo tanto, la evaluación del impacto ambiental es, una de las herramientas de protección ambiental que al ser apoyada por una institucionalidad apropiada a las necesidades de los distintos países, contribuye a fortalecer el proceso de tomar decisiones a nivel de políticas, planes, programas y proyectos, incorporando nuevos factores y variables a considerar en el análisis global.

En la actualidad la evaluación de impacto ambiental se ve más como un control que prevé los impactos negativos como positivos. Es decir, permite cuidar y mitigar lo no deseado y potencia lo que es beneficioso para el medio.

En Chile antes del año 1990 solo contaba con una comisión especial de descontaminación en Santiago, y fue en ese año cuando se crea la comisión nacional del medio ambiente por decreto del ministerio de bienes nacionales.

La Ley de 584 Medio Ambiente dictada en 1994 constituyó un paso importante para obtener en el país una legislación y una institucionalidad ambiental moderna. En esta ley se establecen los criterios institucionales y regulatorios que orientan las acciones del Estado, del sector privado y de la ciudadanía.

En 1997 se crea uno de los principales impulsores para prevenir el deterioro ambiental, este es el llamado “Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” también llamado SEIA. Este instrumento permite introducir la dimensión ambiental en el diseño y la ejecución de los proyectos y actividades que se realizan en el país; a través de él se evalúa y certifica que las iniciativas, tanto del sector público como del sector privado, se encuentran en condiciones de cumplir con los requisitos ambientales.



A más de dos décadas de aplicación del SEIA, más de 24.700 proyectos se han aprobado, permitiendo un cambio en el país y lograr avances en la forma de construir para el futuro. Hasta la fecha se ha avanzado en el diseño y en la implementación de la política ambiental. La política medioambiental del Estado de Chile se inspira en el concepto de desarrollo sustentable que busca conjugar el crecimiento económico con la protección del medio ambiente.

Para el país son desafíos ambientales permanentes el perfeccionar la legislación, prevenir y recuperar daños por contaminación de aire, agua o suelo.

Con el establecimiento del marco normativo, la preocupación ambiental ha generado grandes avances durante los últimos años, que se traducen en mejoras en la calidad de vida para las personas y en mayores oportunidades comerciales para el sector productivo. Los resultados obtenidos en esta materia han convertido a Chile en un referente para otros países de la región en temas relacionados con la descontaminación.

En la actualidad, lamentablemente muy pocas empresas se hacen cargo del cuidado medio ambiente, ya que en el rubro es conocido el tiempo de ejecución lo primario para desarrollar un proyecto por sobre lo que está causando. Por lo tanto, es imperante que con todo lo destruido que esta el medio, haya más conocimiento de la consecuencia para así mejorar en los procesos constructivos.

El mundo avanza a pasos agigantados con respecto a la atención que se ha incorporado para el fondo del impacto ambiental, es momento de generar conciencia y así lograr preferencia para el tema cuidado medio ambiente por sobre otros, que quizás tienen la misma importancia, pero no han causado tanto impacto en los ciudadanos, por razones que se desconocen. La importancia de la concientización ha permitido sobrepasar opiniones políticas, de religión, sociales y de género.



### 2.3 Clasificación de impactos ambientales.

La magnitud del impacto califica la dimensión o tamaño del cambio ambiental producido sobre un determinado recurso o elemento del ambiente.

Impacto benéfico o positivo (+): consideración positiva respecto al estado previo de la acción del proyecto.

Impacto dañino o negativo (-): consideración negativa respecto al estado previo a la acción del proyecto.

Impacto neutro (n): consideración neutral - Impacto previsible (x), pero difícil de calificar sin estudios específicos.

La escala utilizada para valorar la relevancia o valor ambiental de cada componente es la siguiente:

VAC	VALORACIÓN
Baja	1
Moderada	2
Alta	3
Muy Alta	4

La reducción del impacto ambiental en el sector construcción se reduce en tres términos

- control del consumo de recursos naturales
- reducción de las emisiones contaminantes
- minimización y gestión de residuos que generan el proceso constructivo.



## 2.4 Eficiencia energética.

La eficiencia energética es un tema que en los últimos años ha tomado fuerza a nivel mundial y Chile no es la excepción. El impacto negativo provocado al planeta por causa de las emisiones por CO<sub>2</sub> ha convertido el tema en prioridad para proteger el medio ambiente, se consume alrededor del 20% de la energía total utilizada en el país y gran parte de esta energía proviene de combustibles fósiles, recursos no renovables.<sup>iv</sup> Por lo tanto, Chile toma medidas con un plan de acción en los sectores de la construcción en general.

SOLO USO ACADÉMICO



## 2.5 Desarrollo sustentable.

El desarrollo sustentable es una forma de cumplir con las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para lograr sus propias necesidades.v

En el caso de la sustentabilidad técnica, significa que el proyecto cuente con recursos geológicos, métodos de explotación, maquinaria adecuada, energía necesaria y agua, entre otros. El aspecto social, en tanto, se refiere a la consideración de las comunidades donde resulta importante contar con sus aprobaciones al momento de desarrollar algún proyecto. Este punto es muy importante porque si el entorno no está aceptando el proyecto, incluso podría paralizarse. Este ámbito aborda el reconocimiento de que las culturas y sociedades locales son diferentes y por tanto se pueden generar a su vez distintas necesidades y expectativas, así como fuentes laborales, actividades recreativas y culturales. Por su parte, la sustentabilidad económica significa que determinado proyecto cuente con recursos financieros y que, además, genere utilidades.

La generación de polvo, la contaminación acústica, operaciones con remoción de la vegetación y la contaminación atmosférica son los impactos ambientales más significativos de los proyectos de construcción, según las conclusiones de un estudio realizado por la Universidad Islámica de Gaza y la Universidad Técnica de Berlín. vi

A continuación, la estudiante Constanza de la carrera Ingeniería en medio ambiente y sustentabilidad de la Universidad Mayor, responde entrevista presencial. Diciembre 2019.

-De las normas que te han enseñado hasta el momento según malla curricular, ¿alguna habla sobre el cuidado al medio ambiente por medio de la construcción?

si, generalmente se habla de lo mucho que afecta la construcción, la forma en la que impacta, los contras, pero nunca se hablan de soluciones o de mejoras en el proceso.

- Sientes que es necesario hacer proyectos inter-escuela que permitan el intercambio de información entre estudiantes?

sin lugar a duda es muy necesario, quisiera poder comunicarme con todos los alumnos de arquitectura y construcción para que en sus proyectos sea obligación incluir paneles solares y plantas que sirvan como oxigenación a la ciudad.

- si pudieras hacer algo sustentable con tecnología, ¿qué es lo primero que se te viene a la mente?

me encantaría que, en las mismas duchas de la universidad, en las construcciones y en nuestras mismas casas, lava platos y lava mano, incluyan aireador, lo que hace es disminuir el caudal del agua. La concientización del agua esta super poco valorada, me encantaría que en todas las carreras le dedicaran tiempo a el cuidado específico del agua.





## 3 Capítulo 3 Túneles.

### 3.1 Preámbulos.

La construcción de obras subterráneas es una actividad que se remonta a los mismos orígenes de la humanidad. A pesar de que el aprovechamiento del espacio era un tema que estaba haciendo hincapié hace mucho tiempo, es en los tiempos modernos cuando más ha tomado peso debido al impacto visual que trajo consigo el aumento de población. De esta forma, el espacio subterráneo es una de las alternativas más idóneas para el desarrollo de vías rápidas de comunicación. A pesar de su mayor costo con respecto a otras soluciones de superficie, su implementación significa cada vez mayores ventajas, tales como distancias más cortas, mayor seguridad, menor impacto ambiental, oportunidad de mejor aprovechamiento del suelo, entre otras. En la mayoría de los casos, los túneles se han diseñado y construido para salvar obstáculos naturales y permitir el acceso a vías de comunicación para tanto transporte urbano, conexión entre población y para ir disminuyendo los tiempos de traslado de un lugar a otro, todo esto gracias a que se está normalizando el crear “ciudades subterráneas”.

En un comienzo, las primeras vías subterráneas eran excavadas en un modo manual y sin soporte de material externo, por lo que dependían casi en su totalidad de la capacidad auto-soportante del propio terreno. Muchas de estas construcciones antiguas, que datan de periodos anteriores a Cristo, aún existen y son operacionales al día de hoy. Evidenciando lo bien construidas que estaban, sin dejar de mencionar que tuvo que haber sido en base a la experiencia y a las herramientas que tenían a disposición en aquellos tiempos. Reflejo de esto son, las buenas construcciones que vemos actualmente y probablemente muchas otras de las que no hay registro dado que los túneles que construyeron se derrumbaron por razones naturales o por reemplazo por otras obras.



### 3.2 Historia de los túneles.

Las primeras construcciones subterráneas que hay registros, datan a la naturaleza como creador, construyendo cuevas mediante agua y viento. El hombre utilizó el túnel mucho después como solución para salvar obstáculos de la naturaleza (altas cumbres), no dañar la naturaleza, como refugio y algunos por motivos religiosos.

Los primeros túneles se remontan a principios de los descubrimientos metalúrgicos, al final de la Edad de Piedra, destinados a la explotación de los minerales que usaban como material para fabricar armas o herramientas. Este proceso debió iniciarse hace unos 15.000 años.

La idea de construir túneles es parte de la industria minera. Antiguamente se hacían sin precauciones ni estándares de seguridad, y la principal función era la explotación de minerales. La más antigua que se conoce en el mundo se localiza en el cerro de Bomvu, en Swazilandia, África, y data del año 40.000 a.C. Los materiales para construir eran muy básicos, contruidos por ellos mismos y que esencialmente fueran afilados y fácil de manipular. Lo más usual eran piedras que recolectaban y las afilaban para poder golpear la tierra.

El primer método de perforación fue con la técnica del fuego. Consiste en hacer una pequeña fogata frente al terreno que querían derrumbar, eso generaba calor e inmediatamente se tenía que contrarrestar bruscamente con agua fría. Pura química aplicada por un rápido gradiente térmico y así inducir el corte o fisura de la roca. Esta técnica de construcción era muy arriesgada por los gases que se mantienen en el ambiente mientras dura el proceso y además porque al provocar el corte, muchas veces se derrumbaba más de la cuenta, no era posible controlar los m<sup>2</sup> a derrumbar, era muy impreciso y sumamente peligroso.



*Ilustración 1 Perforación de túnel con fuego*



*Ilustración 2 Trabajadores en las excavaciones*

Según algunos historiadores, existió un túnel bajo el Éufrates en Babilonia. Esta obra sería el primer túnel subacuático, al parecer fue mandado a construir por la legendaria reina Semíramis para conectar el palacio con el templo de Belos, ambas orillas de la ciudad de Babilonia, en la antigua Mesopotamia. Según los estudios arqueológicos, la infraestructura habría sido construida entre el 2180 a. C. y el 2160. Es un túnel de 929 metros. Además, es imperante recordar que Babilonia estuvo junto al Éufrates en lo que hoy es Irak. Sus ruinas fueron parcialmente reconstruidas por Saddam Hussein en el siglo XX. Esta zona es rica en betún y petróleo, como es bien sabido, también en la antigüedad por lo que la creación de túneles para extraer materia prima era bastante usual para la construcción. En ese tiempo se construía con lo único que había disponible, así fueran armas o herramientas.

A lo largo de la historia se han construido túneles con distintos motivos, pero tanto en el antiguo Egipto como en las culturas orientales, el túnel ha tenido un marcado carácter religioso. Mientras que en zonas como las Tierras de Canaan (siglo X a.C.) el propósito no es místico o religioso sino hidráulico. Durante años la prioridad de los ciudadanos era el abastecimiento a las ciudades y la captación de aguas. El agua se considera como un bien al que todos deben tener acceso y por ello que se modificaban las ciudades para guiar el cauce del agua, recorriendo y atravesando ciudades para abarcar la mayor cantidad de población con el bien agua. El motivo principal para empezar a hacer túneles bajo tierra con el cruce de agua, era mayormente evitar que el agua (muy escaso por aquellas regiones) se evaporara como consecuencia de las altas temperaturas que se alcanzaban en esas zonas.



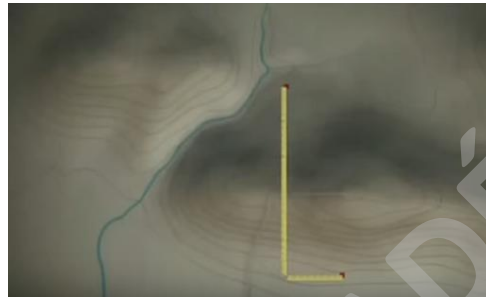
Sustentando los principales hitos de la historia de los túneles, se encuentra Samos, una ciudad próspera conocida por sus logros culturales. Bajo el gobierno de Polícrates se convirtió en la ciudad-estado más poderosa del Egeo. En esa época, entre 538 y 522 a.C. se llevó a cabo las construcciones más destacadas y fastuosas de la isla: el túnel-acueducto de Eupalino.

El comercio y la navegación eran primordial para mantener la riqueza y el sustento del pueblo. Por eso Polícrates le encargó al ingeniero Eupalino de Megara, la construcción de un túnel que conectase el manantial de Agiade al otro lado del monte Ampelos (o Kastro) con el Pitagoreo (nombre que se da hoy al yacimiento arqueológico de la antigua ciudad y puerto de Samos).

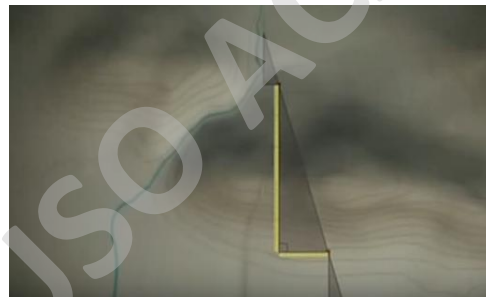
El túnel es muy interesante porque Polícrates ordenó hacer un túnel desde sus dos extremos y por supuesto había que mantener el mismo nivel y conseguir una línea recta perfecta. En la actualidad, aun no se sabe cómo lo lograron, pero hay una hipótesis que dice: para mantener el mismo nivel al perforar un túnel recto, utilizaron ángulos rectos, comenzando en el extremo norte del túnel y manteniendo el mismo nivel, si se mueven solo en ángulos rectos hacia el lado occidental, se puede saber cuánta es la distancia, utilizando este método se dibuja un triángulo rectángulo, la hipotenusa se convierte en la dirección y localización del túnel, se pueden dibujar dos triángulos similares más pequeños que compartan la misma hipotenusa con el triángulo mayor, situado en la entrada norte y sur y así establecer la dirección, los trabajadores tomaban como referencia las marcas de los triángulos y luego obraban en línea recta. El principal problema era asegurar que las dos entradas estuvieran en la misma línea, una vez establecidas el segundo problema es encontrar la dirección en la que se debe perforar. La diferencia de profundidad asombrosamente fue solo de 60cm. El túnel, que estuvo funcionando durante más de mil años, fue considerado como una maravilla del mundo y una de las obras maestras de la ingeniería de la antigüedad.



*Ilustración 3 Ángulos rectos*



*Ilustración 4 Triángulo rectángulo*



*Ilustración 5 Obtención de hipotenusa*

Posteriormente los romanos dominaron el arte de los túneles, sobre todo los de carácter hidráulico, como lo demuestran las redes de acueductos que llevaban agua a las grandes ciudades. Los romanos construyeron túneles con muy diversos propósitos: galerías mineras, túneles para abastecimiento de agua, para alcantarillado, con propósito militar y las catacumbas.

En la Edad Media la construcción de túneles da un paso atrás, al ser solamente construidos como vía de salida de fortificaciones para casos de bloqueos militares. Durante este período, la minería se fortalece y consolida, fundamentalmente en el centro de Europa, surgiendo al filo del Renacimiento la obra maestra de la minería.



Ilustración 6 Fortificaciones para de bloqueos militares.<sup>vii</sup>

Durante el Renacimiento vuelven a tomar pesos los túneles ya no tanto para fines de batallas y conquistas de los ejércitos. Es así como Leonardo da Vinci piensa en los primeros subterráneos en sus proyectos de ciudades y estudia las formas en que se puede intervenir túneles perforándolos donde los canales se encuentran con barreras montañosas.

El primer túnel del Renacimiento es la Mina de Daroca en la provincia de Teruel. Se trata de un largo túnel que atraviesa el cerro de San Jorge, al lado mismo de la ciudad. Cuenta con 600 m de longitud, 6 m de anchura y una altura variable entre los 7 y 8 m. Se construyó con el fin de desviar las aguas torrenciales que, procedentes de los barrancos de Retascón y Nombrevilla, discurrían por el centro de la ciudad, siguiendo la calle Mayor y provocando graves daños. La obra de la Mina resultó de tal envergadura en hombres y en dinero que para gestionar el volumen de la misma fue necesario formar una junta, llamada del "Aguaducho", que se preocupó del mantenimiento de la obra y de la financiación.<sup>viii</sup>



Ilustración 7 La Mina de Daroca (Provincia de Zaragoza, España)



Es en el siglo XVIII cuando surge la Era de los Canales y consigo los túneles comienzan a adquirir peso propio.

Cerca del año 1802 se empezó a estudiar, desde Francia el cruce del Canal de la Mancha por medio de una vía subterránea. Este fue aprobado por Napoleón en 1882, pero no sería hasta 1987, gracias a un previo acuerdo entre el presidente francés Francois Mitterrand y la primer ministra británica Margaret Thatcher, cuando comenzaría la construcción de esta gran obra arquitectónica que se extendió hasta 1994. La cifra de coste total del túnel fue de 13.500 millones de dólares y en 2013 alcanzó un volumen de facturación de 1090 millones de euros.<sup>ix</sup> Durante la construcción del túnel se emplearon máquinas tuneladoras fabricadas por ambos países, Francia y Reino Unido.

En las siguientes décadas, se fueron aumentando las tecnologías, materiales, ideas e ingeniería más precisa en cuanto a cálculos y estudios de materiales. Posteriormente se fueron diversificando y estudiando diferentes métodos de construcción subterránea.

En Malasia construyeron el túnel Smart, Kuala Lumpur y es uno de los mayores proyectos nacionales del país, hasta el punto de ser el segundo túnel más largo de Asia. Su estructura con función de drenaje permite solucionar uno de los problemas que existen en esta ciudad, como son las inundaciones.

El Túnel de Elba, Hamburgo también llamado “viejo túnel del Elba”, toda una sensación tecnológica que fue construida en 1911. Tiene una longitud de más de 440 metros. La peculiaridad de este túnel radica en que la entrada por el lado de St. Pauli se realiza a través de un edificio en el que se esconde una gran boca circular que desciende en vertical y en la que se encuentran los grandes ascensores que permiten a vehículos y personas bajar los 24 metros de desnivel. Una vez abajo, empiezan los túneles (son dos) propiamente dichos, uno de ida y otro de vuelta.



*Ilustración 8 Túnel de Elba, Hamburgo*



Túnel de Zhongnanshan, China Este es el túnel de carretera más largo de Asia. La construcción empezó en marzo de 2002. El método empleado fue el tradicional, mediante explosivos y con maquinaria creada exclusivamente para la ocasión. La evacuación del material se llevó a cabo mediante camiones. Este túnel va equipado con luminaria de distintos colores y está decorado con plantas artificiales e imágenes de nubes proyectadas en el techo en algunos tramos para reducir la impresión de limitación del campo visual. La construcción costó nada menos que 300 millones de euros.

El segundo túnel más largo del mundo en la actualidad, pertenece a Seikan, Japón. Fue inaugurado en el año 1988, y hasta 2016 fue el túnel más largo del mundo. Tardaron 25 años en construirlo y tiene 53,9 kilómetros de largo, de los cuales 23 kilómetros transcurren debajo del mar, lo cual habla de una tecnología asombrosa para la década de construcción y no presentó fallas. Recolecta toda la información de las más grandes construcciones. Se necesitaron cientos de ingenieros para trabajar y ejecutar la construcción bajo agua.



Ilustración 9 Túnel Seikan, Japón

En el recorrido hasta la actualidad muestra el túnel más largo del mundo y pertenece a Suiza, en San Gotardo. Con 57,1 kilómetros de largo. Varias razones permiten señalar que se trata de un hito en la historia de la infraestructura de Europa. Por ejemplo, es el más profundo del mundo, pues en ciertos lugares baja a 2.300 metros y no contiene curvas ni pendientes pronunciadas.



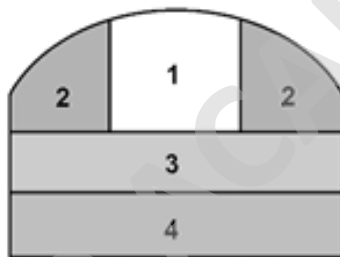
Ilustración 10 San Gotardo, Suiza



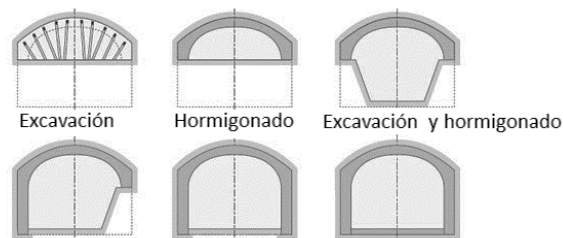
### 3.3 Métodos tradicionales de excavación de túneles.

La construcción se va adaptando en el tiempo según las necesidades de quienes habitan las ciudades, adaptando los estilos y métodos para asegurar eficacia. A continuación, se presenta sin orden de prioridades los distintos métodos que se emplean para la construcción del túnel, en las que influye maquinaria, tecnologías, tipo de suelo y para que se va a usar. Estos son el método inglés, método belga, método alemán, método austriaco y por último el método Italiano.

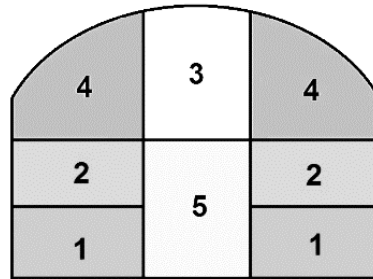
**Método Inglés:** se usaba túneles compuestos por terrenos que usualmente trata de arcillas. Su principal característica es proceder el avance de la perforación a sección completa del túnel, en una sola operación. El proceso de excavación comienza con una sección pequeña y fácil de controlar. La excavación se entiba y se puede ampliar la excavación hacia los laterales. Una vez se ha excavado la sección completa del túnel, se procede al revestimiento.



**Método Belga:** Se determina por la excavación continua y uniforme, ensanchándola poco a poco, protegiendo y entibando el frente, hasta permitir hormigonar toda la bóveda. Una vez que se logra encofrar y asegurar, se vuelve a excavar y avanza sin riesgo de hundimiento de terreno.



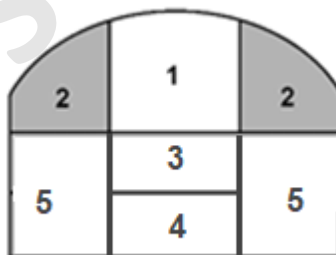
**Método Alemán:** El sistema sería conceptualmente parecido al método belga, pero cambiando el orden las fases de ejecución, de tal manera que hormigonado no se sostiene sobre el terreno, sino sobre los estribos hormigonados. Este procedimiento permite la construcción de grandes secciones.



Método Austriaco: Conocido como NATM (por sus siglas en inglés- New Austrian Tunneling Method) busca maximizar la capacidad de resistencia y soporte inherente del propio terreno, y es reconocido como una de las técnicas más económicas para construir y evaluar la integridad de un túnel.



Método Italiano: Consiste en extraer solo el medio arco más la galería central por la cual se retira la marina, luego se concreta el medio arco, luego se extrae el resto del material por zonas y se van concretando los muros (método similar al método belga).



Se debe entender que lo expuesto obviamente no responde a una descripción en detalle de cada método, sino por el contrario pretende exponer en grandes términos los elementos centrales que cada uno de ellos considera.



### 3.4 Características constructivas de túneles según el manual de carreteras.

#### 3.4.1 Características estructurales.

Los túneles según sus características estructurales y de construcción pueden ser definidos como:

-Túneles en roca: Normalmente a través de una montaña.

-Túneles en suelo: Normalmente urbanos.

-Túneles falsos: Construidos en hormigón armado y luego tapados con suelo. Generalmente se construyen antes de la entrada a los túneles en roca, para proteger a los vehículos de la caída de rocas.

-Trincheras cubiertas: Estructuras de hormigón armado de sección rectangular, construidas en suelo y luego tapadas. Generalmente son urbanas.

-Cobertizos: Estructuras de hormigón armado de sección rectangular construidos en zonas montañosas para proteger a los vehículos de las avalanchas de nieve. Estas estructuras generalmente son abiertas en uno de sus costados.

SOLO USO ACADÉMICO



### 3.4.2 Métodos constructivos.

De esta manera, las construcciones subterráneas presentan características que se diferencian entre sí, pero forman parte de un conjunto al momento de planificar la obra. Se pueden clasificar según:

a) Clima y Altitud.

Resulta de especial importancia la ubicación geográfica (fundamentalmente altitud) donde se ubique la obra y el clima del sector. Toda obra localizada en altura considerable y en un clima lluvioso o sectores con filtraciones mayores, requerirá el diseño especial de canaletas conductoras o evacuadoras de aguas, las cuales deberán ser calculadas, dimensionadas y localizadas de manera que cumplan con el objetivo de mantener las pistas secas. La ubicación geográfica determinará la posibilidad de congelamiento de aguas que escurren o infiltradas a la obra para lo cual se deberá proceder a neutralizar el fenómeno que provoque esta situación. Hay dos fenómenos, particularmente peligrosos para los conductores, el que se produce frecuentemente en túneles cordilleranos con exceso de agua y cuando los pavimentos son cubiertos por una película superficial de agua congelada, que se tornan muy resbalosos.

b) Operaciones básicas en la construcción.

En cualquier sistema de construcción de un túnel se puede hablar de cuatro operaciones básicas: el arranque, la carga, el transporte y el sostenimiento (o revestimiento). En las secciones pequeñas, de 3 a 15 m<sup>2</sup>, el espacio disponible es escaso y el trabajo debe obligatoriamente ser repetitivo. Este ciclo se convierte en crítico ya que una vez seleccionado el sistema de construcción es muy difícil modificarlo si surgen imprevistos. En secciones medianas, de 15 a 50 m<sup>2</sup>, es factible modificar parcialmente el ciclo en caso de una mala elección del sistema. En las secciones grandes, mayores de 50 m<sup>2</sup>, la dependencia crítica es menor aun quedado el gran tamaño de los equipos que se emplean o por cautela ante los problemas de sostenimiento, se decide la construcción en varias fases, lo cual lleva a las secciones medias, que consiste en hacer cortes en 90° por el centro de la pieza total, pero mientras más se corta innecesariamente, más costo en relleno o material.



c) Tipo de excavación

La excavación se puede realizar por tres métodos que son: manual, con explosivos y mecanizado.

c.1) Método manual: Se realiza mediante herramientas neumáticas, de potencia ligera o media según las necesidades, que van provistas de picas o paletas según sea la dureza del terreno. Con ellas se rompe el frente o se perfila, como complemento a otros sistemas. En la actualidad sólo se utiliza como único método en secciones de túneles muy pequeñas (3 o 4 m<sup>2</sup>).

c.2) Método con explosivos: En la actualidad el arranque con explosivos es el método que se utiliza más frecuentemente cuando el terreno es roca, ya que se adapta a cualquier tipo de dureza (roca blanda, media o dura). La excavación utilizando la perforación y los explosivos produce inevitablemente una operación cíclica y no continua que consta de los siguientes pasos: Perforación del frente, retirada del equipo perforador, carga del explosivo y retirada del personal, detonación de las cargas, ventilación para eliminar humo, polvo y vapores, desprender la roca suelta.

c.3) Métodos mecanizados: Distinguiremos los métodos en los que se utiliza la maquinaria convencional, las tuneladoras y las rozadoras.

c.3.1) Con máquinas convencionales: En terrenos de roca media o blanda, y en secciones medias y grandes, un método mecanizado es el convencional con tractores (bulldozer) y para terrenos de mayor dureza, palas cargadoras. Existen también versiones de estas máquinas que solucionan los problemas de espacio.

c.3.2) Con tuneladoras: Podemos definir las como máquinas que realizan la excavación a plena sección mediante la acción directa y continuada de útiles o herramientas de corte. Este tipo de máquinas llevan integrado desde el primer momento el revestimiento al proceso constructivo, mediante la colocación sistemática del mismo detrás de la máquina. Se dividen en dos tipos:

- Máquinas topo (TBM, Tunnel Boring Machine) Se utilizan para excavaciones en roca de dureza baja, media o alta. Excavan el frente de roca a plena sección mediante la acción combinada de la rotación y el empuje continuados de una cabeza provista de herramientas de corte convenientemente distribuidas en su superficie frontal. La tecnología actual permite fabricar topos desde 2,5 m de diámetro hasta 12 m, también se fabrican topos dúplex formados por uno piloto de 3 a 4 m de diámetro combinado con una cabeza ensanchadora de hasta 12 m. Son muy útiles en galerías de pendiente muy inclinada en las que la excavación se realiza de abajo hacia arriba con el topo piloto, para posteriormente ser ensanchada en la dirección contraria. Un topo puede llevar emperadoras que trabajan según se avanza, o mecanismos para colocar cerchas metálicas.



También se puede preparar para el revestimiento con dovelas prefabricadas de hormigón en el caso de que se esperen grandes deformaciones de la roca. El rendimiento del avance con topo suele estar entre 1,5 y 2,5 m/h. Sin embargo, una de las desventajas mayores que presenta respecto a otros métodos es la falta de flexibilidad cuando se producen incidencias por accidentes geológicos o por fuertes aportaciones de agua, debido a la longitud importante de toda la estructura que le acompaña (hasta 300 m). Esta longitud es la que limita el radio de las curvas, que no conviene que sean menores de 100 m. En cuanto a pendientes, un topo puede trabajar en condiciones óptimas no sólo con las pendientes usuales para el transporte sobre vía (el más usual, con pendiente media del 3% y hasta del 7% en rampas cortas) sino bastantes superiores, llegando hasta el 15 y el 20%. Los escudos se utilizan para la excavación de roca con dureza muy blanda y suelos. Como su propio nombre sugiere, un escudo es una estructura rígida y resistente que, introducida dentro del túnel, proporciona, un área estable y segura en la zona del frente de trabajo, protegiendo a este contra el colapso y los pesos de la cubierta e incluso contra el colapso del propio frente de excavación. Una vez completada esta parte del ciclo se coloca el revestimiento en la zona que ha quedado libre detrás de la cola del escudo. A los escudos se les puede acoplar distintos sistemas o útiles de excavación según el tipo de terreno (brazo excavador con cuchara, con martillo, cabeza giratoria circular, rozadoras, cuchillas), e incluso permiten la excavación manual en secciones de pequeño diámetro. En cuanto a las curvas, los escudos con longitudes similares a las de la estructura que los acompaña, son más problemáticos que los topos, pues los radios muy cortos obligan a un diseño sofisticado de dovelas. Los escombros son arrastrados por una cinta transportadora a la parte trasera del escudo, donde son cargados en el sistema de evacuación que los extrae al exterior y que suele ser un tren de vagones sobre carriles, ya que al ser el revestimiento de dovelas es fácil fijar a ellas una vía pesada para el uso de vagones de gran capacidad.

c.3.3) Con rozadoras: Una rozadora es una máquina excavadora provista de un brazo articulado en cuyo extremo va montado un cabezal rotatorio que dispone de herramientas de corte de metal duro llamadas picas. Estas máquinas, denominadas de ataque puntual, producen la desagregación de la roca con las picas que van situadas en la cabeza rotativa, que se mantiene presionada contra el frente con toda la potencia del motor de corte, actuando como fuerza de reacción el propio peso de la máquina. Existen dos sistemas distintos de corte, el llamado de ataque frontal (Ripping) y el de ataque lateral (Milling). En el primero el cabezal de corte gira perpendicularmente al brazo soporte, por lo que la fuerza del corte se aplica principalmente de un modo frontal permitiendo atacar rocas de dureza alta. En el ataque lateral el cabezal es cilíndrico o tronco-cónico y gira en línea con el eje del brazo soporte, por lo que la fuerza de corte se aplica lateralmente, no aprovechándose todo el peso de la máquina como fuerza de reacción; sin embargo, para la minería tiene la ventaja de poder extraer el mineral en vetas estrechas sin afectar a la roca.



No hay que olvidar que el desarrollo de estas máquinas proviene de la minería. Las rozadoras disponen de distintos sistemas de recogida de escombros que, complementados con la utilización de pequeñas cargadoras, los traslada a la parte trasera de la máquina para ser cargados y extraídos al exterior, normalmente por maquinaria sobre neumáticos (palas cargadoras y camiones).

En relación con las condiciones anormales del terreno, las rozadoras presentan indudables ventajas frente a otros sistemas mecanizados, por su gran movilidad. Tanto si la máquina se ve rebasada por una excesiva dureza de la roca, que obliga al empleo de explosivos, como si aparecen rocas muy blandas, que recomiendan el empleo transitorio de excavadoras o métodos manuales, las rozadoras permiten dar paso inmediato a estos sistemas.

SOLO USO ACADÉMICO



### 3.5 Túneles de Chile a la actualidad.

En obras públicas se plantea frecuentemente el problema de la construcción de túneles, ya que nuestro país tiene una accidentada geografía a causa de grandes sistemas montañosos, lo que ha dado origen a la construcción de túneles para poder enlazar en forma más expedita ciudades o lugares de importancia y facilitar los transportes más diversos.

Gran parte del territorio chileno se desarrolla entre dos cordilleras; la Cordillera de Los Andes, columna vertebral de América Latina y la Cordillera de La Costa. Chile se encuentra cubierto aproximadamente en un 70% por montañas, cerros y montes. Ello, sumado a su actividad minera, ha exigido una cantidad considerable de socavones y túneles.

En la red ferroviaria norte, tramo La Calera - Cabildo, se abrió el túnel Palos Quemados, con 1.050 m. de longitud. En la zona de Cabildo se construyeron cuatro túneles, que suman 2.180m. de los cuales La Grupa y Las Palmas son utilizados por Vialidad desde que dejó de correr el ferrocarril. De Los Vilos al Choapa se construyó el de Cavilolén, de poco más de 1.600 m. de longitud y de Illapel a San Marcos, el de Espino, con cerca de 1.500 m. de longitud.

El Ministerio de Obras Públicas ha ejecutado las siguientes obras dentro de la red Vial Básica Nacional, existen en operación 19 Túneles más reconocidos que se indican en el cuadro siguiente:

#### Nomina túneles:

N°	NOMBRE TÚNEL	UBICACIÓN	AÑO	LONGITUD EN M.
1	Recto	Coquimbo, Choapa, Los Vilos	1910	142 m
2	Curvo	Coquimbo, Choapa, Los Vilos	1910	212 m
3	El farellon	Provincia Coyhaique, Región de Aysén	1988	240 m
4	Jardin botanico	Viña del mar. Valparaíso	1996	245 m
5	La Calavera	Panamericana Norte 600, Llayllay, Valparaíso	1950	298 m
6	Angostura	Región Metropolitana y Región de O'Higgins, entre las comunas de Paine por el Norte y Mostazal por el Sur.	1948	347 m
7	Puclaro	Al poniente de la ciudad de Vicuña, Región de Coquimbo	1996	380 m
8	Las astas	Los Vilos, Coquimbo	1910	787 m
9	Pedro galleguillos	Al norte de Tocopilla, Región de Antofagasta	1994	793 m
10	Las palmas	Petorca, Valparaíso	1910	980 m
11	La grupa	Cabildo, Valparaíso	1910	1.277 m
12	Zapata	Divide las comunas de Casablanca y Curacavi, Melipilla, Metropolitana	1955	1.300m N y 1.315m S
13	Caracoles	Entre la provincia argentina de Mendoza y la región chilena de Valparaíso.	1910	1.460 m
14	Montegordo de Chamisero	Huechuraba, Región Metropolitana	2006	1.550 m
15	Cristo redentor	A través de la cordillera de los Andes, entre la provincia de Mendoza, Argentina y la Región de Valparaíso.	1980	1564m CH y 1516m AR
16	Chacabuco	Autopista Los Libertadores 80, Los Ranchillos, Colina, Región Metropolitana	1972	2.045 m
17	El melon	Ruta 5 Norte y conecta las provincias de Quillota y Petorca de la Región de Valparaíso,	1995	2.543 m
18	Lo Prado	Conocida como Camino a Valparaíso, abarca las regiones de Valparaíso y Metropolitana	1802	2.886 m
19	Las raices	Conecta las comunas de Curacautín y Lonquimay, Región de la Araucanía	1939	4.528 m





Los presentes y futuros proyectos que se tienen en carpeta en el país, tanto en la industria minera, energética, vial y de transporte de pasajeros, junto con la necesidad cada vez más creciente de poner en marcha proyectos subterráneos en plazos más reducidos y con mayor seguridad durante la excavación, permiten vislumbrar posibilidades para un cambio tecnológico en lo que a excavación de túneles se refiere en Chile. Entre los proyectos viales y de transporte urbano que involucran desarrollo de túneles y que permitirían analizar un potencial uso de TBMs se encuentran:

- Autopista Vespucio Oriente en la ciudad de Santiago: proyecto AVO, se plantea la construcción de un túnel doble desde Avenida Grecia hasta el Salto en un tramo de 6,8 km en doble tubo
- Futura Línea 1 Express o Línea 7: Se plantea desde Maipú Hasta Tobalaba, paralela a la actual Línea 1, reduciendo además ese flujo en aproximadamente 10.000 pasajeros y alcanzando nuevas comunas. Su inauguración inicial fue estimada para 2025.
- Túneles de Corredores de Integración comercial con Argentina y el Polo Sur: Como son el “Túnel TransAndino”, que está en fases de estudios finales y que generaría un corredor comercial entre Valparaíso y Mendoza. Además, se encuentra el proyecto “Corredor Bioceánico Aconcagua”, que también consta de un túnel de tipo ferroviario para transporte de carga comercial que uniría ambos Países desde la localidad de Saladillo (Chile) y Punta de Vacas (Argentina), que cuenta con 3 alternativas de Túnel de entre 33 y 53,5 Km de longitud.
- Túnel Aguas Negras en la cordillera de la Cuarta región: Permitiría la salida de mercancía de San Juan Argentina por el puerto de Coquimbo durante todo el año. De igual forma en el desarrollo vial no se pueden dejar de lado posibilidades de conectar zonas cordilleranas que puedan generar una futura carretera paralela a la Panamericana y que permitan contar con vías alternativas de alta velocidad que conecten al país. Además, se visualizan futuros túneles de transporte en la ciudad de Concepción, que hagan posible conectar la ciudad y un eventual cruce bajo el Río Bío Bío, que permitiría ser una alternativa a la construcción de futuros puentes comerciales o de reposición de los dañados durante el 27F. Con estos desafíos, es importante entregar las herramientas necesarias a los futuros profesionales que estén relacionados en el diseño y construcción de túneles, aplicando las tecnologías de TBMs a lo largo del país en sus diferentes proyectos, tanto mineros, urbanos, industriales y de generación de energía, permitiendo aportar un menor impacto al medio ambiente, tanto visual como en la flora y fauna.



En Chile, los túneles aún se construyen mayormente según una metodología de excavación convencional, con el uso de la perforación y tronadura. Dentro de los métodos de excavación más utilizados está el método inglés, usado principalmente en túneles de pequeña sección (menos de 15 m<sup>2</sup>).

Según la naturaleza del terreno se puede atacar la excavación del túnel a sección completa, en el caso de roca dura, mientras que los suelos blandos solo permitirán avanzar en secciones más pequeñas o con la consideración de una excavación diferida de galerías de menor dimensión.

Actualmente, sólo se podrá emplear explosivos y accesorios que hayan sido previamente controlados y aprobados por el Instituto de Investigaciones y Control del Ejército (Banco de Pruebas de Chile) o por quién éste designe, lo que se acreditará con el timbre especial colocado en el envase. Las personas que manipulen explosivos en la faena, deberán necesariamente contar con licencia vigente de manipulador de explosivos, otorgada por la autoridad fiscalizadora del lugar en que se encuentre ubicada la faena minera.<sup>x</sup>

SOLO USO ACADÉMICO



### 3.6 Normas en Chile.

Actualmente la normativa para construcciones subterráneas está dirigida para casos particulares, no necesariamente se aplica a todas las industrias donde las obras de este tipo son una solución técnica. El tema de estándares generales para obras subterráneas en Chile es básico, las recomendaciones que se hacen son generalmente derivados de estándares Europeos, se debe avanzar en la implementación de una normativa que ayude a minimizar la falta de estandarización. A modo de ejemplo el DS N° 132 del ministerio de minería cumple un rol de reglamento de seguridad para obras mineras que no son exigidas fuera de ese contexto. Lo mismo se puede apreciar con el manual de carreteras del MOP indica requerimientos mínimos para el diseño de túneles orientado a obras de infraestructuras con criterio de diseños específicos. Las especificaciones técnicas particulares y recomendaciones provienen de las empresas mandantes cuyas buenas prácticas y experiencias son traspasadas a los contratistas y viceversa. También se recurre a normativas y recomendaciones internacionales como son los instructivos de la International Tunnelling Association. Otros cuerpos normativos que rigen el uso y la ocupación del subsuelo urbano son: la ley de metro, la ley de concesiones.xi

Que sea normado significa que la ley impone o se adopta para dirigir la conducta o la correcta realización de una actividad y la seguridad y protección de los trabajadores o ciudadanos van ligados al cumplimiento de normas.

La industria minera al año 2012 ha registrado 25 víctimas de accidentes fatalesxii, gran parte de ellos con menos de un año de experiencia. A la luz de estos datos, el sector tiene permanentemente sus ojos puestos en la seguridad y protección de los trabajadores mineros. La seguridad en minería ha mejorado sustancialmente en los últimos años, pero aún existe mucho por hacer.

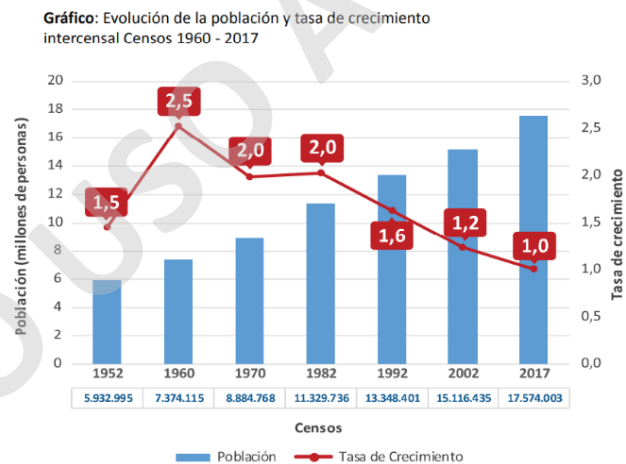


## 4 Nuevas tecnologías.

### 4.1 Persistencia de lo habitable.

La arquitectura sin territorio, sería un espacio inerte, una cápsula volcada a sí misma, carente de esa esencia que dignifica el habitar, porque quien proyecta, debe utilizar el ingenio para sacar el mejor partido a los recursos visuales, térmicos, ambientales disponibles, de manera que el habitante se identifique con su morada, y entienda que el conocimiento técnico de quien estudia el territorio efectivamente puede ser aplicado con sinceridad y racionalidad, a las respuestas posibles sobre cómo habitar un lugar determinado<sup>xiii</sup>.

Conservar el hábitat limpio y despejado, buscar la permanencia de la sensación “espacio abierto” es lo que busca la industria de la construcción, esto se debe gracias a que la población va en aumento y el espacio es cada vez más reducido. Chile tiene una pendiente positiva desde 1960 a la fecha. Lo que significa que la ciudad tiende a expandirse y desarrollarse para suplir las necesidades del aumento de población. En consecuencia, se recurre a las construcciones subterráneas para que el espacio sobre nivel suelo sea aprovechado en obras que no se pueden hacer subterráneas y que además sea favorable a la vista.





El tiempo y el aumento de la población han provocado que sea necesidad y no opción el construir bajo tierra. Sin embargo, de forma conjunta nacen interrogantes en cuanto al cómo y la forma en que se va a ejecutar, dónde va a emplazarse y saber si el terreno va a sostener la construcción, y por último el valor adquirido que va a traer la construcción.

Cuando el espacio se ve aprovechado y causa un impacto positivo el desarrollo de la ciudad y además quienes habitan en dicho lugar se ven favorecidos a lugar de afectados, es cuando el proyecto incrementa un valor positivo para con la construcción.

Es por esto que el entorno en el que se ve desarrollado el proyecto hace un juicio respecto a los beneficios que se obtendrán de en este caso los túneles. Por lo tanto, el valor va a ser la relación de expectativas con realidad, si es igual hay conformidad y si el cliente está satisfecho, lo aprueba. Es muy importante esta relación, porque en materias de impacto ambiental, si el proyecto no es aprobado por la sociedad, se puede hasta cancelar o detener por la presión ejercida.

Función Valor:

$$\text{Valor} = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}}$$

SOLO USO ACADÉMICO



## 4.2 Tecnología de la construcción.

Tecnología de la construcción es la combinación de los métodos constructivos, los materiales y equipos, el personal, los procesos constructivos, y las diferentes interrelaciones que definen la manera como se realiza una determinada operación en la construcción.

Innovación se define como la primera vez que se usa una tecnología dentro de una empresa constructora. Adicionalmente, también se puede definir innovación como el proceso de búsqueda, reconocimiento, e implementación de una nueva tecnología para mejorar la eficiencia de las funciones de una determinada empresa.

El aumento de la competitividad tanto a nivel local, así como, por la llegada de empresas internacionales, está reduciendo los márgenes de ganancia. El incremento en la competencia también está impulsando a las empresas constructoras a buscar nuevas fuentes para la mejora de la competitividad de las mismas. Muchas ya han optado por modernizarse tecnológicamente, con excelentes resultados.

La mano de obra en la construcción es un problema creciente en nuestros días. Esta es generalmente poco capacitada, considerando las exigencias que contempla la incorporación de nuevas tecnologías.

Diversos factores influyen en la lentitud con que se adoptan los nuevos avances tecnológicos en nuestro medio. Entre estos factores encontramos:

- Las empresas constructoras son altamente conservadoras y adversas al riesgo.
- Hasta la fecha éstas no han encontrado la necesidad de mejorar sus procesos ya que la rentabilidad que han obtenido los ha satisfecho.
- Sus competidores son también altamente conservadores. Estos factores generan una cierta inercia de la industria de la construcción ante el cambio y la modernización. Así pues, son pocas las empresas que vislumbran las innovaciones tecnológicas como oportunidades poderosas de generar negocios. Sin embargo, las circunstancias cambiaron substancialmente debido a una serie de factores, entre los que se encuentra, como ya se dijo, una creciente competencia tanto nacional como extranjera.



Entre los anhelos de la industria minera sobre las nuevas tecnologías, se destacan la búsqueda por sistemas de fortificación más eficientes y menores requerimientos de ventilación Vernier J. Gerente comercial de Herrenknecht, actor relevante en el mercado de las TBM a nivel mundial, asegura que: “se vienen nuevas infraestructuras de alta capacidad para mantener a las personas, los bienes y los recursos en movimiento”.

La tecnología que se utiliza posee como objetivo dar un mayor énfasis en la seguridad de los trabajadores, la reducción de los impactos ambientales y un mejor control de costos, todos ellos factores críticos para la minería de hoy.

SOLO USO ACADÉMICO



### 4.3 Metodologías constructivas.

La industria de la construcción de obras subterráneas presenta diferentes metodologías constructivas que permiten abordar desde diferentes aristas las condiciones de las obras en forma segura (país sísmico), económica, amigable con el medio ambiente y que sea eficiente. Estos factores ya mencionados, dan cuenta que el trabajo se hace de forma conjunta para así provocar un crecimiento favorable que se adapte a las nuevas necesidades y tecnologías.

Para elegir el método de excavación a emplear durante la construcción de un túnel, se deben tomar en cuenta varios factores; algunos de índole técnico, económicos y de tiempo de ejecución. Para la construcción subterránea existen diferentes tipos de excavaciones. Los más usuales pueden ser resumidos en términos del método convencional y del mecanizado. Dentro del sistema convencional hay algunas diferencias entre excavaciones en roca y en suelo.

Un aspecto importante que debe tomarse en cuenta al momento de seleccionar el método de excavación de un túnel, sin duda es el costo. Las máquinas tuneladoras tienen un costo inicial elevado, esta inversión resultará rentable para una determinada longitud de túnel excavado, lo que exigirá un proyecto con importantes longitudes que permitan la amortización de la tuneladora. Así mismo debe tomarse en cuenta que los explosivos producen vibraciones que hacen muy complicada su utilización en zonas urbanas o con edificios próximos. Incluso pueden existir problemas cuando las voladuras se efectúan en la proximidad de vías de circulación en uso, tales como carreteras, ferrocarriles, etc. En tales casos, normalmente para excavar el túnel se utilizan medios mecánicos por razones de seguridad con el fin de evitar posibles daños colaterales.



## 4.3.1 Túnel en roca.

La limitación más importante de la excavación convencional mecánica está en la dureza, tenacidad y abrasividad de las rocas, que repercute en rendimientos muy bajos elevando el costo de la obra hasta llegar al punto de volverla totalmente inviable. Cuando se presentan estos casos es necesario el empleo de explosivos con los cuales se pueden conseguir avances importantes excavando a sección completa o en fases, ya sea en roca muy dura y altamente abrasiva o roca poco fracturada. Dentro de los inconvenientes de excavar con explosivos es que los perfiles de excavación son irregulares y si no se diseñan y controlan adecuadamente las voladuras, se pueden producir sobre excavaciones considerables que repercuten directamente en el costo de la obra. La tecnología para el método convencional tiene ventajas en cuanto a su versatilidad, puesto que en caso de existir el espacio y disposición del terreno se pueden abrir frentes adicionales de trabajado simultáneos sin que se eleve mayormente el costo de inversión de obra.

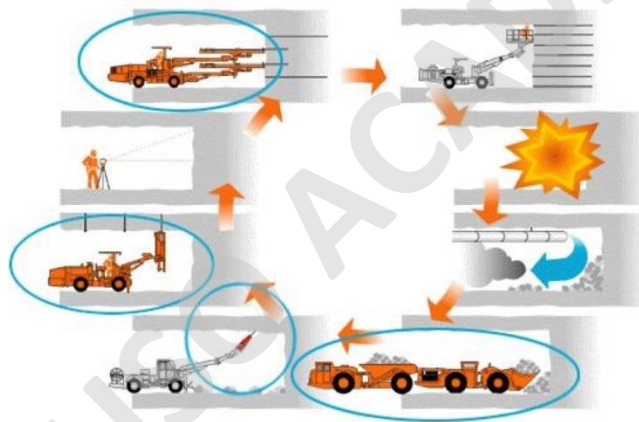


Ilustración 11 Proceso perforación túnel en roca



#### 4.3.2 Túnel en suelo.

Se define suelos blandos a lo que compone arena, grava, limo, tierra vegetal, arcilla, roca blanda. Para trabajar el tipo de suelo blando, es especialmente complejo ya que aumenta en proporción la cantidad de derrumbes en comparación a el tipo de suelo antes expuesto. El peligro, falla o colapso al realizar estas excavaciones están contantemente presentes en la seguridad de los trabajadores y de mantener las buenas prácticas en la ejecución. Dentro de la maquinaria que se utiliza son tuneleras o también llamados escudos.

El método en suelo, utilizado en Metro Santiago y en el proyecto AVO es el NATM (Nuevo Método Austriaco de Construcción de Túneles), corresponde a una excavación cíclica, mediante el uso de retro-excavadoras adaptadas e instalación contemporánea de un soporte de cascara doble de shotcrete de carácter permanente. En algunos casos, como en el proyecto Mapocho Limpio, para aguas servidas, también se ha aplicado el sistema de soporte mediante steel-liners inyectados, que reemplazan al shotcrete como elemento de soporte en túneles de pequeño diámetro.

SOLO USO ACADÉMICO



#### 4.3.3 Método convencional NATM.

Este método constructivo establece siete categorías de roca a partir de la relación entre tiempo de estabilidad de la excavación y la luz o dimensión libre sin sostener, comprobándose que un aumento de la anchura del túnel significa una reducción en el tiempo de colocación del sostenimiento. Siendo el tiempo de estabilidad de la excavación una de las bases del NATM. Es un método flexible de construcción que ofrece gran seguridad y mejora la economía y eficiencia, mediante la integración del comportamiento de la masa rocosa, el registro de deformaciones de la excavación durante su construcción y la aplicación del soporte apropiado a tiempo.

Específicamente consiste en ir midiendo las deformaciones de manera de controlar los avances según las mediciones que se vayan obteniendo diariamente. Si la deformación supera el umbral de alerta predefinido, se acorta el avance de excavación o se colocan marcos más seguidos, por ejemplo, a 50cms en vez de a un metro. Se actúa sobre seguro, siempre se está verificando de que las deformaciones no superen el umbral de alerta, que para el tipo de suelo del proyecto se definió en 5 mm, muy por debajo del umbral de alarma que es de 10mm.

Las cerchas metálicas son colocadas en caso de que exista peligro de desprendimientos de rocas antes de que el hormigón proyectado se haya endurecido suficientemente. En el caso de que se produzcan roturas en el techo incluso antes que se haya aplicado el hormigón proyectado, se requieren medidas de sostenimiento por delante del frente. Dependiendo de las condiciones del terreno, se emplea el revestimiento provisional del techo o paraguas, placas de acero, pernos inyectados, etc. Otro método utilizado para mejorar la estabilidad del frente consiste en adaptar la secuencia de construcción. El frente puede irse dejando inclinado, formando como un machón. Igualmente, el avance del frente de excavación puede ser limitado. Finalmente, se pueden considerar diversas combinaciones de medidas de estabilización.

En este método, se desarrollaron cinco principios:

1. Utilizar la propia roca como elemento resistente frente a los incrementos locales de tensión que se producen durante la excavación.
2. Utilizar métodos de excavación que minimicen el daño producido al material, cubriéndolo con hormigonados de protección.
3. Instrumentar las deformaciones en función del tiempo, con ayuda de clasificaciones geomecánicas y ensayos de laboratorio.



4. Colocar sostenimientos iniciales flexibles, protegiendo el macizo de meteorizaciones, descompresiones, descohesiones, etc., con la velocidad adecuada, para evitar el comienzo de daños.
5. Colocar el revestimiento definitivo, si es necesario, también flexible, minimizando así los momentos flectores, añadiendo resistencia adicional con cerchas o bulones, pero no con secciones rígidas.

Ventajas del método:

1. Es económico, un revestimiento flexible casi siempre es más barato que uno rígido.
2. Altera poco el terreno, lo cual viene bien a largo plazo.
3. Su adaptabilidad a condiciones geológicas variadas, especialmente en condiciones difíciles.
4. Reducción en los presupuestos de obra.
5. Disminución de la probabilidad de accidentes en el frente de trabajo, por causa de rocas o derrumbes.
6. Económicamente mucho más rentable comparado con otros métodos de tunelería.

Desventajas del método:

1. Exige un cuidado continuo, saber hacerlo bien, estar pendiente en todo momento a la instrumentación y usarlo dónde toca, y eso suele excluir a los suelos blandos.
2. El nuevo método austriaco ha dado magníficos resultados en materiales rocosos en que las deformaciones antes de la rotura pueden ser relativamente grandes. En suelos estas deformaduras antes de la rotura, son más pequeñas y hay mayor riesgo de utilizar esta definición.

SOLO USO ACADÉMICO



#### 4.3.4 Método mecanizado TBM.

La utilización de máquinas tuneladoras TBM sirve para la construcción de túneles urbanos y mineros. Esta técnica permite perforar el túnel a frente completo, donde la máquina actúa como una broca de excavación continua del macizo, lo que es seguido de la instalación más automatizada de los elementos de soporte. Así mismo, también se puede mencionar el uso de raise-borers, que corresponde a otro tipo de excavación mecanizada para la construcción de piques verticales e inclinados. produce menores impactos en la superficie, disminuyendo los efectos que una construcción de estas características implica para los vecinos. Si bien existen adelantos tecnológicos en esta maquinaria.

Las tuneladoras pueden emplearse en cualquier tipo de terreno: duro, blando, con agua o sin agua. En la medida en que el terreno es homogéneo tienen, además, una aplicación mucho más ventajosa, ya que se evitan o reducen las paradas para hacer cambios de elementos y la tuneladora corre a unas velocidades increíbles. Con la implementación de equipos en tareas que hasta no hace mucho tiempo se realizaban de forma Manual, por ejemplo, acuñadura, proyección de hormigón, colocación de pernos. Junto con esto el personal de terreno es más consciente y está más informado sobre los riesgos que pueden ocurrir en sus trabajos y como seguridad busca hacerles frente. Una tuneladora TBM es una máquina capaz de excavar túneles a sección completa, a la vez que colabora en la colocación de un sostenimiento si este es necesario, ya sea en forma provisional o definitiva.

Las TBM también se utilizan en el mundo de la minería. Sin ir más lejos, en Chile hay experiencias puntuales en Codelco Chile división El Teniente y Mina Los Bronces. La aplicación en minería es muy interesante, pero allí se requieren diámetros generalmente menores en los túneles y equipos con capacidad de giro en radios reducidos.

Tal es la comodidad de estas máquinas que se pueden montar fuera de la obra y transportar las dovelas en camiones hasta donde está el pique de construcción. Cuando la tuneladora avanza, atrás va quedando un túnel hecho con estos segmentos, ya terminado y con un espacio de la más alta seguridad para las operaciones de avance. La máquina tiene todo un sistema para tomar los elementos de hormigón prefabricado, ingresarlos, colocarlas sin interrumpir su avance.



#### 4.4 Fortificación y resistencia del material en obras subterráneas.

El uso de sistemas como tablas, puntales y cerchas permite excavar la sección por fases sin que se desprenda la bóveda del túnel hasta que este se finaliza por completo, momento en el que se ejecuta el sostenimiento definitivo con hormigón encofrado. El sistema de sostenimiento o entibación consiste en adosar tablas en contacto con el terreno que transmiten los esfuerzos del terreno a unos elementos más rígidos llamados tresillones y que a su vez descansan sobre puntales, también de madera, cuya misión es apuntalar la estructura de sostenimiento. Los elementos que unen los distintos anillos se denominan longarinas, los cuales aportan rigidez al conjunto.

**Cerchas metálicas:** Cuando las secciones a sostener son mayores el empleo de la madera queda relegado y es necesario recurrir a elementos de sostenimiento metálicos. Las cerchas son arcos de acero que resisten en unión con otros elementos de sostenimiento, recogiendo los esfuerzos del terreno para resistir de forma conjunta. Se ponen en contacto con el terreno y apoyadas firmemente en el suelo del túnel. Para facilitar su colocación se separan en varios segmentos que una vez presentados en el interior del túnel se unen, por ejemplo en túneles grandes se dividen en tres arcos. Normalmente van separadas a distancias entre 0,5 m y 1,5 m. También se suelen añadir barras de unión entre las cerchas para dotar de mayor rigidez al conjunto.

**Bulones y anclajes:** El bulonado es uno de los sistemas más comunes de contención de terrenos en cualquier tipo de infraestructura. Los bulones son anclajes de barra que se alojan en el interior de un taladro perforado en la roca y que se adhieren a esta por diferentes sistemas. Trabajan de forma pasiva, esto es, entran en carga cuando se deforma el terreno. Tienen un efecto de cosido de juntas pero también de confinamiento sobre el macizo rocoso.

La perforación para la colocación de bulones se ha de iniciar lo más pronto posible después de la excavación, posteriormente a la proyección de una primera capa de hormigón. El bulonado del terreno se lleva a cabo con perforación mediante barrenas. Existen diferentes mecanismos de anclaje del terreno: bulones con anclaje puntual: por cuña o por cabeza de expansión; bulones con anclaje repartido, el cual puede ser, a su vez, de dos tipos: mecánico (torsión del tubo, presión de aire, ajuste de barra) o químico (inyección de cemento o resina).



Hormigón proyectado o gunita: El hormigón proyectado, también llamado gunita, se diferencia del hormigón colocado en el sistema de puesta en obra, el tamaño máximo del árido y los acelerantes que hacen que consiga resistencias iniciales muy altas. La gunita sella rápidamente la superficie y evita la alteración y descompresión, forma un anillo de hormigón que trabaja para evitar el cierre y sujeta las cuñas. Existen dos procedimientos de gunitado, por vía seca: el agua se añade a la mezcla de áridos y cemento en la boquilla de la manguera, y gunitado por vía húmeda: la mezcla del hormigón que puede provenir de la central se vierte en una tolva y se bombea hasta la boquilla de la manguera.

El anillo de dovelas: Cuando la excavación se realiza con máquinas tuneladoras de escudo, el sostenimiento está formado por un anillo de dovelas que se montan al abrigo de la coraza del escudo mediante el encaje de unas con otras. Existe una amplia variedad de dovelas en cuanto a geometría, tipo de juntas, conexiones, etc. Las más conocidas son las de planta rectangular y clave trapezoidal. En éstas, tanto las dovelas de un mismo anillo como éstos entre sí se ensamblan mediante tornillos. Las juntas, tanto radiales como circunferenciales, suelen ser lisas con unos rebajes en los que se alojan bandas de neopreno para impermeabilización. El encaje de las bandas de impermeabilización en los rebajes se hace normalmente a presión o mediante el empleo de resinas. Tras las operaciones de sostenimiento puede ser necesario un sostenimiento secundario definitivo, llamado revestimiento, cuya misión puede ser simplemente estética, evitar filtraciones, mejora de la ventilación, o conseguir una iluminación.

Generalmente, el revestimiento se ejecuta con hormigón encofrado. El sobre coste del revestimiento puede llegar a ser del 30% del coste de un túnel. En el caso de las tuneladoras, el propio sistema constructivo hace que el sostenimiento con anillos de dovelas sea el revestimiento definitivo.

Hablar de shotcrete en Chile es muy distinto que hace una década atrás. La demanda por este tipo de hormigón para proyectar es cada vez mayor en el país, junto con las exigencias de performance e implementación de tecnologías de control de calidad de este, ligadas al auge del desarrollo de espacios subterráneos en el ámbito minero como civil, que nos proporcionan en un nuevo y mejor escenario. En este contexto, actualmente en la fortificación subterránea existe una preocupación asociada a permitir los tiempos de ejecución, asegurando exigentes estándares de seguridad y calidad, en un ambiente operacional hostil. Por tanto el estándar de hormigón para shotcrete utilizado debe cumplir con mantener su cohesión, docilidad y bombeabilidad durante los tiempos de transporte (3 horas o más), tener la capacidad de desarrollar altas resistencias a muy temprana edad, en minutos.

Adicionalmente se busca que el shotcrete tenga alta adherencia al sustrato, que el porcentaje de rebote o rechazo sea bajo y, por último, que el producto tenga una alta durabilidad a través del tiempo, por lo que debe ser poco permeable.



La estrategia para resolver este desafío se concentra en la investigación e innovación, en conjunto con un fuerte control operacional, que se traduce en la realización constante de pruebas, investigaciones y desarrollos con todos los actores del mercado de aditivos, adiciones y fibras, con la finalidad de estar a la vanguardia con el uso de las nuevas tecnologías. La cultura de la innovación en hormigón permite contar con un amplio sustento técnico, fundamental para enfrentar las nuevas especificaciones técnicas y requerimientos de clientes. Contando con experiencia necesaria para ofrecer más proyectos que se ajusten 100% a las exigencias del mercado. Para responder de manera eficiente a los nuevos requerimientos, también es relevante contar con los mejores equipos multidisciplinarios, materiales de alta calidad y con la tecnología asociada para dar soluciones y prestaciones, como la que actualmente se desarrolla en, por ejemplo, Minera Codelco Chile división El Teniente, la mina subterránea más grande del mundo.

El hormigón proyectado o shotcrete es, sin dudas, la metodología principal de fortificación de túneles y así lo han hecho saber los responsables de las grandes obras subterráneas del país: Metro y Codelco.

La calidad en los proyectos está siempre firmemente ligada a la seguridad y resistencia de fortificaciones mineras, impactando positivamente al cuidado y protección de los trabajadores que realizan ciertas labores complejas en el interior de túneles subterráneos. Con el desarrollo de estas estrategias de seguridad y confianza, se desarrollan lazos y un compromiso con el mandante, logrando aportar activamente al cumplimiento de metas productivas que imponen los desafíos. Hoy es tendencia que cada vez mayores proyectos decidan utilizar hormigón a la vista como elemento de terminación. Esto es producto de 2 de sus cualidades: vista comparable con la expresión de piedra o madera por la bella estética de terminación y en segundo lugar que es un material de alta durabilidad que no requiere mantención.

En la construcción subterránea siempre se deben tomar medidas que garanticen la resistencia de la estructura y además la acción del ambiente durante el ciclo de vida para la cual fue proyectada con algunas mantenciones. Éstas corresponden al hormigón a la vista, que se ven agudizadas cuando el ambiente en el que se desarrolla no permite que se mantenga física o químicamente.





Ante esto, los nuevos túneles que se desarrollan en Chile y específicamente en el proyecto AVO es un hormigón a la vista de alta durabilidad, la cual considera dosificaciones para lograr la estructura más resistente, y que cumpla con propiedades que se exigen a las materias primas, se debe analizar cada caso desde un enfoque multidisciplinario. Se trabaja con características de agresividad en el ambiente en el que va a estar la obra (ciclos de hielo-deshielo, exposición a sulfatos, exposición a cloruros, exposición de CO<sub>2</sub>), medidas para administrar los fenómenos de retracción hidráulica o por temperatura, medidas que se usan para evitar fisuración por retracción plástica, para evitar asentamientos plásticos, aumento en los requisitos de recubrimiento de las armaduras, métodos para realizar moldajes, estancos, métodos de vibrado, plazos de desmolde, entre otros.

Tecnología alternativa en el reforzamiento de túneles: Esta tecnología consiste en el empleo de filamentos de polipropileno que se mezclan y proyectan con el shotcrete (hormigón proyectado) en túneles. Luego de ensayos de laboratorio, pruebas industriales y experiencia de trabajo en terreno, su aplicación está ganando nuevos adeptos en un entorno que, hasta hace poco, favorecía el uso exclusivo de materiales de refuerzo metálicos, como la malla y la fibra de acero. La fibra sintética para refuerzo estructural entró con gran fuerza a principios de los 90, especialmente en la minería de países como Australia y Sudáfrica, pero actualmente se ha extendido también a otras áreas, como obras de infraestructura y edificación.

Beneficios:

- Gran resistencia durante la deformación con la masa rocosa.
- Resistencia a la flexión igualable a la del acero.
- Cero oxidación, asegurando una gran durabilidad.
- Más liviana y fácil de manejar que la fibra metálica.
- Ningún daño de cables eléctricos colgando en el equipamiento minero.
- Reducción del desgaste de mangueras y bombas de concreto.

Fibras sintéticas versus fibras metálicas: Durante la última década los avances tecnológicos han permitido el diseño y producción de materiales sintéticos con características bien específicas. Para una fibra de refuerzo, las características principales son la resistencia a la tensión y la adherencia entre la fibra y el hormigón. Las fibras sintéticas tienen una resistencia a la tensión entre 550 y 650 MPa. Para efectos de comparación, la resistencia de la malla es de 550 MPa.



Otra de las ventajas de la aplicación de esta tecnología de fibra sintética es que el consumo real proyectado es muy similar al teórico, lo que se traduce en un ahorro importante de sobreconsumo de shotcrete pues se sigue el contorno del túnel para adaptarse a sus formas, lo que no ocurre en el caso de la malla de acero que, al quedar tirante, deja espacios entre la malla y la superficie del túnel que luego hay que rellenar con hormigón proyectado.

Adherencia al hormigón: Las fibras utilizan el vínculo mecánico que se forma entre el relieve de la fibra y la pasta cementosa del hormigón, lo que equivale a las estrías soldadas en las barras de construcción que se han usado tradicionalmente. Adicionalmente, la fibra recibe un tratamiento especial en su superficie para aumentar la adherencia con la pasta cementosa.

SOLO USO ACADÉMICO



#### 4.5 Casos internacionales.

Uno de los ejemplos más destacados sobre uso de espacio subterráneo es la ciudad conocida como Reso, ubicada en Montreal Canadá. De acuerdo a su historia, fue el centro comercial subterráneo place ville marie ubicada bajo el primer rascacielos de la ciudad, el que dio inicio el 1962 a una tendencia que llevaría a la construcción de la que se transformaría en la mayor ciudad subterránea del mundo. A poyada por la llegada del metro el 1966, otro centros subterráneos y túneles comenzaron a aparecer uniendo las estaciones con lugares importantes, como edificios de oficinas y hoteles, formando lo que sería el segmento central de la tierra de la ciudad. En la actualidad, son 33km de túneles subterráneos cuyos corredores se enlazan con 10 estaciones de metro, dos terminales de autobuses, 1200 oficinas, alrededor de 2000 tiendas incluyendo dos grandes almacenes, 200 restaurantes, 40 cines y lugares de ocio y entretenimiento, 7 hoteles, la universidad de Quebec en Montreal y el campus de la universidad de esta, el parque olímpico, la plaza de las artes y 3 salas de exposiciones.

Otro ejemplo de obras subterráneas es el centro comercial Garden Santa Fe ubicado en ciudad de México que destaca por sus 3 estructuras de conos invertidos, que proporcionan luz natural y ventilación y por contar con una gran azotea verde. Esta última, que correspondería al nivel calle, incluye un parque con una pista para correr, bancas, espacios de recreación y esparcimiento, áreas arboladas, accesos peatonales y vehiculares con una superficie de construcción de 1114 m<sup>2</sup> y un área libre de 10749m<sup>2</sup> que equivalen al 91% de la extensión del predio. En los primeros 3 niveles subterráneos se emplaza zona comercial, con una superficie de 20088m<sup>2</sup>, mientras que el área de estacionamiento se desarrolla en otros 4 niveles inferiores. Con todo, la superficie de construcción total es de 68961 m<sup>2</sup>. En el parque se encuentra el acceso de estacionamiento y al área comercial subterránea. Además, el acceso peatonal al estacionamiento, al centro de entretenimiento y a la zona comercial es a nivel del parque por medio de unos volúmenes que se configuran en el paisaje urbano como estructuras de cristal ubicadas en los 4 lados del extremo del proyecto.

La obra del metro de Quito, que actualmente construye ACCIONA en Ecuador, donde se utilizaron tres TBM para la construcción de 21 km de losa 23,8km totales que contempla el proyecto. El trazado total se dividió en tres tramos de túneles cuya extensión estuvo entre 3, 7 y 10 kilómetros.



En cada una de estas obras subterráneas, la tuneladora obtuvo rendimientos considerables: 414 metros por mes, promedio para el túnel de 7,3 kilómetros de extensión, con una media móvil máxima de 1.326 m/mes; 246 m/mes, para el túnel de 3,5 kilómetros de largo, con una media móvil máxima de 683 m/mes; y 541 m/mes para el túnel de 9,9 kilómetros de extensión, con una media móvil máxima de 1.491 m/mes, lo que constituyó un récord mundial de ejecución de túnel con tuneladora EPB.<sup>xiv</sup>

SOLO USO ACADÉMICO



## 5 Capítulo 5 Proyecto Autopista Vespucio Oriente.

### 5.1 Descripción del proyecto.

El proyecto de concesión Américo Vespucio Oriente, Tramo Avda. El Salto-Príncipe de Gales, consiste en la construcción y explotación de una autopista urbana con una longitud aproximada de 9,1 Km y se recorrerá en 15 minutos de viaje entre Ciudad Empresarial y La Reina cuando esté operativa la vía. El proyecto se encuentra actualmente en proceso de evaluación ambiental en el SEA de la Región Metropolitana. Es una inversión de casi US\$1.000 millones y está empleando a cerca de mil personas y va a llegar prontamente a dos mil personas, uniendo las comunas de Huechuraba, Vitacura, Las Condes y La Reina.

Su diseño contempla la ejecución para toda su extensión, de 2 calzadas expresas de 3 pistas por sentido. En particular, desde el sector de Avda. El Salto hasta el Puente Centenario, se contempla la ejecución de viaducto principal y secundario, un túnel de tres pistas bajo el Cerro San Cristóbal y bajo el río Mapocho, como el mejoramiento de la vialidad preexistente en superficie de la bajada de La Pirámide. Respecto del resto del trazado, el cual se extiende desde el Puente Centenario por el norte hasta inmediaciones de Avenida Príncipe de Gales por el sur, se proyectan 2 calzadas por sentido en solución subterránea con 3 pistas expresas cada una.

Este proyecto contribuirá a disminuir los tiempos de viaje de quienes transiten por el sector oriente de Santiago, mejorando el nivel de servicio de una vía estructurante, que en la actualidad presenta altos niveles de saturación. La construcción del Proyecto AVO I, entre Avda. El Salto (Huechuraba) y Avda. Príncipe de Gales (La Reina), tomará aproximadamente cinco años, finalizando en abril de 2022.

De los cinco consorcios participantes, finalmente fue Grupo Costanera Spa quien presentó la mejor oferta y se adjudicará el proyecto, con un monto total de 27.822.637 de UF (unos US\$ 1.098 millones) lo que corresponde a un 35% menos de lo que estaba dispuesto a pagar el Estado, cuyo presupuesto era 42.870.000 UF (unos US\$ 1.711 millones).<sup>xv</sup>

La concesión vial que ha sido adjudicada al Titular del presente EIA, corresponde a los sectores 1 y 2, siendo el Sector 1: Avenida El Salto – Puente Centenario y Sector 2: Puente Centenario – Príncipe de Gales.



Ilustración 12 Perspectiva del Proyecto Américo Vespucio Oriente



Ilustración 13 Maqueta virtual del proyecto autopista Américo Vespucio Oriente



## 5.2 Método constructivo.

Cualquier proyecto de desarrollo para mejorar la calidad de vida conlleva impactos positivos y negativos. Los proyectos de desarrollo deberían planificarse de manera que produzcan la mayor cantidad de impactos positivos y un mínimo de impactos negativos sobre el medioambiente. La predicción de los impactos medioambientales causados por la construcción en las primeras etapas del proyecto puede conducir al mejoramiento del comportamiento medioambiental de los proyectos y obras de construcción.

Esta construcción evidentemente tendrá efectos medioambientales que están clasificados en tres categorías: impactos sobre los ecosistemas, sobre los recursos naturales y sobre la comunidad.

El método de excavación por excelencia en Chile es el convencional, es decir, el de perforación y tronadura. Aquí diversos equipamientos tienen lugar y, con el correr de los años, aunque el método no ha cambiado, el equipamiento ha incorporado tecnologías que aumentan la mecanización y autonomía, además del confort para los operarios.

La construcción de túneles carreteros es una disciplina altamente especializada que exige la aplicación de métodos y sistemas de trabajo que permitan obtener rendimientos adecuados manteniendo en todo momento la seguridad; para lo cual, se requiere de personal altamente calificado, responsable y con amplia experiencia en la materia.

El método constructivo que se utiliza para la construcción de túneles generalmente se reduce a dos alternativas. Trinchera o túnel minero. Desde el punto de vista práctico, no existe ninguna diferencia. En ambos casos se trata de vías soterradas, que permiten que el flujo vehicular discurra bajo tierra y, por consiguiente, reducir considerablemente el movimiento en superficie, con todos los beneficios que ello conlleva. La diferencia entre ambas soluciones constructivas es netamente técnica, pero, desde el punto de vista del resultado para el usuario y la comunidad, es prácticamente el mismo. La vía estará soterrada, es decir, bajo tierra en la mayor parte del trazado, salvo el viaducto del Sector 1 y la bajada La Pirámide.

Se trata del método constructivo menos invasivo, que permite que, mientras se trabaja en el bandejón central abriendo el túnel e instalando los pilotes, puedan seguir circulando los vehículos por las vías laterales. Conformada la estructura de los túneles e instalada la losa del techo, se cubrirá la parte superior, se repondrá el parque y se continuarán las obras desde el interior, minimizando así los efectos de los trabajos de construcción.

El túnel en la modalidad trinchera cubierta tiene similares efectos prácticos que el túnel minero. Sin embargo, el túnel en la modalidad trinchera cubierta disminuye las incomodidades propias de este tipo de obra para los residentes de las zonas aledañas, por dos motivos. En primer lugar, porque los tiempos de construcción se reducen, y, en segundo término, porque, una vez construida la estructura interior en lo que hoy es el bandejón central del Parque Américo Vespucio, se repone el mismo y se pueden seguir con los trabajos dentro del túnel en la modalidad trinchera cubierta, lo que minimiza los impactos exteriores: movimientos de vehículos en superficie, operación de maquinaria, ruidos, etc.

Las obras de la concesión se han diseñado no sólo para cumplir con la función vial que le es propia, sino que, además, hemos considerado disminuir los tiempos de ejecución beneficiando con esto a los vecinos del sector durante la construcción.

De manera general se debe indicar que se ha planificado la ejecución de todas las obras en paralelo con la excepción de la Bajada de la Pirámide que no se puede empezar hasta que se haya finalizado el Túnel de la Pirámide y conectado con la salida a superficie en Francisco de Aguirre. Así, el Viaducto El Salto, el Túnel de la Pirámide, y el ramal Mapocho comienzan simultáneamente al inicio de las obras. Por su parte, el paso bajo el río Mapocho se inicia con un leve retraso sobre las anteriores. Ello es debido a que se prefiere esperar al momento de estío para ejecutar esta obra. Además de estas obras principales, se debe señalar que desde el momento cero también se comienza la construcción de otras obras menores como la reposición de los servicios afectados (incluso el punto limpio de Vitacura), el pique de ventilación del túnel y también el tramo de túnel entre pantallas que hace de transición y conecta con el Sector 2. Al respecto de la conexión con el Sector 1, se debe señalar que esta se realiza de modo coordinado y simultáneo con la Zona 1 de la Fase C del Sector 2 con el que se conecta.



Ilustración 14 Esquema Fase C Zona 1 del Sector 2 y conexión con el Sector 1.



### 5.2.1 Tipología de las obras contempladas por sector.

#### a) Sector uno: Viaducto.

Este elemento constructivo sólo se presenta en el inicio del Sector 1. Se ha desarrollado con el fin de mejorar la funcionalidad y conexiones del proyecto, y corresponde al viaducto El Salto. Este viaducto se dispone linealmente sobre la actual Autopista Vespucio Norte, a modo de un segundo piso de circulación. Además, se considera un viaducto secundario, que permitirá conectar AVO con Ciudad Empresarial como también con las comunas de Recoleta y Huechuraba. Con su construcción, los flujos de tráfico se distribuyen con mayor antelación de forma que el usuario podrá decidir mejor su destino final, evitando conflictos con los tráficos punta de la conexión del ramal a Ciudad Empresarial.

El Túnel de la Pirámide, la caverna de bifurcación y ramal del Mapocho serán construidos mediante la aplicación de sostenimientos basados en el shotcrete, pernos y marcos metálicos. La excavación se llevará a cabo mediante explosivos en las zonas de terreno más resistentes, y mediante medios mecánicos (retroexcavadoras, martillo demolidor hidráulico, etc.) en los terrenos más blandos y de peor calidad geotécnica. Concretamente, se aplicará la modalidad constructiva conocida como Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M), utilizado también en Santiago en la construcción de las actuales líneas de Metro.



*Ilustración 15 Excavación con maquinaria*



*Ilustración 16 Trabajos en ejecución Ensanche Plataforma La Pirámide*



*Ilustración 17 Trabajos en ejecución Túnel La Pirámide.*

La ejecución del túnel supone una actividad cíclica que se compone de las siguientes operaciones: Perforación, carga de explosivo, disparo de la carga, evacuación y ventilación, saneo del contorno, carga y transporte de escombros, ejecución del sostenimiento, replanteo de la nueva voladura. En el caso de terrenos tipo suelo o de roca de baja calidad geotécnica, las labores de perforación, carga de explosivo, disparo y evacuación de gases, serán sustituidas por excavación con métodos mecánicos.



Una vez excavada cada fase y antes de la siguiente se procede a la fortificación del espacio excavado mediante el empleo de: Hormigón proyectado o shotcrete, colocación de elementos metálicos en forma de marcos, colocación de enfierradura en forma de lámina. El túnel de La Pirámide contará con un pique de ventilación intermedio de 15 m de diámetro interior. El pique se conecta con el túnel en las proximidades del Dm. 1760 mediante una galería de comunicación de 6,20 m de altura por 8 m de anchura. Por último, el túnel en modalidad trinchera cubierta. Se utilizará en el tramo final del Sector 1. Se ejecuta mediante pilotes discontinuos laterales, a una profundidad requerida, que soportan las losas, tanto superior que soporta el terreno, como la inferior por la que transcurre el tránsito.



*Ilustración 18 Trabajos de excavación y refuerzo de un pique circular.*



*Ilustración 19 Excavación en la modalidad de túnel minero en la caverna de bifurcación.*



a) Sector dos:

Túnel en mina. En el enlace Avda. Kennedy el proyecto atravesará mediante túnel minero bajo las obras asociadas al proyecto Programa Santiago Centro Oriente (PSCO), mientras que en el enlace Avda. Apoquindo, el proyecto atravesará bajo los estacionamientos existentes, Subcentro y la Línea 1 del Metro. Con este procedimiento constructivo se evitan impactos sobre la vialidad en superficie y sobre las infraestructuras existentes mencionadas.

Túnel en modalidad trinchera cubierta de dos niveles. Consiste en un túnel en modalidad trinchera cubierta desde Puente Centenario a nudo Kennedy y de nudo Kennedy a Avda. Apoquindo (2,9 km), emplazado bajo y a lo largo del Parque Américo Vespucio, que acogerá a las calzadas expresas, con dos sentidos de circulación de tres pistas cada uno. Esta trinchera de dos niveles está constituida por pilotes de separación y profundidad variable, reforzados mediante muro forro sobre los que se apoyan las losas. A su vez, constituirán la plataforma del nivel -1. Esta solución constructiva permitirá habilitar los anchos de plataforma asociados de AVO, así como cada una de las conexiones con los ramales del proyecto.

Túnel híbrido de dos niveles. Consiste en un túnel en modalidad híbrida desde Avda. Apoquindo a Avda. Príncipe de Gales (2,7 km), emplazado bajo y a lo largo del Parque Américo Vespucio, que acogerá a las calzadas expresas, con dos sentidos de circulación de tres pistas cada uno.

Esta solución constructiva en túnel subterráneo se resuelve en una modalidad mixta, ejecutando la plataforma del nivel -1 mediante una estructura de túnel en mina convencional, mientras que el nivel -2 se resuelve mediante una estructura tipo trinchera cubierta, el cual permitirá alcanzar la cobertura y recubrimiento necesario para salvar las infraestructuras existentes en el enlace de Avda. Apoquindo y enlazar en la zona de Avda. Príncipe de Gales con el Proyecto AVO II.

Este proyecto permite reducir en un 85% la afectación del Parque Vespucio, y disminuir la alteración a servicios y tránsito durante la etapa de construcción, los que se verán afectados solo por las rampas de acceso, se generarán vías segregadas para peatones y ciclistas, ciclovías continuas, mejoramiento del diseño del parque y arborización, equipamiento e infraestructura.



*Ilustración 20 Excavación y ejecución de las estructuras que conformarán el ramal de acceso*



*Ilustración 21 Corte frontal vías segregadas*



*Ilustración 22 Rediseño del Parque Vespuccio*



*Ilustración 23 Vista esperada*

La construcción del proyecto crea la necesidad de instalar un punto limpio provisorio. Éste fue contemplado dentro de las partidas del proyecto AVO y una vez que se finalice la obra, se retirará y acondicionará el terreno. Este lugar presenta la infraestructura necesaria para recibir y acumular los siguientes residuos: papel y cartón, latas de aluminio, envases plásticos, tetra pack, botellas de plástico, vidrio, metal y chatarra, ropa y enseres, electrodomésticos y accesorios computacionales, monitores y televisores, pilas y baterías, medicamentos vencidos, catridge y toner. Además, dichas instalaciones provisorias continúan con las actividades y programas que desarrolla la municipalidad de Vitacura para la comunidad, como son: servicios veterinarios y charlas educativas. El Punto Limpio Provisorio forma parte de las medidas de compensación propuestas por la Sociedad Concesionaria durante el proceso de evaluación ambiental del Proyecto AVO.



Ilustración 24 Ubicación punto Limpio Provisorio



Ilustración 25 Habilitación de las instalaciones del Punto Limpio Provisorio



### 5.3 Evaluación impacto ambiental.

En la predicción de los impactos se utiliza una metodología de evaluación de impactos, la cual identifica, describe, evalúa y jerarquiza los efectos ambientales. La evaluación que se presenta consiste en determinar si los efectos identificados constituyen impactos significativos en base a los criterios del Artículo 11 de la Ley N° 19.300 y detallados en el Título II del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. N° 40/2012).

Cabe señalar que la predicción y evaluación de impactos ambientales se efectúa, cuando es pertinente, en base a modelos, simulaciones y cálculos matemáticos, en la condición más desfavorable, según lo establece el Artículo 18 letra f del Reglamento del SEIA.

En cuanto a los proyectos que cuenten con un correcto manejo de residuos industriales (desmontes, relaves, aguas de descarte) y además tengan planes de cierres realistas, ejecutables y que aseguren un abandono ambientalmente amigable, significa que el proyecto cuenta con este tipo de sustentabilidad.

El concepto de sustentabilidad busca satisfacer necesidades del presente sin afectar las posibilidades de generaciones futuras, ideas que el sector está abordando mediante el uso de energías renovables y eficiencia energética.

La construcción de un proyecto con mitigación del impacto ambiental parte en la etapa de diseño. Desde su concepción misma, se analizan las variables que pudieran tener. Lo principal es tener la certeza de que no exista ningún impacto significativo y justificar la inexistencia de aquellos efectos que requieren la elaboración de un estudio de impacto ambiental, como, por ejemplo, el riesgo para la salud de la población, efectos adversos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, reasentamiento de comunidades humanas, alteración del valor paisajístico y de monumentos, entre otros.

Las evaluaciones ambientales por su naturaleza requieren análisis interdisciplinarios, por lo que son preparadas por equipos y miembros que laboran conjuntamente en el campo. El equipo central tiene que ser apoyado por varios especialistas según el proyecto; entre las especialidades que deben ser convocadas están: ingenieros civiles, topógrafos, geólogos, biólogos, geógrafos, químicos, analistas de la calidad del aire, expertos en ruido, planificadores del transporte, planificadores urbanos y economistas, entre otros. La ley 19.300 llamada bases generales del medio ambiente, es uno de los principales instrumentos referenciales en la legislación ambiental. Esta se basa en los actuales reglamentos, normas de calidad, normas de emisión, planes de descontaminación. Esta norma establece además los plazos y formalidades de cumplimientos requeridos y los criterios para revisar las normas vigentes.<sup>xvi</sup>





Chile y la construcción en este país trabaja bajo estándares y normativas de distinta índole, estas se dividen en 4 secciones que permiten identificar y agrupar estándares medio ambientales, tales como:

- Norma Primaria de Calidad Ambiental: Son aquéllas que establece los estándares o valores de las concentraciones y períodos máximos y mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población, definiendo los niveles que originan situaciones de emergencia.
- Norma Secundaria de Calidad Ambiental: Son aquéllas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza.
- Norma de Emisión: Es la que establece la cantidad máxima permitida para un contaminante medido en el efluente de la fuente emisora.
- Norma Técnica Ambiental: Instrumento reglamentario que contiene un conjunto de condiciones técnicas que deben cumplirse en diseño, construcción y operación de actividades o procesos las cuales previenen la contaminación. Las normas técnicas deben ser elaboradas o son dictadas por un organismo competente.

La evaluación del impacto ambiental de las actividades o proyectos que establece la Ley de Bases del Medio Ambiente (LBMA), se hace a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), el cual consiste en un procedimiento administrativo a cargo del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), que, en base a un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental (EIA o DIA), determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes.

Dicho procedimiento es originado por los titulares de los proyectos o actividades, a través de la presentación, en el caso del Proyecto AVO, de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) ante la Comisión de Evaluación Ambiental respectiva, en este caso, de la Región Metropolitana. El EIA es un documento que describe pormenorizadamente las características de un proyecto o actividad que se pretender realizar (o modificar), proporcionando antecedentes para la predicción, identificación, e interpretación de su impacto ambiental y describir las acciones que ejecutará el titular del proyecto o actividad para impedir o minimizar sus efectos significativos adversos.



Admitido a trámite el proyecto, el SEA solicita la opinión sobre el EIA o DIA a los diferentes órganos públicos con competencia ambiental, emitiéndose el ICSARA (Informe Consolidado de Solicitud de Aclaraciones, Rectificaciones y/o Ampliaciones), documento preparado por el SEA que consolida las consultas, aclaraciones o rectificaciones solicitadas por los órganos públicos con competencia ambiental. El titular del proyecto debe dar respuesta al ICSARA por medio de la Adenda, que es el documento preparado por el titular de un proyecto o actividad, que responde a las consultas del ICSARA. El SEA contempla, asimismo, la Participación Ciudadana, en virtud de la cual el SEA desarrolla actividades para dar a conocer a la comunidad un proyecto o actividad, sus impactos y las medidas definidas por el titular para hacerse cargo de estos. En el caso particular de AVO, el EIA del proyecto ingresó al SEA el 6 de noviembre de 2015.

Durante el proceso de evaluación ambiental del Proyecto AVO, se publicaron un total de 3 ICSARAS, 3 Adendas y se desarrollaron 2 procesos de Participación Ciudadana. El 17 de octubre de 2017, la Dirección Regional del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) de la Región Metropolitana emitió el Informe Consolidado de la Evaluación de Impacto Ambiental (ICE) del EIA del Proyecto AVO, por medio del cual recomendó calificar favorablemente el EIA. El SEA argumentó finalmente que se cumplieron los requisitos de carácter ambiental aplicables y exigibles, cuyo objetivo es asegurar la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental, y que las medidas de mitigación y compensación propuestas son apropiadas, ya que se hacen cargo de los efectos, características y circunstancias establecidos en la Ley para el proyecto.

El EIA del Proyecto AVO fue aprobado por la unanimidad de los miembros de la Comisión de Evaluación de la Región Metropolitana en su sesión extraordinaria N° 11/2017 celebrada el 25 de octubre de 2017, y su respectiva Resolución de Calificación Ambiental N° 471/2017 se publicó con igual fecha.

Información adicional complementaria:

Conservación de las Obras de Paisajismo.

Se realizará la mantención de todas las áreas verdes y jardines responsabilidad de la Concesionaria, definidas en el proyecto de paisajismo y espacio público, excluyendo el parque Américo Vesputio que se cederá a las respectivas municipalidades las cuales se encargarán de su mantención. En las áreas de responsabilidad de la Concesionaria se realizará la poda de árboles 1 vez al año y se comprobará la mantención permanentemente del riego. Se repasarán las tazas y se controlará el estado fitosanitario de los árboles.



Se realizará el control general de las plantaciones, comprobándose que se encuentran en buenas condiciones, con suelo vegetal suficiente y adecuado a las especies, sin enfermedades y siempre regadas de acuerdo al consumo hídrico de cada especie. Se comprobará que el equipamiento, obras artísticas o mobiliario dentro del área de paisajismo y espacio público, se encuentren siempre limpios, íntegros, sin rayaduras y funcionales. En caso de un hecho fortuito, accidente u otro evento (actos vandálicos, hurtos, desastre natural) que dañe algún elemento de las obras de paisajismo y espacio público del Proyecto, la Sociedad Concesionaria procederá a su reemplazo. En caso de ser necesaria la reposición de árboles, los nuevos ejemplares serán de la misma especie y tener una altura similar al anterior.

SOLO USO ACADÉMICO

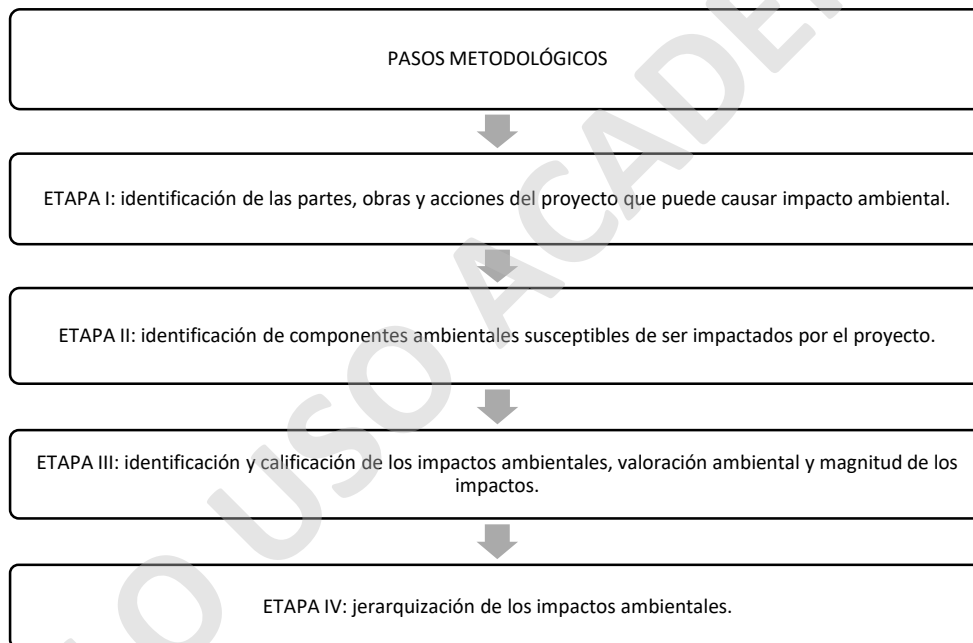


### 5.3.1 Identificación de etapas del impacto ambiental.

El objetivo de la evaluación ambiental es asegurar que los problemas potenciales sean identificados y tratados en la fase inicial de la planificación y diseño del proyecto.

Sobre la base del análisis de las fuentes de impacto del Proyecto y las características de los componentes ambientales del área de influencia, se definirán las posibles relaciones o interacciones que puedan producirse, y en consecuencia, generar potenciales impactos ambientales, tanto positivos como negativos.

En la siguiente Ilustración se presenta la secuencia de pasos metodológicos los que se detallan posteriormente,





La etapa de pre – construcción contiene exclusivamente dos actividades: Proyecto y afectaciones, para las cuales se definen los posibles impactos y se presentan una serie de medidas de mitigación factibles de llevarse a cabo, a fin de minimizar aquellos que resulten adversos. Respecto a los estudios específicos que conforman el proyecto ejecutivo integral, como pudieran ser los geotécnicos, drenaje, pavimento, señalamiento, etc., se considera que persé, no tienen repercusiones en el medio ambiente, puesto que son trabajos de gabinete. Sin embargo, se enfatiza la importancia de un “buen proyecto” mismo que tenderá a minimizar o evitar posibles impactos adversos, versus un mal proyecto, que definitivamente tenderá a incrementar los impactos negativos. La etapa de preparación del sitio, se refiere a las actividades que se llevan a cabo como inicio de la construcción de un túnel. Evidentemente, el desmonte y el despalme son los que mayor impacto tienen en el medio ambiente, por lo que se proponen medidas de mitigación para los efectos adversos en aire, ruido, suelo, microclima, fauna y paisaje. La calidad de la construcción y sus impactos ambientales dependen en alto grado del tipo de terreno, la experiencia de los trabajadores o del contratista y la calidad de la supervisión durante la construcción. Por lo cual el control de calidad durante la construcción puede reducir significativamente las necesidades de mantenimiento, fallas menores en los drenajes o alcantarillas del camino, y como consecuencia disminuirán los impactos ambientales. Se debe evitar en todo lo posible la modificación de terrenos para reducir al mínimo los problemas de drenaje por cambios en la hidrología natural, e implementar un diseño apropiado.

Etapa I: En esta etapa, teniendo en cuenta la legislación ambiental aplicable, se identificarán las partes, obras y acciones específicas del Proyecto, que por su potencial interacción con los componentes ambientales presentes en su área de influencia, podrían constituirse en fuentes de impactos ambientales. En esta primera fase, por tanto, se identifican las fases del proyecto, las obras que se realizarán en ellas y a su vez cada una de las partes, obras y/o acciones consideradas, que son fuentes de impactos potenciales.

Etapa II: En base a actividades que podrían causar impacto, así como también los resultados de la Línea de Base Ambiental, se podrán identificar los componentes ambientales que potencialmente podrían ser afectados por el Proyecto. Este análisis se realiza a partir de una matriz de doble entrada, con las partes, obras, actividades y etapas del proyecto, por un lado, y los componentes ambientales por otro.

Etapa III: Identificación y calificación de impactos de las partes, obras y acciones del Proyecto sobre los componentes ambientales.

ETAPA IV: jerarquización de los impactos ambientales.



#### 5.4 Metodología de calificación impacto Ambiental.

Para la calificación de impactos ambientales se empleará una metodología que considera el valor del componente ambiental, el carácter del impacto, su probabilidad de ocurrencia, la extensión, su intensidad, la duración, la reversibilidad, la tipología y oportunidad de ocurrencia.

Así, el impacto ambiental se define como el producto entre el valor del componente ambiental y la magnitud del impacto, es decir:

$$CAI= VAC * M$$

Dónde:

CAI: Calificación Ambiental del Impacto

VAC: Valor Ambiental del Componente

M: Magnitud del Impacto.

Así, la magnitud de cada impacto se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$M (\text{magnitud})=Ca*(In+Ex+Du+Re+Ac)$$

Criterios: Para definir de la magnitud de los Impactos, se aplican seis criterios de calificación de impactos, adaptados de la “Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental” (Conesa, 1993), los cuales se describen a continuación.

Carácter (Ca): Este criterio indica si un impacto es benéfico o dañino para el componente ambiental receptor. El carácter positivo o negativo de un impacto, aporta respecto de la dirección que presenta el impacto, por lo que no influye significativamente en la valoración de estos.

Intensidad (In): Este criterio refleja el grado de alteración de una variable a causa de una acción del Proyecto, independientemente de la extensión geográfica del impacto.

Extensión (Ex): Este parámetro define la superficie o envergadura del componente afectado por el impacto, es decir, corresponde a la superficie que representa el componente afectado dentro de su área o ámbito de evaluación.

Duración (Du): Este criterio se refiere al período durante el cual permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción. Este criterio, representa una variabilidad en función de los plazos de las actividades del proyecto y que además se relacionan con cada componente, en función de los impactos que se producirían de manera temporal o permanente por parte del Proyecto.



Reversibilidad o Recuperabilidad (Re): Este criterio indica la posibilidad que el componente ambiental afectado revierta o recupere características similares a su condición basal, ya sea naturalmente o por acción de manejo ambiental.

Acumulativo / Sinérgico (Ac): Este criterio se refiere a la forma de interacción con impactos declarados en otros proyectos cercanos que cuenten con Resolución de Calificación Ambiental vigente, aun cuando no se encuentren operando.

SOLO USO ACADÉMICO



## 5.4.1 Valoración ambiental.

El valor ambiental de cada componente es justificado a través de la relevancia de cada uno de ellos, la cual es asignada en función de una serie de atributos identificados durante el levantamiento de la línea de base, que determinan su cualidad o condición de importancia y significación. Los criterios a considerar para determinar el valor ambiental del componente (VAC) son los siguientes:

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
Estado o calidad actual (Eca)	Depende del estado de conservación actual del componente.
Abundancia (Abu)	Depende del nivel de frecuencia o cantidad en el entorno.
Singularidad (Sin)	Depende si el componente presenta características de unicidad, escasez o representatividad.
Fragilidad (Fra)	Depende del grado de vulnerabilidad, sensibilidad y capacidad de adaptación o resiliencia del componente frente a cambios en el entorno.
Significancia (Sig)	Depende de la relevancia del componente para el resto de los sistemas físicos, bióticos, sociales, económicos o culturales.

La escala utilizada para valorar la relevancia o valor ambiental de cada componente es la siguiente:

VAC	VALORACIÓN
Baja	1
Moderada	2
Alta	3
Muy Alta	4

Importante:

Para la valoración ambiental del componente se pueden seleccionar los criterios que se utilizarán eligiendo los más afines al componente o factor que se valorará, por lo tanto, no es un requerimiento de la metodología utilizar todos los criterios por componente.

La siguiente tabla presenta los rangos de valoración de los seis tipos de criterios de calificación de impactos antes descritos:





CRITERIO	RANGOS	CALIFICACIÓN
Ca	Positivo	Se refiere a un impacto benéfico sobre el medio ambiente.
	Negativo	Se refiere a un impacto adverso sobre el medio ambiente que implica un deterioro o degradación de la situación de línea de base en una proyección futura en situación con Proyecto.
In	Baja	Las acciones del Proyecto no modifican significativamente al componente ambiental afectado.
	Media	Las acciones del Proyecto sólo modifican algunas de las características del componente ambiental afectado.
	Alta	Las acciones del Proyecto modifican en forma importante las características propias del componente ambiental afectado.
	Muy Alta	Las acciones del Proyecto modifican en forma muy significativa las características propias del componente ambiental afectado.
Ex	Puntual	El impacto se produce sobre una superficie muy localizada
	Parcial	El impacto incide sobre una superficie intermedia del área.
	Extenso	El impacto se manifiesta en una gran superficie del área.
	Total	El impacto se manifiesta de manera generalizada en toda el área.
Du	Corto plazo	Menos de 1 año.
	Mediano plazo	Entre 1 a 3 años.
	Largo plazo	Entre 3 y 10 años
	Permanente	Más de 10 años.
Re	Reversible	El impacto es reversible mediante la asimilación en el entorno o al funcionamiento de procesos naturales.
	Parcialmente Recuperable	El impacto no se revierte de manera natural después de finalizada la acción que lo genera, pero puede ser recuperado mediante medidas de manejo ambiental.
	Irrecuperable	El impacto no se revierte en forma natural al finalizar la acción que lo genera y tampoco puede ser recuperado mediante medidas de manejo ambiental.
Ac	Nulo	Cuando no hay efecto sinérgico o acumulativo
	Simple	Cuando una acción se manifiesta sobre un solo componente ambiental o cuyo modo de acción es individualizado.
	Acumulativo	Cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes provoca un efecto ambiental equivalente a la suma de los efectos individuales considerados
	Sinérgico	Cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes provoca un efecto ambiental superior a la suma de los efectos individuales.



#### 5.4.2 Identificación de impacto.

- Calidad del aire (atmósfera)

Impacto: “Alteración de la calidad del aire por emisiones de material particulado y de gases de combustión de vehículos y maquinarias de construcción”. Los potenciales impactos previstos para esta variable dicen relación con el aumento de las emisiones de material particulado y gases en el aire, originado por los trabajos a realizar durante la fase de construcción, los que consisten principalmente en actividades de movimientos de tierra, obras civiles, montaje y transporte de insumos y suministros, e involucran el uso de maquinaria, equipos y camiones.

- Niveles de ruido (atmósfera)

Impacto: “Deterioro de la condición acústica existente por incremento del nivel de ruido originado por la construcción del Proyecto”. Durante la fase de obras se prevé un aumento de los niveles de ruido en los receptores sensibles, que corresponden a las viviendas ubicadas en las proximidades de las obras del Proyecto. Lo anterior, debido al aumento en los niveles de ruido por las actividades propias de la construcción de la infraestructura y de sus obras anexas o complementarias.”.

Impacto Alteración de la condición acústica existente del nivel de ruido originado en la fase de operación del Proyecto.

- Geología y geomorfología (litósfera)

Impacto: “Modificación de la geoforma”. La construcción de la vía implicará una transformación de la geoforma como consecuencia de las excavaciones y cortes a realizar durante la fase de obras. La mayor parte del Proyecto discurre de forma soterrada bajo el túnel en mina de la Pirámide, bajo trinchera en la Avenida Américo Vespucio o bajo cajón o túnel falso en cruce del río Mapocho.

- Calidad de las Aguas (hidrósfera)

Impacto: Alteración de la calidad de las aguas durante el proceso constructivo” Durante el desvío del cauce y la implementación del muro se producirá un incremento de la turbiedad de las aguas del río Mapocho. Este potencial impacto se puede producir también durante el cubrimiento del Canal artificial de San Carlos, aunque dado proceso constructivo que consiste en la colocación bloques de hormigón prefabricado, se minimizan las excavaciones necesarias y por tanto los riesgos de derrames de tierras.



- Riesgos Naturales

Impacto: “Potencial alteración de los niveles de riesgos por crecidas como consecuencia de las obras a realizar en el Río Mapocho”. Las obras en el cauce del río Mapocho, que se contempla desarrollar en época de estiaje, para minimizar la posibilidad de fenómenos de crecidas, puede incrementar potencialmente este riesgo ya que contemplan el desvío temporal del curso y la implementación de un muro.

SOLO USO ACADÉMICO



### 5.4.3 Puntuación y calificación por impacto.

Para calificar los impactos ambientales asociados a la construcción del proyecto, se hace por medio de puntuación en base a tablas de valores que se asignaron en el punto 5.4.1.

Previamente se define el impacto a evaluar perteneciente a atmosfera, hidrosfera, litosfera o riesgos naturales, para así obtener la valoración. Este proceso permite evidenciar el nivel de contaminación al impacto producto de las eficientes mitigaciones que dan cumplimiento con los estándares del proyecto.

- Impacto: Alteración de la calidad del aire por emisiones de material particulado y de gases de combustión de vehículos y maquinarias de construcción.  
Componente ambiental: Atmósfera-Calidad del Aire

Valoración Ambiental del Componente (VAC) = 3

La Región Metropolitana está declarada Zona Saturada por Material Particulado Respirable, Partículas en Suspensión, Ozono y Monóxido de Carbono; y Zona Latente por Dióxido de Nitrógeno, mediante D.S. N° 131/1996 del 12 de junio de 1996 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. En consecuencia, se valora la Calidad Ambiental de este Componente como “Alta”. Esto se justifica atendiendo a su relevancia, debido a la fragilidad del componente ambiental, singularidad y su significación reconocida en la existencia de un Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA).



VARIABLE	VALOR	DESCRIPCIÓN
Ca	-1	El carácter del impacto ha sido calificado como "Negativo", ya que durante la fase de obras se producirán emisiones de partículas y gases a la atmósfera como consecuencia de los procesos de excavación, relleno, carga y descarga, transporte de material de construcción y personal, y por la utilización de maquinaria y operación de grupos electrógenos.
In	2	La intensidad del impacto ha sido calificada como "Media", dado que según el estudio realizado, durante los años de la obra las emisiones superan el límite de 2,5 ton/año, y durante los años 2, 3 y 4, las emisiones de NOx, superan el límite de 8 ton/año. Sin embargo, se prevé que la magnitud de las emisiones no generará un empeoramiento respecto a la condición basal, al aplicar el plan de compensaciones que será asumido por el titular del Proyecto.
Ex	2	La extensión del impacto ha sido calificada como "Parcial", lo que corresponde al área de ubicación de las obras.
Du	3	La duración del impacto ha sido calificada como "Largo plazo" dado que afectará al menos a cuatro años de los 48 meses previstos para la construcción de la obra. Una vez que finalicen las obras se volverá a la condición inicial.
Re	2	La reversibilidad del impacto ha sido calificada como "Parcialmente Recuperable", ya que se contempla la aplicación de medidas durante las obras, para reducir las emisiones. Por otra parte las emisiones de material particulado y gases que generará el Proyecto en la etapa de construcción, esta
Ac	1	El efecto de este impacto sobre la calidad atmosférica en relación a otros proyectos o actividades que cuenten con RCA vigente, aun cuando no se encuentren operando, ha sido calificado como "Simple".

Resultados:

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 3

Magnitud: -10

Calificación Ambiental del Impacto (CAI): -30



- Impacto: Deterioro de la condición acústica existente por incremento del nivel de ruido originado por la construcción del Proyecto.

Componente ambiental: Atmósfera-Ruido

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 2

La valoración ambiental de este componente es “Moderada”. Esto es así porque, la situación fónica es un componente de gran significancia social. Sin embargo, al tratarse de un entorno urbano, la situación basal presenta unos elevados niveles de ruido, lo que disminuye la fragilidad de este componente.

VARIABLE	VALOR	DESCRIPCIÓN
Ca	-1	El carácter del impacto ha sido calificado como “Negativo”, ya que durante las obras se produce un deterioro de la condición acústica por las faenas de la obra (excavaciones, tronaduras, construcción de pilotes, etc.) y el uso de maquinaria ruidosa (retroexcavadora, motoniveladoras, rodillo compactador, perforadoras).
In	2	La intensidad del impacto ha sido calificada como "Media" ya que el Proyecto contempla la aplicación de medidas de atenuación, en particular la disposición de pantallas OSB, o la no realización de trabajos con maquinaria ruidosa en superficie durante el periodo nocturno, con la finalidad de que en ningún caso se superen los niveles establecidos.
Ex	2	La extensión del impacto ha sido calificada como "Parcial", lo que corresponde al área de ubicación de las obras. En particular se han identificado 14 receptores sensibles para el Sector 1 y 38 para el Sector 2.
Du	3	La duración del impacto ha sido calificada como “Largo plazo” dado que implica todo el desarrollo de las obras, periodo que se establece como de 48 meses.
Re	2	La reversibilidad del impacto ha sido calificada como “Parcialmente Recuperable”, ya que se contempla la aplicación de medidas durante las obras, para reducir las emisiones.
Ac	1	El efecto de este impacto en relación a otros proyectos o actividades que cuenten con RCA vigente aun cuando no se encuentren operando, ha sido calificado como “Simple”.

Resultados:

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 2

Magnitud: -10

Calificación Ambiental del Impacto (CAI): -20



- Impacto Alteración de la condición acústica existente del nivel de ruido originado en la fase de operación del Proyecto.

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 2

La valoración ambiental de este componente es “Moderada”. Esto es así porque, la situación fónica es un componente de gran significancia social. Sin embargo, al tratarse de un entorno urbano, la situación basal presenta unos elevados niveles de ruido, lo que disminuye la fragilidad de este componente.

VARIABLE	VALOR	DESCRIPCIÓN
Ca	1	El carácter del impacto ha sido calificado como “Positivo”, ya que se generará una mejora de la condición acústica existente por la disminución del nivel de ruido como consecuencia del soterramiento del tráfico.
In	2	La intensidad del impacto ha sido calificada como “Media”. El Proyecto tendrá una importante contribución a la disminución de los niveles de ruido procedentes del tráfico. Los pozos de ventilación, una vez instalados los silenciadores proyectados, no generarán niveles sonoros significativos, estando siempre por debajo de los valores límite establecidos.
Ex	2	La extensión del impacto para todas las obras permanentes y temporales asociadas al camino, ha sido calificada como "Parcial" para todos los sectores, dado que la mejora de la calidad acústica se produce en el entorno de la infraestructura vial.
Du	4	La duración del impacto ha sido calificada como “Permanente”, al aplicar durante toda la fase de operación.
Re	-	A la hora de valorar la reversibilidad del impacto se asigna un valor de 0 a todos los sectores afectados, al tratarse de impactos positivos, no pudiendo caracterizarse este criterio
Ac	1	El efecto de este impacto en relación a otros proyectos o actividades que cuenten con RCA vigente aun cuando no se encuentren operando, ha sido calificado como “Simple”.

Resultados:

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 2

Magnitud: 9

Calificación Ambiental del Impacto (CAI): 18



- Impacto: Modificación de la geoforma  
Componente ambiental: Litosfera- Geología y Geomorfología

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 2

La calidad Ambiental del Componente Geomorfología se califica como Moderada, justificado por la presencia del Cerro San Cristóbal, cerro isla que constituye un elemento de relieve destacable el área del Proyecto. Ahora bien, cabe considerar que el Proyecto incluye áreas urbanas con bajo valor desde una perspectiva geomorfológica.

Litosfera- Geología y Geomorfología		
VARIABLE	VALOR	DESCRIPCIÓN
Ca	-1	El carácter del impacto ha sido calificado como "Negativo", ya que algunas partes de la obra dan lugar a una transformación de la geoforma original.
In	1	La intensidad del impacto ha sido calificada como "Baja" debido a la que mayor parte del trazado del Proyecto discurre de forma soterrada bajo el túnel en mina de la Pirámide, el túnel falso en el cruce del río Mapocho, o la trinchera cubierta en la Avenida Américo Vespucio. Los cortes y rellenos sobre el relieve original son muy escasos.
Ex	1	La extensión del impacto se califica como Puntual, al tratarse de un impacto muy localizado principalmente en el portal norte del túnel de la Pirámide.
Du	4	La duración del impacto ha sido calificada como "Permanente", ya que esta modificación de la geoforma será permanente
Re	3	La reversibilidad del impacto ha sido calificado como "Irrecuperable".
Ac	1	El efecto de este impacto en relación a otros proyectos o actividades que cuenten con RCA vigente aun cuando no se encuentren operando, ha sido calificado como "Simple".

Resultados:

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 2

Magnitud: -10

Calificación Ambiental del Impacto (CAI): -20





- Impacto Alteración de la calidad de las aguas durante el proceso constructivo  
Componente ambiental: Hidrosfera- Calidad de las Aguas

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 2

La valoración ambiental de los cauces intervenidos por el Proyecto, Río Mapocho y Canal San Carlos es Moderada. Los análisis de calidad del agua realizados en el Puente Centenario, determinan que el Río Mapocho cumple los parámetros de la Norma Chilena 1333-1978 para Agua de Riego, salvo para el parámetro Sodio Porcentual. El Canal San Carlos, por su parte, corresponde a un canal artificial que recibe las aguas de lluvia de Santiago oriente.

VARIABLE	VALOR	DESCRIPCIÓN
Ca	-1	El carácter del impacto ha sido calificado como "Negativo", ya que las intervenciones del Proyecto sobre estos cauces supone un incremento de la turbiedad de las aguas.
In	2	La intensidad se valora como Media ya que en el caso del Río Mapocho el Proyecto contempla el desvío de las aguas mediante un muro al objeto de no modificar sus condiciones de calidad durante el proceso de excavación y de construcción del cajón bajo su lecho. El aumento temporal de la turbiedad será asumido con la capacidad de dilución del propio cauce. En el caso del cubrimiento del Canal artificial de San Carlos, el proceso constructivo que consiste en la colocación de bloques de hormigón prefabricado, minimiza las excavaciones necesarias y por tanto los riesgos de derrames de tierras, y de aumento de la turbiedad
Ex	1	La extensión del impacto se califica como Puntual, al tratarse de un impacto muy localizado en la zona de cruce del Río Mapocho y en la zona de implementación de la losa.
Du	1	La duración del impacto ha sido calificada como "Corto plazo" dado que afectará durante un periodo inferior a un año, concretamente durante las actividades de construcción del paso bajo el Mapocho y Cubrimiento del Canal San Carlos que se prevé realizar en ocho meses.
Re	1	Se valora el impacto como Reversible . Los procesos de turbiedad remitirán al finalizar las obras en estos cauces.
Ac	1	El efecto de este impacto en relación a otros proyectos o actividades que cuenten con RCA vigente aun cuando no se encuentren operando, ha sido calificado como "Simple".

Resultados:

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 2

Magnitud: -6

Calificación Ambiental del Impacto (CAI): -12



- Impacto Potencial alteración de los niveles de riesgos por crecidas como consecuencia de las obras a realizar en el Río Mapocho.

Componente ambiental: Riesgos Naturales

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 3

El riesgo de crecida y desborde en el río Mapocho es elevado, por ello y por las implicancias de estos fenómenos en las áreas aledañas, se valora el componente como con valoración ambiental Alta.

VARIABLE	VALOR	DESCRIPCIÓN
Ca	-1	El carácter del impacto ha sido calificado como "Negativo", ya que la intervención en el cauce del Río Mapocho durante las obras en el mismo, puede incrementar el riesgo natural de crecida y desborde.
In	2	La intensidad se valora como Media ya que las obras dentro del cauce del Mapocho se realizarán en época de estiaje, para minimizar la posibilidad de fenómenos de crecidas. Por su parte, durante estas obras se prevé implementar un Protocolo de Alerta Temprana de Crecidas, el cual está definido en el Plan de Prevención de Contingencias y Emergencias.
Ex	1	La extensión del impacto se califica como Puntual, al tratarse de un impacto muy localizado en la zona de cruce del Río Mapocho (aproximadamente 200 m la longitud del cauce intervenido).
Du	1	La duración del impacto ha sido calificada como "Corto plazo" dado que las actividades de construcción del paso bajo el Mapocho se prevén realizar en ocho meses.
Re	1	Se valora el impacto como Reversible mediante la asimilación en el entorno del funcionamiento de los procesos naturales. Tras la finalización de las obras en el Mapocho, éste recuperará sus dimensiones de encauzamiento originales, así como sus gaviones y espigones de protección.
Ac	1	El efecto de este impacto en relación a otros proyectos o actividades que cuenten con RCA vigente aun cuando no se encuentren operando, ha sido calificado como "Simple".

Resultados:

Valoración Ambiental del Componente (VAC): 3

Magnitud: -6

Calificación Ambiental del Impacto (CAI): -18



Los resultados arrojan que el 83,3% de las variables están en el nivel bajo, por lo tanto, refleja un impacto benéfico o positivo (punto 2.3). El reflejo de los avances tecnológicos y la concientización por el medio ambiente, reflejan un avance significativo en la industria de la construcción, tanto para el proyecto AVO como para los que vienen a futuro. El único punto que queda por mejorar es el punto “Alteración de la calidad del aire por emisiones de material particulado y de gases de combustión de vehículos y maquinarias de construcción”. Lamentablemente el uso de gasolina o petróleo para máquinas y autos aún es muy usual en la industria de la construcción. Se espera que prontamente el uso de estas sea mediante electricidad y así la calidad del aire mejore sustancialmente.

VARIABLES AMBIENTALES	MAGNITUD TOTAL	VAC	CAI	JERARQUIZACIÓN
Calidad del aire	-10	3	-30	moderado
Ruido por la construcción	-10	2	-20	bajo
Ruido originado en la fase de operación	9	2	18	bajo
Geología y geomorfología	-10	2	-20	bajo
Calidad de las Aguas	-6	2	-12	bajo
Riesgos Naturales	-6	3	-18	bajo

Tabla resumen de jerarquización de impactos ambientales durante la fase de construcción.



## 5.5 Mitigación de las obras de construcción.

### 5.5.1 Mitigación de la polución.

Cabe mencionar que el Proyecto AVO I, de acuerdo a la Resolución de Calificación Ambiental 471/2017 (califica ambientalmente el Proyecto) se cumple con la normativa ambiental aplicable para las componentes evaluadas. Específicamente para la componente aire en materia de emisiones atmosféricas, la RCA establece el cumplimiento de la siguiente normativa:

Para el control del polvo, producido por la ejecución de las obras, se han establecido las siguientes medidas de control de emisiones atmosféricas en la etapa de construcción: a) Barredora mecánica que lava y aspira el polvo de las calzadas afectadas; b) Barrido manual de los accesos a los frentes de trabajo; c) Limpieza de las calles mediante camión aljibe; d) Instalación de malla raschel en los puntos donde se ejecutan los acopios y movimientos de tierras superficiales; e) Humectación de las áreas de movimiento de tierra, acopio y las vías de circulación 2 veces al día, siempre que las condiciones climáticas presentes lo requieran; f) Control de la velocidad de desplazamiento vehicular al interior de la faena; g) El transporte de materiales se ejecuta en camiones debidamente encarpados con lona impermeable y sujeta a la carrocería para impedir el escurrimiento y fuga de polvo durante su transporte; h) Realización de charlas de capacitación a los trabajadores sobre medidas de control de contaminación atmosférica y optimización del tiempo de funcionamiento de los vehículos, maquinarias y equipos; e, i) Implementación del lavado de ruedas en la salida de los diversos frentes de trabajo.

Control de polvo Uno de los problemas constantes que suceden durante los procesos de movimiento de tierra (y en las operaciones mineras en general) es el continuo levantamiento de polvo. Este aspecto se ha ido cuidando cada vez más en las faenas ya que para las compañías resulta más beneficioso trabajar en un ambiente con menor polución, pues se traduce en menores riesgos de enfermedades respiratorias, así como mejor visibilidad en los caminos, lo que implica mayor seguridad para los vehículos. Las soluciones que ofrece el mercado van desde el tradicional riego con agua de manera permanente mediante camiones aljibe, hasta el uso de otros productos que mantienen el polvo bajo control. Uno de ellos es la bichofita, que es un tipo de sal compuesta principalmente por cloruro de magnesio hexahidratado (97%) y otras sales (3%) y que cuenta con propiedades ligantes, lo que le permite unir las partículas finas estabilizando la carpeta de rodadura. También es higroscópica y puede disolverse en la humedad absorbiendo, además de resistir a la evaporación.



En el mercado también se utilizan polímeros naturales y orgánicos cuyas propiedades les permiten aglomerar las partículas y absorber el polvo, gracias a que transmiten la humedad. El producto (parte de la línea de supresores de polvo de 3M, distribuido por Starmine) se aplica con agua, considerando parámetros como tasa de regadío, dilución y concentración. Otras empresas como Dust A Side, cuentan con emulsificantes que permiten que el polvo se adhiera y se transforme en parte del camino, alcanzando una superficie permanente y resistente gracias al componente bituminoso que se incorpora a la carpeta de rodado. Dentro de las estrategias de control de polvo también se han ido implementando servicios de gestión. Por ejemplo, la misma compañía integra técnicas de limpieza de caminos con una solución de propiedades asfálticas que posee la resistencia para soportar 600 toneladas y ser lo suficientemente flexible para ser reparada sin interrumpir el ciclo operacional de la mina. Esto lo complementa con un sistema de monitoreo de material particulado que entrega información diaria respecto del desempeño, con estaciones de captura fijas y móviles. Dentro de los beneficios de los sistemas de gestión, están el ahorro de agua en riego de caminos, ahorro de combustible en las flotas de alto tonelaje, mayor disponibilidad de caminos y equipos, mayor visibilidad en los caminos y mejora en el ciclo operacional, logrando un rendimiento más alto.

Diversas son las fuentes que existen en una mina, siendo de las más importantes el polvo que se produce en los caminos existentes al interior de la mina, donde circulan tanto vehículos de alto tonelaje cargados con material, como otros menores. Con el tiempo, el control del polvo ha ido cobrando mayor relevancia para las compañías mineras. Trabajar en un ambiente con menor polución trae beneficios para la salud de las personas, pues disminuye las enfermedades respiratorias y, a la vez, resulta clave para la prevención de riesgos, puesto que una mayor visibilidad en los caminos redundaría en mayor seguridad en general en la operación. Asimismo, las comunidades cercanas, que pueden verse afectadas por el polvo de los caminos de acceso o por el polvo que el viento levanta desde las laderas de los cerros, también son actores cuya voz cobra cada vez más fuerza. Tradicionalmente el control de polvo se ha limitado simplemente al riego con agua de manera permanente, mediante camiones aljibe. Una solución que, junto con ser costosa, puesto que el agua en el norte del país es muy escasa y cara, tampoco resulta eficiente en términos globales, señalan los expertos. Sin embargo, actualmente, el desarrollo de tecnologías de control de polvo ha decantado en la generación de productos que se aplican de manera tecnificada y mediante pautas específicas, todo ello asociado a un monitoreo permanente del material particulado. En este sentido, se busca la eficiencia, poder medir cuánto polvo se genera y cuánto polvo es el que se está mitigando.



Uso de la bischofita: La utilización de ésta sal como supresor de polvo es una práctica en la minería chilena desde hace más de 20 años. En ese plano, la empresa SALMAG entrega un servicio integral con desarrollo de ingeniería, que incluyó estudios realizados por DICTUC, que permitieron definir guías técnicas de aplicación y sistemas de monitoreo de polvo. Pero, ¿qué es la bischofita? En términos generales, corresponde a un producto natural, una sal, compuesta principalmente por cloruro de magnesio hexahidratado (97%) y otras sales (3%). Su fórmula química es  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ , se obtiene por evaporación en el Desierto de Atacama y posee diversas propiedades. Entre ellas destaca que es ligante, esto significa que une las partículas finas estabilizando la carpeta de rodadura; es higroscópica, tiene capacidad de absorber la humedad del ambiente cuando es superior a 32%. Por consiguiente, es resistente a la evaporación, ya que reduce la tasa de evaporación del agua hasta 3,1 veces; disminuye la temperatura de congelamiento y es altamente soluble en agua. En términos simples, la bischofita se mezcla con agua y se riega sobre el camino de manera tecnificada y bajo pautas técnicas de aplicación (dosis, velocidad de aplicación). José Tomás Ovalle, gerente general de SALMAG, explica que la bischofita “traspasa agua a los caminos en forma natural y esta agua lo que hace es ligar las partículas finas evitando que el tráfico levante polvo, es decir, mantiene las partículas ligadas producto de que es capaz de absorberla humedad del ambiente”. DustMag es el servicio de gestión y control de polvo en caminos para las mineras que ofrece SALMAG. Ovalle afirma que la empresa se hace cargo de la red de caminos de manera integral. “Tenemos el producto y entregamos la ingeniería, para lo cual ponemos un ingeniero permanente solo enfocado a los caminos que trabaja muy de la mano con la gente de planificación de la mina”, dice. “Nuestros estándares son reducir sobre el 80% el nivel de polvo respecto de la emisión natural de los caminos de la mina y reducir sobre el 90% el consumo de agua destinado a los caminos”. Por ello, el servicio va ligado al cumplimiento de metas en cuanto al ahorro de agua y control de polvo. “Las mineras nos pasan una red de caminos y definimos niveles de servicio asociados principalmente a dos aspectos: emisión de polvo (PM 10) y ahorro de agua”, dice Ovalle. La medición de polvo se hace con equipos y la metodología establecida a partir de estudios que realizaron en conjunto con DICTUC. “En general, con agua se riega 4 a 5 veces al día.

Con bischofita bien aplicada y con adecuado control, un camino puede pasar perfectamente una semana o dos sin necesidad de otro riego. El camino principal puede que dure 4 días por el alto tránsito que tiene”, ejemplifica Ovalle. El periodo de mantención (entre riego y riego) es variable y depende, por ejemplo, del tipo de camino, el tránsito o la cercanía de una fuente fija (por ejemplo, pala de carguío). Otros beneficios que destaca SALMAG son el aumento de la producción de la mina y ahorro de camiones destinados al riego. Esto porque –comenta Ovalle– en la gran minería los camiones dedicados al riego con agua son 4 o 5 y ahora se requiere solo uno.



Además, hay sobre un 10% de mejora en las horas de duración de los neumáticos. Esta empresa también ha desarrollado otra línea de aplicación con bischofita que es la estabilización de caminos básicos. Su producto se denomina RoadMag y permitiría estabilizarlos con un bajo costo (en comparación con el pavimento) y alto estándar. “El 35% de los caminos que maneja vialidad en la región de Atacama están contruidos con nuestro producto”, detalla Ovalle. También los caminos de acceso de varias compañías mineras, han sido estabilizados con RoadMag. Ovalle asevera que la bischofita es un aditivo, que en general, es inocuo, no es reactivo, tóxico ni corrosivo, pero que en grandes cantidades un derrame podría afectar las plantas, ya que los cloruros son dañinos para éstas, por lo que es importante su correcta aplicación.

Emulsión bituminosa Dust A Side, empresa multinacional de origen sudafricano, que inició sus operaciones en Chile en 2010 y cuyo supresor de polvo consiste en una emulsión bituminosa, que se caracteriza por “encapsular el polvo”, representa otra alternativa para dar solución a este problema. Su componente principal es el bitumen, que se genera a partir de la base no extraída del crudo, por tanto, es un derivado de hidrocarburo no petroquímico. La aplicación de emulsión bituminosa es un proceso tradicional de estabilización de camino y limpieza permanente. Se mezcla con agua, se aplica con un camión aljibe y, cuando el agua se empieza a evaporar, se separa de la solución y se comienza a formar la carpeta. Posteriormente, se compacta con el peso de los equipos o con compactación mecánica externa y se limpia y barre permanentemente. Esta solución permitiría que el camino no genere más polvo, porque la emulsión “encapsula” la superficie. Posteriormente, cuando ya queda suave como la superficie de una mesa, empieza a capturar el polvo. La carpeta va a capturar el polvo hasta que ya sus propiedades de supresión no atrapen más”, afirma; añadiendo que luego, cuando sea necesario, se vuelve a regar con dosificaciones de mantención. Es una película ligera sobre la superficie que se va enriqueciendo con las mantenciones. Tiene la resistencia para soportar hasta 600 toneladas. A ello, se suma una unidad ambiental con ingenieros que permanentemente realizan informes para medir el desempeño. Se miden las emisiones de material particulado. Una de las ventajas del control de polvo, tiene que ver con generar un entorno más saludable para los trabajadores y una operación más segura.



### 5.5.2 Mitigación de ruido y vibraciones.

Nuevas tecnologías en el proyecto no solo habla de maquinaria, también trata de la forma de mitigar el ruido y problemas acústicos que trae a la población las obras de construcción.

Para la obtención de las características acústicas y vibratorias del área del proyecto, fue necesario, en primer lugar, identificar los puntos receptores sensibles de las emisiones de ruido y vibraciones en las etapas de construcción y operación del proyecto. Para ello se han estudiado las zonas residenciales y de habitación, establecimientos comerciales, educacionales, culturales y actividades turísticas existentes en la zona de influencia del trazado.

Para realizar una adecuada caracterización acústica del territorio, se han definido zonas homogéneas de ruido en base a los siguientes criterios: Presencia de receptores sensibles de características similares y características de las fuentes de ruido.

Durante los días 25, 26, 27 y 28 de agosto y 2 de septiembre de 2015 se realizaron mediciones del Nivel de Presión Sonora Equivalente (NPSeq) en dB(A) tanto en horario diurno como en horario nocturno, en aquellos puntos establecidos como receptores sensibles y de acuerdo a la normativa aplicable. A continuación, se describen los principales aspectos de la metodología empleada en la realización de las mediciones sonoras:

- Los puntos de medición se ubicaron en la ubicación más cercana posible a los receptores seleccionados. En los casos en que no fue posible acceder a los receptores, se realizaron las mediciones en el punto más cercano en dirección al trazado del proyecto.
- En total, para cada uno de los 12 receptores considerados se realizaron 3 mediciones de ruido, una en periodo peak (7 a 10 horas), otra en periodo valle (10 a 18 horas) y otra en periodo nocturno (22 a 7 h), haciendo un total de 36 mediciones de ruido.
- Las medidas han sido realizadas según el método para caracterizar el ruido de fondo descrito en artículo 19 del Decreto Supremo N° 38/2011 del MMA.
- De este modo, se ha realizado una medición continua del NPSeq en cada punto, registrándose los valores cada 5 minutos hasta que la lectura se considera como estable (diferencia de 2 dB o menos entre dos lecturas consecutivas), y redondeando el último valor registrado a números enteros.
- Se ha registrado asimismo los valores NPSmin y NPSmáx (máximo y mínimo de todos los valores registrados).





- Para las mediciones de ruido se utilizó un sonómetro integrador promediador de Clase 1 Cesva SC101. El instrumento fue debidamente calibrado antes y después de realizar las mediciones mediante el uso de un calibrador acústico. En el Apéndice 4 se incluye el certificado de calibración del sonómetro.
- El sonómetro se ubicó a 1,5 m en su eje vertical del suelo y, en lo posible, a 3,5 m de cualquier superficie reflectante en su eje horizontal (paredes, muros, ventanas).
- Las mediciones se han realizado en condiciones meteorológicas estables. Por lo tanto, no se han tomado medidas con lluvia, hielo o granizo.
- Se ha evitado la grabación de ruidos ocasionales y no representativos (ladridos, bocinas, etc.).
- De forma simultánea a las mediciones de ruido se han realizado conteos de los vehículos que circulaban por las vías más cercanas, diferenciando entre ligeros y pesados.



*Ilustración 26 Medición de ruido por sonómetro*

Una vez calculados los niveles de sonido, se obtuvieron los promedios diferencias obtenidas y esperadas, dicho promedio será el factor de corrección del perfil característico.

Para disminuir los ruidos con los resultados que se obtienen de la medición de ruido, en los trabajos en superficie se han modelizado pantallas OSB de 2,4 y 3,6 m, a fin de decidir la altura mínima necesaria, y en los trabajos subterráneos se han modelizado pantallas de 2,4 m de altura y 100 m de longitud en las rampas de entrada a los piques, y la instalación de silenciadores acústicos en los ventiladores que proporcionen una reducción de 10 dBA

Como ya hemos mencionado con anterioridad el proyecto presenta tecnologías que permiten la fácil identificación de componentes que alteran la vida normal de los ciudadanos, tales tecnologías fueron aplicadas con un modelo ión del modelo en 3D con el software de predicción sonora CadnaA (Computer Aided Noise Abatement) de la empresa alemana Datakustik en su versión 4.0.



El software utilizado incorpora todas las variables físicas de geomorfología y las características de emisión acústica de los componentes principales del proyecto, permitiendo estimar la propagación sonora desde el proyecto hacia las viviendas cercanas. El modelo de cálculo empleado para la propagación del ruido una vez definido el nivel de emisión sonora en las obras, es la Norma ISO 9613, que considera las atenuaciones por divergencia geométrica, aire, atmosférica, de suelo, barreras, reflexiones sonoras y follaje, siendo éstas las principales variables físicas que se presentan durante la propagación de las ondas sonoras. El mapa de ruidos que se obtiene es el resultado de numerosas triangulaciones de cálculo basadas en elementos finitos, que consideran las características acústicas de la fuente sonora y las variables físicas que existen en la propagación sonora entre la fuente y el receptor.

Los datos de entrada al modelo han sido los siguientes:

- Cartografía digital 3D a escala 1:1000, a partir del vuelo cartográfico realizado en el área de estudio. Esta cartografía detallada garantiza una perfecta definición del terreno, quedando definidos los taludes, desmontes y obstáculos significativos acústicamente con una precisión de 1m
- Pantallas. Se introducen en el modelo 3D como obstáculos entre el emisor y el receptor, considerando los coeficientes de absorción correspondientes al tipo de material. De este modo, se han introducido en el modelo tanto las barreras existentes actualmente como las pantallas acústicas que, en su caso, se propongan.
- 

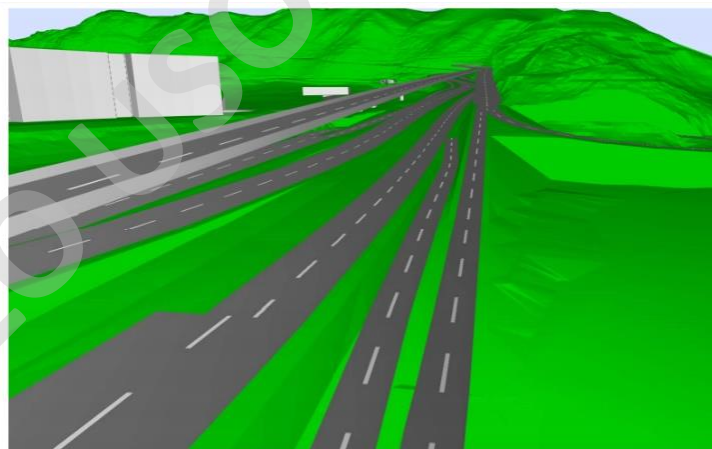


Ilustración 27 Vista 3D

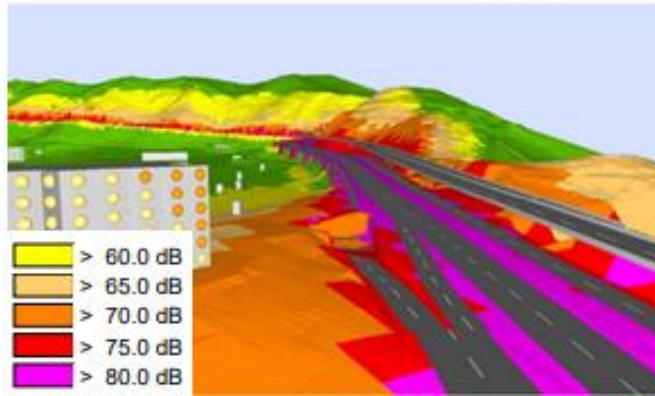


Ilustración 28 Vista de ruido 3D

En los planos de planta se representa mediante isófonas de distintos colores el nivel de ruido referido a una altura de 1,5 metros del suelo, mientras que los valores numéricos corresponden al máximo valor de inmisión de cada receptor en estudio considerando todos los pisos.

De manera complementaria, cuando puntualmente sea necesario ocupar maquinaria ruidosa como generadores portátiles, motobombas, compresores, equipos betoneros, aserradoras de madera o de fierros, rotorpercutores, soldadoras o similares, estas se ocuparán dentro de cierros realizados mediante sistemas de paneles conformados por madera OSB, maciza, lamina de acero o equivalente que presente una densidad superficial mínima de 15 Kg/m<sup>2</sup>. Estos cierros tendrán las dimensiones adecuadas para rodear a la fuente de ruido y si fuera necesario se dispondrá una cubierta de este mismo material con el objeto de rodear a la fuente de ruido. Estos cierros se montarán lo más próximo a la actividad emisora de ruido en dirección a los receptores.

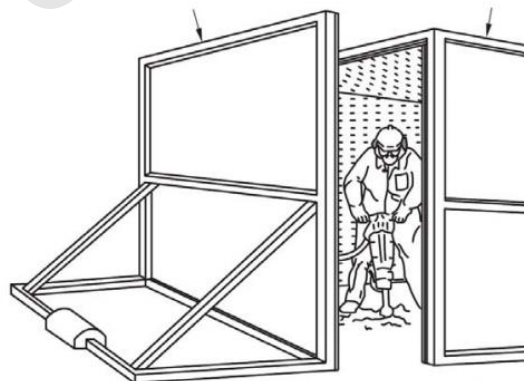


Ilustración 29 Modelo de semicierro para martillo neumático



Además de las medidas preventivas especificadas anteriormente, durante la realización de las obras se implementarán medidas prácticas tendentes a disminuir los niveles de ruido en los receptores próximos. En particular, se implementan las siguientes medidas:

- Involucrar al personal en el control de ruidos molestos e instruirlo respecto a los métodos correctos de trabajo y de uso de equipos y herramientas.
- Ubicar las faenas más ruidosas (banco de sierras, cortes de fierro, limpieza de molduras...) en los sectores y ubicaciones más alejados de los receptores.
- Utilizar maquinaria de última generación (baja emisión acústica) disponible en el mercado, y que cuenten con silenciadores.
- Utilizar correctamente los equipos que tengan por defecto sistemas de control de ruido, como por ejemplo no abrir compuertas de maquinaria que cuenten con cabina de insonorización.
- Realizar controles bimensuales de motores, para controlar el buen funcionamiento de estos.
- Mantener apagado el motor de los equipos que estén ociosos, especialmente el de los camiones durante el periodo de espera de descarga.
- Impedir que los camiones betoneros circulen con la canaleta de descarga suelta.
- Emplear recubrimientos de goma u otro material de similares características, para rampas y toboganes, evitando el contacto entre los metales.
- Ejecutar un plan especial de información con la comunidad a objeto de mantenerla permanentemente informada de los posibles aumentos puntuales del nivel de presión sonora. Una semana antes de que comience el movimiento de tierras y áridos deberán entregarse volantes con información relevante para la población aledaña. Información como: nombre del proyecto, lugar de las faenas, distancia entre las faenas y la población, tiempo de duración de faenas, horario de trabajo, nombre de los encargados de las faenas, etc. Resulta especialmente relevante la información sobre la duración de las faenas más ruidosas, ya que éstas suelen ser más toleradas cuando son de corta duración.



## 6 Desafíos a futuro.

Actualmente no hay a disposición equipos 100% aptos para el desarrollo de infraestructuras subterráneas, ya que interfieren mucho en los procesos mineros, para ello se necesita de una construcción de túneles de calidad y segura.

La construcción subterránea sigue mostrando gran potencial en el sector, donde uno de los grandes desafíos que debe abordar es la incertidumbre geológica y su comportamiento asociado, en el sentido que numerosos problemas (constructivos, legales) tienen que ver con encontrar condiciones diferentes a las esperadas produciendo altos sobrecostos y sobretiempos. La industria busca disminuir la incertidumbre a niveles aceptables, así como a tener la flexibilidad de modificar los diseños de ingeniería a las condiciones reales y concretas del proyecto. La importancia de avanzar, desde los métodos de diseño y fortificación empíricos a método que utilicen modelos con las condiciones específicas y reales de las obras.

Junto a lo anterior, se debería estimular la formación, preparación y capacitación a nivel técnico y profesional que aporte en mano de obra calificada para trabajos específicos para el área de proyectos subterráneos. Se podría dar mayor relevancia y más créditos desde lo académico, ampliar la oferta de cursos, post grados, especialización en general ya que, con mejor y mayor distribución del conocimiento, mejoren los estándares de construcción y calidad.

Por último y no menos importante se espera avanzar en una “descentralización” de la construcción subterránea, evaluando factibilidad de proyectos en las regiones que podría usar alternativas de descongestión y crecimiento bajo tierra.

Es importante, por lo tanto, que se promueva la innovación tecnológica en la industria de la construcción, mediante la incorporación de la filosofía de innovación entre los estudiantes, profesionales, y empresarios de la industria de la construcción. Es necesario, que se divulguen las diferentes oportunidades de negocios que la innovación tecnológica puede ofrecer, y que se planteen recomendaciones concretas para la innovación tecnológica en la construcción, en donde se enfatizen las ventajas que las empresas puedan obtener de las innovaciones, y el rol que éstas ocupan en el desarrollo de Chile.

## 7 Conclusiones.

- El continuo desarrollo de las grandes ciudades está produciendo escases de suelo donde seguir construyendo, por lo que la búsqueda de alternativas se intensifica. Es así como la construcción subterránea muestra su potencial para llevar a cabo diversos tipos de proyectos que satisfagan distintas necesidades. Con metodologías constructivas características y técnicas que avanzan en búsqueda de mayor seguridad, productividad, y cuidado medio ambiental. Es así como se pudo describir la forma de construcción más antigua, haciendo un recorrido de tecnologías hasta llegar a la que hoy presenta el proyecto AVO.
- El proyecto de la Región metropolitana ha sido el foco de las nuevas tecnologías en túneles desde que empezaron las primeras propuestas. La industria de la construcción es uno de los sectores más importantes de la economía de Chile. Actualmente, constituye aproximadamente el 6,4% del Producto Interno Bruto de la economía chilena

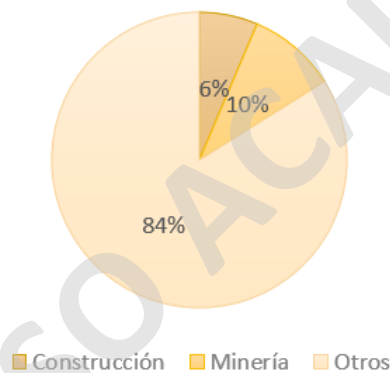


Ilustración 30 Participación de la construcción en la economía de Chile

- El mercado de la construcción tiene una importancia muy relevante dentro de la economía chilena: es un sector que atraviesa transversalmente la económica, pues “produce” la infraestructura física en casi todos los sectores económicos; en sí mismo tiene una participación muy relevante dentro del producto y la inversión nacional. De hecho, estas características del sector de la construcción en Chile son prácticamente idénticas a las que se reportan en muchos otros países, particularmente los desarrollados.



- La gran diferencia al construir con las maquinas ya mencionadas, es principalmente como ha disminuido la contaminación ambiental, bajar el peligro y ejecutar el proyecto en mucho menos tiempo. El importante reconocer que para que lo avances tecnológicos funcionen, siempre se tienen que hacer nuevos estudios, si el tiempo cambia, la tecnología cambia, ya que esta se adapta a las nuevas necesidades del rubro. En la mayoría de los casos el adecuado uso del ciclo de Deming da proyección de un país más desarrollado en la industria de la construcción.
- La utilización de excavación mecanizada mediante máquinas tuneladoras TMB, tiene costos monetarios que aún están sobre los que tienen las excavaciones convencionales. Pero el costo monetario a largo plazo, no se ve perjudicado si es que hay otro tipo de beneficios y ventajas que presentan las tuneladoras usadas en el proyecto. Estos beneficios son descritos como baja y control de polución, disminución en la interrupción normal del flujo vehicular, seguridad para quienes trabajan en la construcción de túneles y proyección de vida útil más extensa. Por lo tanto, el buen uso de estas máquinas genera una excavación eficiente y logra satisfacer las necesidades de Chile como un país minero.
- Cabe mencionar que, si bien es una tecnología que favorece bajo cualquier punto de vista, lo importante de tener mano de obra calificada o con experiencia en trabajos tuneleros, puesto a que los riesgos y dificultades asociadas a la excavación y construcción son altos por lo que no solo deben ser estos controlados por el personal calificado, sino que también por el mismo personal que se encuentra ejecutando el trabajo.
- En un futuro próximo las TBM serán mucho más fiables y se adaptarán a cualquier tipo de terreno. Si a esto le añadimos la reducción del coste que se espera, el gran rendimiento que tienen y el mayor grado de seguridad que proporciona a los trabajadores, se podría asegurar que su utilización aumentará significativamente en los próximos años.
- En los últimos años, han surgido iniciativas a nivel mundial para que la industria de la construcción considere el respeto y la protección del medio ambiente en toda su cadena de valor. Hablar del proyecto AVO indica que la industria de la construcción tiene acciones concretas e interés en desarrollos que demuestran el compromiso con la conservación del medio ambiente. Se espera que sirva como guía y que sea pionero en el respeto y concientización por el medio ambiente.
- Como signo de progreso y conclusión en base a los resultados obtenidos en la calificación del impacto, se demuestra que el sector de la construcción produce impactos adversos masivos, tanto directa como indirectamente sobre medioambiente.



- En este informe se presentaron solo las observaciones relevantes de los impactos ambientales establecidos en la etapa de construcción y se espera que una vez puesta en marcha el proyecto se pueda evaluar la reducción de ruido favoreciendo el impacto ambiental.
- De este modo se ha podido concluir que la contaminación aumenta, el planeta se destruye, la tecnología avanza y es obligación continuar haciendo estudios para poder avanzar en la mitigación y visualizar los costos en beneficio que implica construir con conciencia.

SOLO USO ACADÉMICO





## 8 Bibliografía y Webgrafía.

- Historia del uso de tunelización alrededor del mundo. Rescatado de:  
<https://northeastmaglev.com/2019/07/16/tuneles-y-transporte-una-historia-del-uso-de-tunelizacion-alrededor-del-mundo/?lang=es>
- Noticia impacto ambiental. Rescatado de:  
<https://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/columnas/2018/06/13/modificacion-del-seia-una-historia-repetida-sobre-a-quien-beneficiar-y-perjudicar/>
- Historia del impacto ambiental. Rescatado de:  
[http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120397/Evaluacion\\_de\\_Impactos\\_Ambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120397/Evaluacion_de_Impactos_Ambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Definición impacto ambiental. Rescatado de:  
[https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36095147/Evaluacion\\_impacto\\_ambiental-Garmendia\\_1\\_1.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DEvaluacion\\_de\\_impacto\\_ambiental.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191003%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20191003T222147Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=4fd072e39ec23882737118863cf6c1ac69661097e1bfa77cff8b0eabf10eac9d](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36095147/Evaluacion_impacto_ambiental-Garmendia_1_1.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DEvaluacion_de_impacto_ambiental.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191003%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20191003T222147Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=4fd072e39ec23882737118863cf6c1ac69661097e1bfa77cff8b0eabf10eac9d)
- Clasificación impacto ambiental. Rescatado de:  
[http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120397/Evaluacion\\_de\\_Impactos\\_Ambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120397/Evaluacion_de_Impactos_Ambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Métodos constructivos en roca. Rescatado de:  
<https://blog.structuralia.com/metodos-de-excavacion-de-tuneles-perforacion-y-volidura>
- Manejo de explosivos. Rescatado de:  
[https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G3\\_ManejoExplosivos.pdf](https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G3_ManejoExplosivos.pdf)
- Porqué construir subterráneo. Rescatado de:  
<https://rosachandia.wordpress.com/2013/11/20/arquitectura-y-territorio/>
- Maquinas NATM. Rescatado de:  
<http://www.configura.cl/metodologia-natm/>  
<https://mineriayconstrucci0.wixsite.com/luis/single-post/2017/10/06/METODOLOG%3%8DA-DE-CONSTRUCCI%3%93N-de-t%3%BAneles-BAJO-NATM>



- Maquinas TBM. Rescatado de:  
<https://hormigonaldia.ich.cl/maquinarias/tunnel-boring-machine-tbm-ahora-es-el-momento/>  
<http://www.construccionminera.cl/desafios-para-el-sector-desarrollo-de-la-construccion-subterranea/#.XdWjeOhKg2x>
- Datos del proyecto AVO. Rescatado de:  
<http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=501036>
- Información túneles en general. Rescatado de:  
[http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual\\_Tuneles/CAP07.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_Tuneles/CAP07.pdf)
- Manual de carreteras. Rescatado de:  
<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/manualdecarreteras/Paginas/default.aspx>

SOLO USO ACADÉMICO



## ANEXOS

---

- i Real Academia Española de la Lengua
- iiii Publicado en el último número de la Revista Ingeniería de Construcción, editada por el Departamento de Ingeniería de la Construcción de la Escuela de Ingeniería UC.
- iii National Environmental Policy Act – NEPA.
- iv Balance Nacional de Energía del Ministerio de Energía.
- v Informe Brundtland de la Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo (Naciones Unidas, 1987),
- vi Publicado en el último número de la Revista Ingeniería de Construcción, editada por el Departamento de Ingeniería de la Construcción de la Escuela de Ingeniería UC.
- vii Grabado extraído de la obra de De Re Metallica del autor alemán Georgius Agricola.
- viii Patrimonio Cultural de Aragón, La Mina (Daroca, Zaragoza)
- ix Ingeoexpert, túnel del Canal de la Mancha.
- x Sernageomin. Guía n°3 de operación para la pequeña minería manejo de explosivos
- xi ley N° 18.695 orgánica constitucional de municipalidades  
<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=251693>.
- xii Sernageomin, Accidentes fatales y graves en la minería chilena.
- xiii Rosa Chandía-Jaure. Arquitecto. Arquitectura y territorio 2013.
- xiv Diego Pini, director Infraestructuras de ACCIONA. 7 octubre, 2019 hormigón al día. Tunnel Boring Machine (TBM):
- xv Diario la tercera, julio 2017 datos del proyecto
- xvixvi Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión decreto supremo no. 93 de 1995, ministerio secretaria general de la presidencia de la republica (26.10.1995)