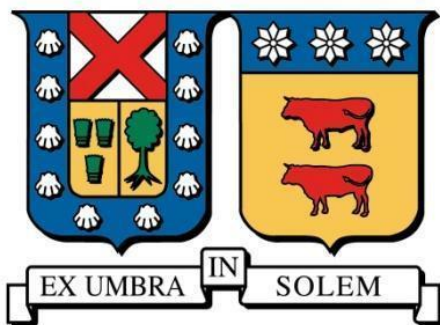


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES

SANTIAGO – CHILE



**EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE PLANIFICACIÓN DE LA
PREPARACIÓN MINERA**

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL DE MINAS

Presentado por

VALENTINA RAYEN RODRÍGUEZ GUZMÁN

Profesor Guía

Ing. Carlos Hunt Recabarren

DICIEMBRE 2021



AGRADECIMIENTOS

Inicio agradeciendo a mi padre, Rigoberto, a mi madre, Margarita y a mis hermanas Camila y Belén, ya que gracias a mi familia estoy donde estoy. Gracias por permitirme ser una mujer libre y por brindarme las herramientas para ser la profesional, que estoy a punto de ser. Los amo y son todo para mí, nunca lo olviden. A mis padrinos Williams y Gisela, por siempre estar en mi camino junto a mis primas. Son mi segunda familia y siempre lo serán, gracias por ser parte de este proceso y de toda mi vida.

A mis amigos de la vida: por el apoyo mutuo desde hace 10 años. Hemos crecido, reído, llorado, pero siempre juntos y espero que siga siendo así. Gracias Javi H y Matías porque ustedes siempre estuvieron en mi camino santiaguino. También gracias a Javi Paz y Pablo por el apoyo desde Rancagua. Gracias Cristian por siempre entender lo importante que era la universidad para mí, este logro también te lo dedico a ti querido amigo, donde sea que estés.

Quiero agradecer también a quienes me he topado en términos laborales comenzando por JP (Juan Pablo Vergara): Fuiste mi primer jefe y eso nunca lo olvidare, gracias por seguir enseñándome en este largo camino académico y laboral, espero que este último nos vuelva a reencontrar. Agradezco también a Nolberto Vega: mucho de este trabajo te lo debo a ti y a tus enseñanzas tanto académicas como del mundo laboral, me enseñaste mucho Nolbert, enserio gracias. Finalmente, pero no menos importante, gracias a Eduardo Viera Quezada, mi último jefe como estudiante, pero mi primer líder en la vida. Gracias por creer en mí, por darme la posibilidad de crecer y por todas las enseñanzas que me dejó.

Finalmente agradezco a quienes me tope en estos 7 años universitarios partiendo por quien ha sido mi compañero durante este proceso de titulación: Gracias Simón por dejarme llorar, rabiarse, colapsar, reír y celebrar a tu lado, tu apoyo ha sido muy importante en esta memoria y en mi vida. Gracias Charly: eres único e inigualable, gracias por acompañarme cuando pensé que no lo harías. A mis amigos Nico y Carla: agradezco mucho su amistad muy pura, sigámosla cultivando por todo el tiempo que podamos. Gracias también a los profesores Alexis Barry, Ana Rojas y Carlos Hunt: en algún punto marcaron un hito en mi carrera, gracias por marcar esos momentos que me hicieron crecer como persona o profesional.



RESUMEN

La preparación minera corresponde al área que tiene la responsabilidad de gestionar las actividades relacionadas con el desarrollo y construcción de infraestructura de una mina subterránea. En esta línea, la planificación de la preparación minera es el área encargada de planificar las distintas obras y desarrollos a realizar a lo largo del proceso de un sector productivo, en donde para una mina explotada mediante el método Panel Caving con hundimiento convencional, una de las restricciones básicas corresponde a la realización de obras fuera de la zona donde se concentran los esfuerzos (zona de transición), con el objetivo de disminuir la exposición de los trabajadores.

En este sentido, este trabajo busca evaluar la ejecución de la preparación minera mediante diversos escenarios que se basan en la variación de los rendimientos en las obras y desarrollos planificados para el quinquenio comprendido entre los años 2022 y 2026. Esta variación en los rendimientos se realizará mediante la aplicación de tres casos de estudio: El primer caso, en donde se considera un cumplimiento del 75% de las obras planificadas, un segundo caso que considera un cumplimiento del 65% de las obras planificadas, y un tercer caso en donde se considera un cumplimiento de un 110% respecto a los rendimientos considerados para las obras planificadas para los niveles de hundimiento, producción y ventilación. Para el nivel de acarreo se tienen como valores 85%, 75% y 110% respectivamente. De este modo, mediante la implementación del software Mine24D se busca comparar los avances anuales y las obras realizadas dentro de la zona de transición que presentarían una detención en el frente de hundimiento debido a riesgos asociados a la posibilidad de generarse un estallido de roca.

Dado los resultados, se determina que el nivel de hundimiento no presenta riesgos de seguridad para ninguno de los casos estudiados. El nivel de producción presenta obras dentro de zona de transición para los casos 1 y 2 para desarrollos verticales, muros de confinamiento y carpeta de rodado. En el caso del nivel de acarreo, este presenta riesgos de seguridad para los casos 1 y 2 en desarrollos verticales. En subnivel de ventilación presenta riesgos de seguridad debido a desarrollos horizontales para los casos 1 y 2 (65% y 75% de cumplimiento).

En base a lo anterior, se recomienda continuar con la profundización del estudio variando rendimientos y obras en estudio por nivel, ya que permitiría conocer los posibles escenarios del avance de la preparación minera.



ABSTRACT

Mining preparation is the area that has the responsibility of managing activities related to the development and construction of the infrastructure of an underground mine. In this line, mining preparation planning is the area in charge of planning the different works and developments to be carried out throughout the process of a productive sector, where for a mine exploited using the Panel Caving method with conventional subsidence, one of the basic restrictions correspond to carrying out works outside the area where efforts are concentrated (transition zone), with the aim of reducing worker exposure.

The following work seeks to evaluate the execution of mining preparation through different scenarios that are based on the variation of the performance in the works and development planned for the five-year period between 2022 and 2026. This variation in performance will be carried out through the application of three cases of study: The first case, in which a fulfillment of 75% of the planned work is considered, a second case that considers a fulfillment of 65% of the planned work, and a third case that considers a fulfillment of 110% of the planned work for the undercut, production and ventilation levels. These values vary for the transport level being 85%, 75% and 110% respectively. In this way, by implementing the Mine24D software it is sought to compare the annual progress and the works carried out within the transition zone that presents a detention in the undercut's brow due to risks associated with the possibility of generating a rock burst.

Given the results, it is determined that the undercut level do not present risks associated with works within the transition zone for any of the cases studied. The production level present works within the transition zone for the cases with 65% and 75% for vertical developments, confinement walls and granular layer. In the case of transport level, this presents security risks for cases 1 and 2 in vertical developments. The ventilation sublevel presents risks associated due to the horizontal development realized inside the transition zone with 65% and 75% of fulfillment

Based on the above, it is recommended to continue the investigation of this study further by varying the performance and works by level, since it allows to know the possible scenarios of the advance in mining preparation.



GLOSARIO DE SIGLAS

Tabla 0.1 Glosario de términos abreviados utilizados para la realización de este documento.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
SPL	Superintendencia de Planificación
Cía.	Compañía
GRMD	Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo
GPRO	Micro metros
GOBM	Gerencia de Obras Mina
PND	Plan de Negocio y Desarrollo
DET	División El Teniente
ZT	Zona de transición
NH	Nivel de Hundimiento
SNV	Subnivel de Ventilación
NA	Nivel de Acarreo
NP	Nivel de Producción
DH	Desarrollos Horizontales
DV	Desarrollos Verticales
MC	Muros de Confinamiento
CR	Carpeta de Rodado
PC	Panel Caving



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Introducción general	1
1.2 Definición del problema	1
1.3 Resultados esperados	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivos específicos	2
1.5 Alcances.....	3
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Generalidades	4
2.2 Método Panel Caving	4
2.2.1 Estrategias de hundimiento.....	7
2.2.2 Criterios de secuencias de explotación	8
2.3 Preparación minera en División El Teniente	11
2.3.1 Excavaciones Mineras	12
2.3.2 Obras Civiles	13
2.3.3 Montaje de infraestructura	14
2.4 Planificación de Preparación Minera.....	14



2.4.1	Programas de Largo Plazo	15
2.4.2	Programas Quinquenales	15
2.4.3	Programas de Corto Plazo	15
3.	METODOLOGÍA.....	18
3.1	Recopilación de información y creación de modelos.....	18
3.2	Determinación de caso base.....	18
3.3	Definición casos de estudio	19
3.4	Modelación, resultados y análisis.....	19
4.	RESULTADOS Y ANALISIS DE CASOS	21
4.1	Nivel de hundimiento	21
4.2	Nivel de producción.....	25
4.3	Nivel de Acarreo.....	43
4.4	Subnivel de ventilación.....	49
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1	Conclusiones	54
5.2	Recomendaciones	55
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	ANEXOS	59
	Software Mine24D (A)	59
	Caso Base (B)	59
	Limpieza de datos (C).....	60
	Estadística de datos (D)	61



Tablas resultado Nivel de Hundimiento (E)	62
Tablas resultado Nivel de Producción (H).....	62
Tablas resultado Nivel de acarreo (G)	66
Tablas resultado Subnivel de Ventilación (F)	68



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1: Principales labores relacionadas al método Panel Caving mecanizado (Brown 2003).</i>	5
<i>Figura 2.2: Comportamiento de los esfuerzos en distintas zonas según los frentes del método Panel Caving (Lobiano, 2016).</i>	6
<i>Figura 2.3: Variante del Método Panel Caving Hundimiento Convencional (Programa de Inducción PNNM, 2018).</i>	7
<i>Figura 2.4: Variante del Método Panel Caving Hundimiento Previo (Programa de Inducción PNNM, 2018).</i>	8
<i>Figura 2.5: Variante del Método Panel Caving Hundimiento Avanzado (Programa de Inducción PNNM, 2018).</i>	8
<i>Figura 2.6: Geometrías de frente en un block/panel caving. Fuente: (Laubscher 2000).</i>	10
<i>Figura 2.7: Esquema de medición del ángulo de extracción. Fuente: (Salgado 2009).</i>	11
<i>Figura 4.1: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de hundimiento con un rendimiento del 75%.</i>	21
<i>Figura 4.2: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el NH hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	22
<i>Figura 4.3 Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de hundimiento con un rendimiento del 65%.</i>	23
<i>Figura 4.4: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el NH hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	24
<i>Figura 4.5: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de hundimiento con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.</i>	24



<i>Figura 4.6: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el NH hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4.7: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 75%.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4.8: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4.9: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 65%.</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4.10: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.11: Distribución anual de desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4.12: Vista isométrica de los desarrollos horizontales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.13: Distribución anual de los desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 75%.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.14: Vista isométrica de los desarrollos verticales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4.15: Distribución anual de los desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 65%.</i>	<i>32</i>



<i>Figura 4.16: Vista isométrica de los desarrollos verticales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4.17: Distribución anual de desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4.18: Vista isométrica de los desarrollos verticales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado y delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4.19: Distribución anual de los muros de confinamiento planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 75%.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4.20: Vista en planta de los muros de confinamiento estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 4.21: Distribución anual de los muros de confinamiento planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 65%.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4.22: Vista en planta de los muros de confinamiento estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4.23: Distribución anual de los muros de confinamiento planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4.24: Vista en planta de los muros de confinamiento estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4.25: Distribución anual del avance en metros de la carpeta de rodado planificado y estimado para el nivel de producción con un rendimiento del 75%.</i>	<i>39</i>



<i>Figura 4.26: Vista en planta de la carpeta de rodado estimada para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4.27: Distribución anual del avance en metros de la carpeta de rodado planificado y estimado para el nivel de producción con un rendimiento del 65%.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4.28: Vista en planta de la carpeta de rodado estimada para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.29: Distribución anual del avance en metros de la carpeta de rodado planificado y estimado para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4.30: Vista en planta de la carpeta de rodado estimada para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 4.31: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento del 85%.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 4.32: Distribución anual de los desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento del 85%.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4.33: Vista isométrica de los desarrollos horizontales estimados para el NA hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 85%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4.34: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento del 75%.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 4.35: Distribución anual de los desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento del 75%.</i>	<i>46</i>



<i>Figura 4.36: Vista isométrica de los desarrollos horizontales estimados para el NA hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4.37: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado</i>	<i>47</i>
<i>Figura 4.38: Distribución anual de desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4.39: Vista isométrica de los desarrollos horizontales estimados para el NA hasta diciembre del año 2026 con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4.40: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el subnivel de ventilación con un rendimiento del 75%.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4.41: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el SNV hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4.42: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el subnivel de ventilación con un rendimiento del 65%.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4.43: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el SNV hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4.44: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el subnivel de ventilación con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4.45: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el SNV hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.</i>	<i>53</i>



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0.1	Glosario de términos abreviados utilizados para la realización de este documento.....	V
Tabla 0.1:	<i>Desarrollos horizontales (en metros) considerados en el caso base para los cuatro niveles estudiados</i>	<i>59</i>
Tabla 0.2:	Desarrollos verticales (en metros) considerados como caso base para los niveles de producción y acarreo.....	59
Tabla 0.3:	Cantidad de muros de confinamiento considerados como caso base en el nivel de producción.	60
Tabla 0.4:	Avance (en metros) considerado como caso base para la carpeta de rodado en el nivel de producción.....	60
Tabla 0.5:	Avance de obras mensualizado durante los años 2018, 2019 y 2020 para el sector recursos norte.....	60
Tabla 0.6:	Avance mensual planificado para ciertas obras del sector recursos norte en el año 2019.	61
Tabla 0.7:	Rendimiento y desviación estandar de ciertas obras del sector recursos norte para el año 2019.	61
Tabla 0.8:	Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de hundimiento con un rendimiento del 75%.....	62
Tabla 0.9:	Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de hundimiento con un rendimiento del 65%.....	62
Tabla 0.10:	Desarrollos planificados y estimados para el Nivel de hundimiento con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.	62
Tabla 0.11:	Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 75%.....	63



Tabla 0.12: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 65%.....	63
Tabla 0.13: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.....	63
Tabla 0.14: Desarrollos verticales planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 75%.....	63
Tabla 0.15: Desarrollos verticales planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 65%.....	64
Tabla 0.16: Desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.....	64
Tabla 0.17: Cantidad de muros de confinamiento planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 75%.	64
Tabla 0.18: Cantidad de muros de confinamiento planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 65%.	64
Tabla 0.19: Cantidad de muros de confinamiento planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.	65
Tabla 0.20: Avance (en metros) de la carpeta de rodado planificado y estimado para el Nivel de producción con un rendimiento del 75%.	65
Tabla 0.21: Avance (en metros) de la carpeta de rodado planificado y estimado para el Nivel de producción con un rendimiento del 65%.	65
Tabla 0.22: Avance (en metros) de la carpeta de rodado planificado y estimado para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.	66
Tabla 0.23: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de acarreo con un rendimiento del 85%.....	66
Tabla 0.24: Desarrollos verticales planificados y estimados para el Nivel de acarreo con un rendimiento del 85%.....	66



Tabla 0.25: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de acarreo con un rendimiento del 75%.....	67
Tabla 0.26: Desarrollos verticales planificados y estimados para el Nivel de acarreo con un rendimiento del 75%.....	67
Tabla 0.27: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.....	67
Tabla 0.28: Desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.....	67
Tabla 0.29: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Subnivel de ventilación con un rendimiento del 75%.....	68
Tabla 0.30: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Subnivel de ventilación con un rendimiento del 65%.....	68
Tabla 0.31: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Subnivel de ventilación con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.....	68



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción general

La División El Teniente corresponde a una de las ocho Divisiones de la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO) siendo la mina subterránea más grande del mundo y que cuenta con explotación industrial desde 1905, con una producción en torno a las 443 mil toneladas anuales de mineral fino durante el año 2020 (Codelco). Esta división ha tenido un crecimiento permanente y ha sido capaz de convertirse en un referente mundial en minería subterránea, destacando por sus altos niveles productivos y por el uso de tecnología de punta en sus operaciones.

Su método de explotación corresponde a Block/Panel Caving, en donde una de las características más destacadas del método es la necesidad constante de diversos tipos de construcciones y desarrollos que permitan la entrada en producción de los distintos sectores, siendo el área de preparación minera la responsable de cumplir con estos requerimientos.

El concepto de preparación minera puede ser definido como la excavación de labores y construcción de infraestructura necesaria para habilitar la explotación de un sector productivo. Las actividades que componen la preparación minera se agrupan en 3 áreas de trabajo: excavaciones mineras, obras civiles y montaje de infraestructura.

De manera secuencial, la preparación minera comienza con el desarrollo y fortificación de las galerías, piques y chimeneas, luego se realiza la instalación de infraestructura de obras civiles (carpetas de rodado, fortificación de punto de extracción, etc.) y finalmente se montan los equipos tales como martillo picadores, alimentadores, entre otros (Vásquez, 2018).

1.2 Definición del problema

El área de preparación minera de la División El Teniente - Codelco Chile se sustenta en una serie de condiciones y generalidades para llevar a cabo la planificación de las distintas construcciones que se requieren. Una de estas condiciones corresponde a la condición de seguridad, donde se establece que estos desarrollos se deben llevar a cabo con las condiciones de seguridad suficientes que permitan el buen desempeño de la operación y la estabilidad de la mina, sin interferir con la producción y el crecimiento del sector.



Dado lo anterior, una de las funciones del área es generar la planificación en detalle para cada obra y desarrollo considerado en todos los niveles para los próximos cinco años, la cual se denomina planificación quinquenal. Esta planificación se realiza en base al Plan de negocio y desarrollo (PND), considerando principalmente la gestión de activos y productividad, en conciliación con los requerimientos que se tengan para poder realizar todos los desarrollos fuera de la zona de transición primando siempre por la seguridad de todos los profesionales, y no interferir con la producción y el crecimiento de todos los sectores.

De este modo, considerando la extensión y las diferentes variables consideradas en la planificación, resulta interesante para el área estudiar los posibles escenarios de ejecución de la preparación minera para el sector Recursos Norte en el periodo comprendido entre los años 2022 y 2026, estableciendo los posibles impactos en desarrollos realizados dentro de zona de transición.

1.3 Resultados esperados

Se espera descubrir los escenarios en que se tenga una detención en el crecimiento del sector Recursos Norte debido a obras que se realicen dentro de la zona de transición delimitada para cada año en estudio, y saber si un aumento en los rendimientos genera cambios significativos en el crecimiento.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar los posibles escenarios del desarrollo de obras de la preparación minera para el sector Recursos Norte mediante la variación de rendimientos para el quinquenio comprendido entre 2022 y 2026.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar los procesos y actividades involucradas en la preparación minera del sector Recursos Norte, Codelco División El Teniente, evaluando recursos, métodos de trabajo, y tecnología asociada.
- Ponderar los rendimientos históricos del sector para comprender las incertidumbres, limitaciones y alcances de la variable.



- Identificar la importancia y el impacto que posee un retraso en las obras planificadas.
- Identificar las oportunidades de mejora respecto a las falencias observadas en el proceso de planificación y preparación minera respecto a la variable en estudio.

1.5 Alcances

- El presente estudio tiene como finalidad estudiar los posibles escenarios del sector Recursos Norte de la división, por lo que no se considera el proceso de planificación de otros sectores.
- La aplicación del caso base y los casos de estudios se realizará en el software de planificación minera Mine2-4D.
- El estudio se lleva a cabo tomando como supuesto el cumplimiento completo de los desarrollos considerados para el presente año (2021), y en base a los desarrollos planificados por el ingeniero especialista del área.
- Se considera como estudio histórico a los desarrollos considerados para el año 2019 que no considera interferencias externas.
- Se establece como periodo de estudio al quinquenio comprendido entre los años 2022 y 2026.
- Se considerarán como obras a estudiar para cada nivel:
 - 1) Nivel de hundimiento: Desarrollos horizontales
 - 2) Subnivel de ventilación: Desarrollos horizontales
 - 3) Nivel de Acarreo: Desarrollos Horizontales y verticales.
 - 4) Nivel de producción: Desarrollos horizontales, verticales, muros de confinamiento y carpeta de rodado.



2. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades

En Chile, en plena Cordillera de los Andes del sector de Rancagua, se encuentra la mina El Teniente, faena subterránea de cobre más grande del mundo y con más de 100 años de operación minera, perteneciente a División El Teniente y cuyo propietario es el Estado de Chile a través de la Corporación Nacional del Cobre (Codelco Chile).

Esta División se encuentra ubicada en la comuna de Machalí, Región del Libertador Bernardo O'higgins, a 50 kilómetros de la ciudad de Rancagua. Comenzó a ser explotado en 1905, y ya cuenta con más de 4.500 kilómetros de galerías subterráneas.

El método de explotación se realiza a través del hundimiento gravitacional o Panel Caving (PC), en operación desde los años 80'. En este sistema, al hundir los paneles, el mineral se fractura y se rompe por sí solo debido a las tensiones internas y efectos de la gravedad. Por consiguiente, se requiere de un mínimo de perforación y tronadura en la explotación del mineral (Navarro, 2017).

2.2 Método Panel Caving

Dentro de los métodos subterráneos, la minería por hundimiento es considerado como apropiado por sus bajos costos y altos ritmos de producción que pueden ir en rangos de 10.000 a 150.000 toneladas al día. El principio de los métodos por hundimiento está en romper el equilibrio de los esfuerzos que se presentan en la corteza terrestre, generando un vacío que permita una redistribución de los esfuerzos. Esta cavidad dependerá de su extensión, de la competencia de la roca y orientación de los esfuerzos. La socavación se propaga a través de un corte basal en la cota donde se ubica el nivel de hundimiento y el material quebrado es retirado en puntos de extracción a través de vehículos de carga y transporte (LHD) o por métodos manuales (Brown 2003).

Dentro de sus características, este método cuenta con distintos niveles que se describen a continuación (SME, 2011):

1. Nivel de Hundimiento: Donde se genera la socavación.
2. Nivel de Producción: Aquel donde se extrae el mineral fragmentado.
3. Nivel de Transporte: Aquel que permite trasladar el mineral al exterior.

4. Nivel de Ventilación: Aquel que permite el intercambio de aire con el exterior.

En particular, en el método PC se realiza un corte basal de manera gradual en una determinada dirección de avance, con el fin de construir y realizar la extracción a medida que el hundimiento avanza, añadiendo áreas de producción en forma de paneles y principalmente es utilizado para la extracción de mineral primario. La explotación de un área por este método se desarrolla en tres pasos (figura 2.1):

- Primero, se divide el área en paneles cuadrados o rectangulares cuya dimensión mínima se relaciona con la hundibilidad de la roca y la máxima se diseña en función de parámetros operacionales y económicos (flujo gravitacional, diseño malla de extracción, grado de mecanización del proceso de extracción).
- Segundo, se diseñan paneles que abarquen toda el área de un extremo a otro; en este caso, el hundimiento es un proceso continuo a lo largo del área y se deja una barrera de contención o pilar para impedir que el estéril del panel agotado diluya el mineral de la nueva explotación.
- Y tercero, se mantiene un hundimiento continuo en ambas direcciones sin dejar barreras ni pilares; este frente de hundimiento continuo impide la formación de puntos o líneas de alta presión, generando menos problemas de estabilidad (Barboza, 2019).

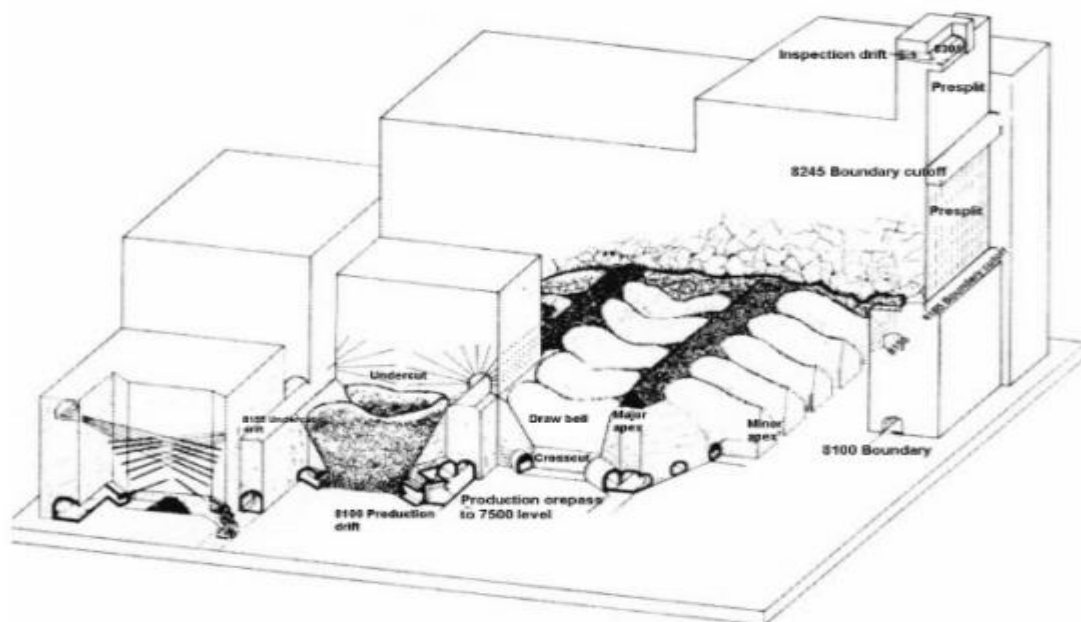


Figura 2.1: Principales labores relacionadas al método Panel Caving mecanizado (Brown 2003).

De este modo, es necesario entender las diferencias en cada una de las variantes del Método PC, debido a las distintas consecuencias que tiene cada una de sus variantes con su entorno y en particular el comportamiento de los esfuerzos en cada una de las zonas delimitadas con respecto al avance de los frentes de extracción y socavación (Lobiano, 2016).

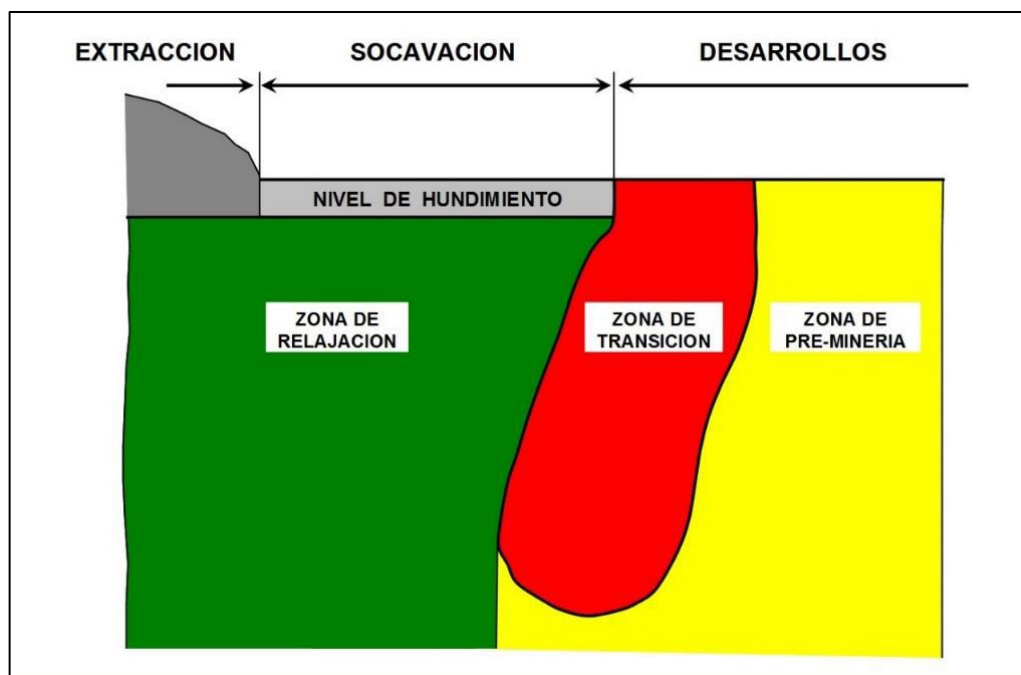


Figura 2.2: Comportamiento de los esfuerzos en distintas zonas según los frentes del método Panel Caving (Lobiano, 2016).

De la figura 2.2 se puede observar la delimitación de tres zonas:

- Zona de pre-minería: Corresponde a la zona que está en desarrollos, o distante al avance de la minería.
- Zona de transición (Abutment Stress): Es la zona en donde se tiene un mayor estado tensional, y que varía a lo largo del avance de la minería, generando mayores condiciones de esfuerzo, que en una condición in-situ.
- Zona de relajación: Zona que presenta menores esfuerzos debido a su cercanía con el frente de socavación y se encuentra posterior a la zona de transición.

Con esta información, resulta relevante comprender como varia esta zona de transición en función de las distintas estrategias de hundimientos que se tienen para cada una de las variantes del método PC.

2.2.1 Estrategias de hundimiento

A continuación, se presenta gráficamente cada situación, según el hundimiento efectuado, lo que diferencia la posición del frente de este, con el frente de extracción, esto dependiendo de la secuencia de construcción de las labores productivas (Saez, 2019).

1. Panel Caving Convencional:



Figura 2.3: Variante del Método Panel Caving Hundimiento Convencional (Programa de Inducción PNNM, 2018)

En base a la figura 2.3, ambos niveles de hundimiento y producción son construidos previo al proceso de hundimiento. Se observa en la imagen, que la zona correspondiente a D2, la cual debe contar con fortificación definitiva, corresponde a la zona de transición, por lo que este trabajo se centra en verificar el cumplimiento de esta condición de seguridad. Esta condición se extiende tanto para los niveles de hundimiento y producción, como para los niveles de acarreo y subnivel de ventilación.

2. Panel Caving con hundimiento Previo:

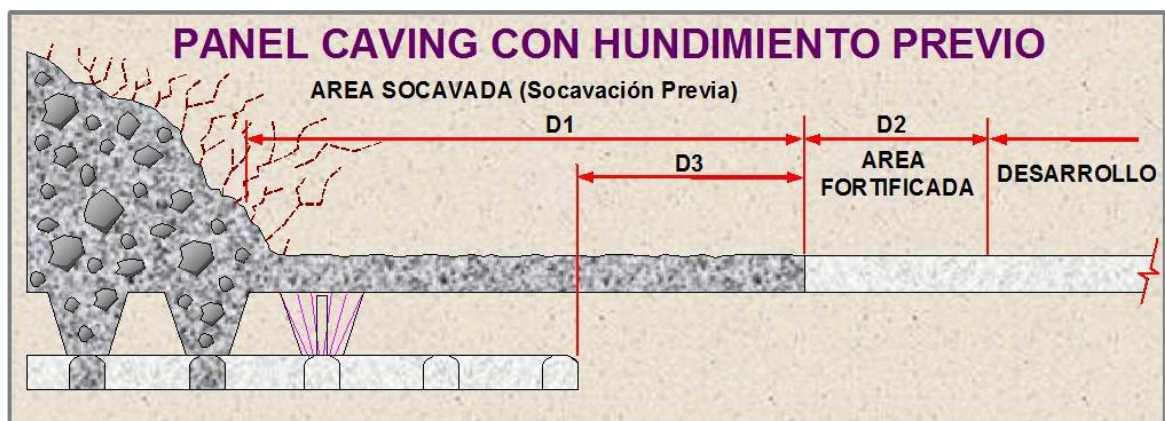


Figura 2.4: Variante del Método Panel Caving Hundimiento Previo (Programa de Inducción PNNM, 2018)

En este caso, como se señala en la figura 2.4, se tiene que el nivel de producción se retrasa entre 30-45 [m] de la socavación en el nivel de hundimiento, por lo que el área que debe contar con fortificación definitiva en el nivel de hundimiento se extiende por delante del frente de hundimiento.

3. Panel Caving con hundimiento Avanzado:

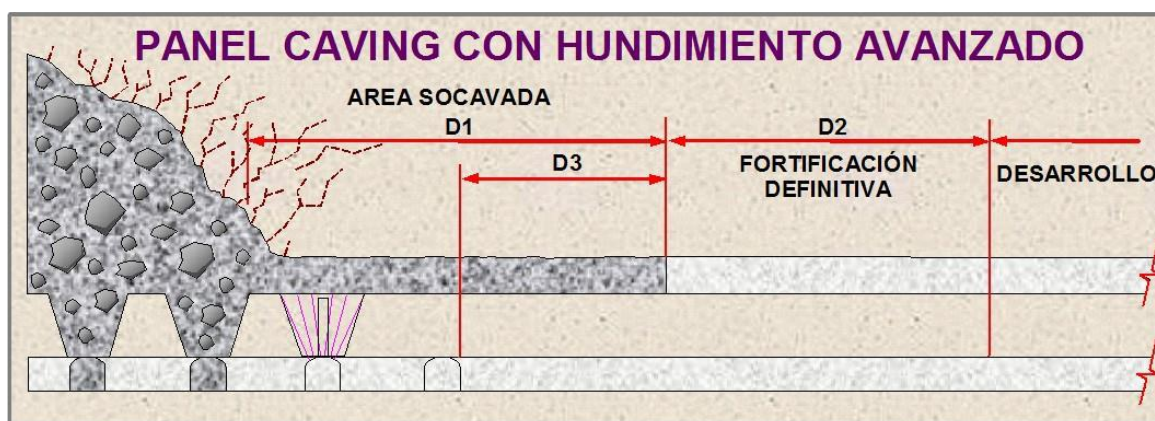


Figura 2.5: Variante del Método Panel Caving Hundimiento Avanzado (Programa de Inducción PNNM, 2018)

Para este caso, el nivel de producción se fortifica en forma definitiva dejando al menos 30 [m] del frente de socavación en el nivel de hundimiento, como se observa en la figura 2.5.

2.2.2 Criterios de secuencias de explotación

Por definición un proyecto minero presenta varias etapas de estudios e ingenierías que se deben realizar antes de la puesta en marcha (etapas de exploración, estudio de perfil, ingeniería de prefactibilidad), en este sentido la ingeniería conceptual resulta ser la más importante, debido a que en esta etapa se toman las grandes decisiones y se establecen las consideraciones técnicas generales para dar respuesta a las interrogantes de viabilidad y factibilidad técnica de exploración, en donde los aspectos geomecánicos y valor del proyecto, son relevantes. La secuencia corresponde a la dirección en la cual comenzara la extracción de los bloques a producción que están en la envolvente económica, tomando en cuenta parámetros técnicos y económicos, y se extrae el máximo de material cuyas leyes de corte sean mayores o iguales a las planeadas (Barboza, 2019).



2.2.2.1 Aspectos geomecánicos en el punto de inicio del caving

Desde el punto de vista de la estabilidad de las frentes en relación con sus dimensiones, la formación de frentes activos excesivamente planos y extensos, genera un desconfinamiento excesivo delante del frente de socavación y simultáneamente, se producen mayores concentraciones de esfuerzos en sus extremos, aumentando la posibilidad de ocurrencia de daños locales. Para esto de acuerdo con las experiencias obtenidas en terreno, aquellas operaciones que han trabajado con frentes únicos de gran tamaño (entre 600 y 700 metros), han presentado problemas geomecánicos y mayores interferencias operacionales. Es por ello que, de acuerdo a criterios de expertos, no se recomienda utilizar frentes mayores a 300 metros.

Con respecto a la orientación de la frente de hundimiento, debe orientarse en 90° (con una tolerancia $\pm 30^\circ$), de acuerdo con la dirección del esfuerzo principal mayor, ya que en la zona de concentración de esfuerzos delante de la frente de socavación, será más benigna. Este criterio es idéntico respecto a los entes estructurales principales, siendo el objetivo principal, reducir la concentración de esfuerzos entre dichos entes y el área hundida. En el caso de que se presenten distintas familias de estructuras con distintos rumbos y no es posible orientar la frente perpendicular a todos los entes estructurales, se debe evitar formar ángulos menores a 25° (Barboza, 2019).

Con respecto a la definición del frente se deben cumplir con reglas generales que aseguran un correcto control de la estabilidad geomecánica. Es decir, el frente de socavación debe presentar una forma cóncava en su avance, escalonada y sin gran extensión a fin de inducir un confinamiento estructural en torno al frente de hundimiento, ver figura (2.6.b). Un frente convexo induce tracción y, por lo tanto, reduce la resistencia del macizo, ver figura (2.6.a).

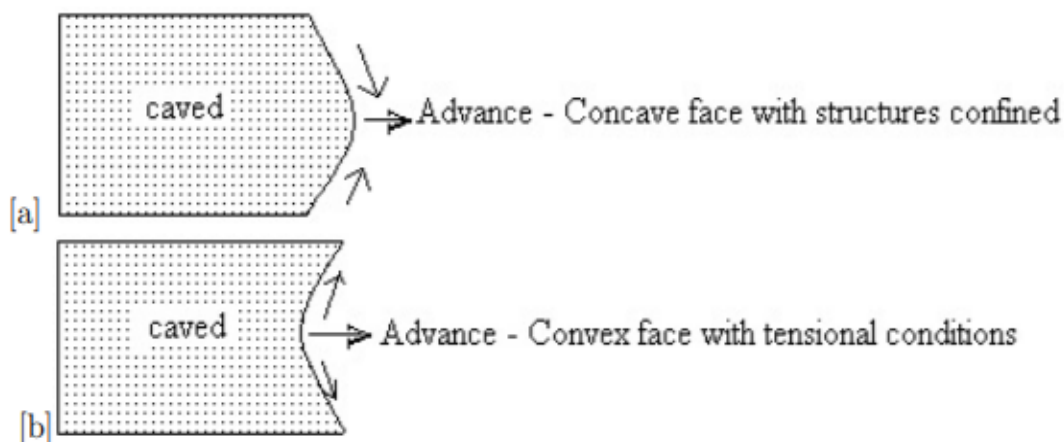


Figura 2.6: Geometrías de frente en un block/panel caving. Fuente: (Laubscher 2000).

2.2.2.2 Control de caveback en la secuencia de explotación

En su forma general se puede entender como caveback al límite que existe entre el material quebrado y el material insitu en el proceso de hundimiento. Mantener su control es uno de los factores claves en la operación minera de panel caving, lo cual se realiza a través de razones de extracción por punto y la tasa de incorporación de área.

Un manejo inadecuado del caveback puede derivar en inestabilidades geomecánicas, como lo son estallidos de rocas y colapsos en los niveles, producto de esfuerzos inducidos en el nivel de producción. El ángulo de extracción se considera entre la próxima batea a ser incorporada a la producción y el último punto de extracción en quiebre (zona de extracción en quiebre, menor al 30 % de extracción de la altura solida de mineral primario). Se mide a cota piso del Nivel de Hundimiento, desde el centro de la batea a ser incorporada, y en la dirección de avance del frente de hundimiento como se indica en la figura 2.7. (Barboza, 2019).

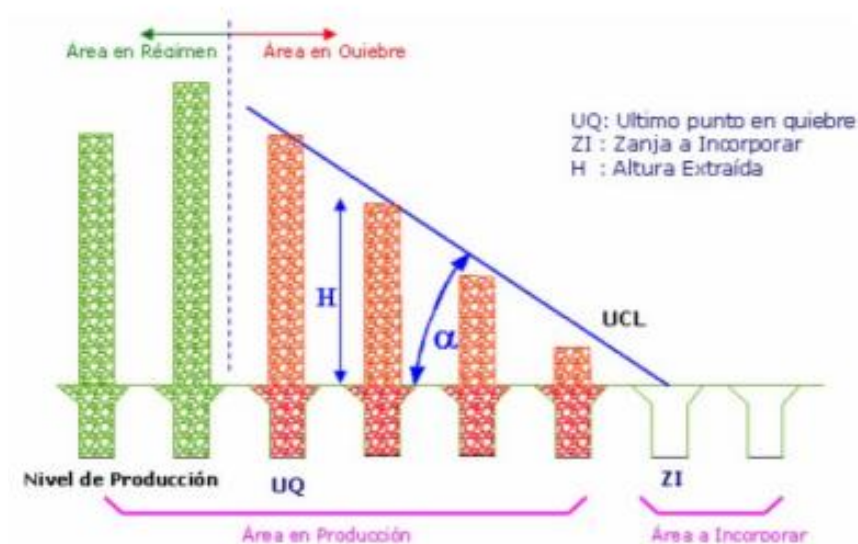


Figura 2.7: Esquema de medición del ángulo de extracción. Fuente: (Salgado 2009).

Empírica y analíticamente, se ha estimado que al extraer un 30 % de la columna sólida de roca primaria se logra quebrar completamente dicha columna. En consecuencia, la velocidad de extracción se encuentra en función creciente respecto a la columna de mineral primario, debido a que la actividad sísmica (que representa el quiebre), va creciendo en altura a medida que la extracción aumenta. Su valor fluctúa, en general, entre 30° a 45° y relaciona la velocidad de extracción con la velocidad de socavación, debido a que el ángulo de extracción se origina por el vector de extracción y el vector de socavación. Si la velocidad de socavación aumenta, este ángulo disminuye, pero si esta velocidad aumenta en la misma magnitud que la velocidad de extracción, el ángulo no cambia y la restricción se cumple. El ángulo de extracción es uno de los parámetros más importantes, junto con el desfase de frente extracción/socavación, en el control del desarme progresivo del volumen activo, por lo tanto, mantener este parámetro regulado es de vital importancia para asegurar la producción de un sector (Barboza, 2019).

2.3 Preparación minera en División El Teniente

La Preparación de Minera corresponde al área que tiene la responsabilidad de gestionar las actividades relacionadas con el desarrollo y construcción de infraestructura de una mina subterránea, a través del cumplimiento del Programa de Preparación que debe sustentar las áreas a incorporar necesarias para cumplir con el Plan Minero de Producción. Todo esto, con una visión sistémica que considere tanto las diferentes fases de ejecución de un proyecto (Ingeniería de Detalle, Adquisiciones, Construcción y



Puesta en Marcha), como el alcance, plazo, costo y satisfacción del cliente, permitiendo asegurar los resultados proyectados, optimizando los recursos puestos a disposición del proyecto y así alcanzar los objetivos establecidos, contribuyendo a maximizar en el largo plazo el valor económico de la División y de la Corporación (Camhi, 2018).

Dentro de la preparación minera se contemplan distintas obras mineras, las cuales se clasifican en 3 áreas de trabajo: excavaciones mineras, obras civiles y montaje de infraestructura, las cuales se describen en detalle a continuación.

2.3.1 Excavaciones Mineras

Las excavaciones u obras mineras hacen referencia a los distintos tipos de desarrollo que se deben realizar en todos los niveles productivos. Estos desarrollos incluyen la fortificación de estos, los distintos tipos de saneamiento de galerías y la estabilización de los distintos sectores. Se consideran dos tipos de desarrollos:

- **Desarrollos Horizontales**

Estos desarrollos se realizan con perforación y tronadura debido a las condiciones del entorno y las ventajas que presenta respecto de otras técnicas. El ciclo comienza con la perforación mediante equipos mecanizados (jumbos). Tras la tronadura y ventilación de la frente, un equipo LHD se encarga de transportar la marina hacia los vaciaderos. Luego, la acuñadora de las frentes se realiza manualmente desde un elevador hidráulico o con equipos acuñadores para evitar la exposición de caída de rocas a los trabajadores. Terminado esto, la fortificación de la galería se ejecuta con perno, malla y shotcrete, según el grado de estabilidad requerido, finalizando el ciclo (Vasquez, 2018)

- **Desarrollos Verticales**

Los Desarrollos Verticales corresponden a desarrollos que permiten construir los piques de traspaso (que finalmente pasan a ser los puntos de vaciados en el nivel de producción), las chimeneas de ventilación, y las chimeneas desde el nivel de producción hacia el nivel de hundimiento (que pasan a ser los puntos de extracción). Para el caso del pique de traspaso, se incluyen el desquinche y fortificación del sector donde se realizará la descarga del LHD, el ensanche del diámetro del pique (1.5 m a 3.4 m) debido a la capacidad de los equipos, y la fortificación y blindaje (placas de desgaste). También, se debe considerar que en esta labor se



instalará toda la infraestructura para controlar la granulometría (martillo picador) y brocal de punto de vaciado para mitigar los daños del LHD al punto de vaciado.

Generalmente, para realizar la perforación de los desarrollos verticales se utiliza la perforación mecanizada. Según las ubicaciones de los desarrollos verticales y los diámetros de perforación, puede ser a través de equipos Raise Borer o Blind Hole.

Básicamente la operación con el equipo Raise Borer consiste en perforar, de forma descendiente, un tiro piloto desde una superficie superior, donde se instala el equipo, hasta un nivel inferior. Posteriormente se conecta en el nivel inferior el escariador el cual actúa en ascenso, excavando por corte y cizalle, el pique o chimenea.

Por otro lado, la perforación con el sistema Blind Hole consiste en instalar el equipo en el nivel inferior y en perforar el tiro guía 60 centímetros adelantado del escariador, que va excavando a sección completa. El material excavado cae por gravedad al nivel de la máquina y es guiado por un colector para prevenir riesgos.

2.3.2 Obras Civiles

Este tipo de obras se basan en el hormigón armado y la armadura, dentro de sus ejemplos se considera a la fortificación de intersección y los puntos de vaciado.

- Puntos de extracción

Esta actividad se puede realizar de dos modos: mediante marcos de acero concretados y bóvedas de hormigón armado.

- Carpetas de rodado

Esta actividad permite habilitar el piso por donde transitarán los equipos LHD tanto en calle de producción como en punto de extracción. Para su construcción se realiza un levantamiento topográfico y limpieza para luego instalar el hormigón de relleno y finalmente colocar la carpeta de rodado.

- Muros de confinamiento

Corresponde a hormigón armado que se aplica para reforzar los pilares formados por las calles y galerías de zanjas.



- Fortificación de intersección

Este tipo de obra refuerzan dichas zonas con cables de acero.

- Puntos de vaciado

Consiste en la colocación de anillos de acero en el contorno del pique, que van anclados a la roca. Tiene como objetivo mantener estables estas construcciones y así asegurar que sean permanentes. (Rabajillo, 2017).

2.3.3 Montaje de infraestructura

Esta actividad corresponde a las obras de terminación necesarias para finalizar un proyecto, que con normalidad, se ejecutan posteriormente a las obras civiles. Como ejemplos se tiene el montaje y la habilitación (de tipo eléctrica e hidráulica) de: buzones de carguío, correas transportadoras y ventiladores. (Navarro, 2017).

2.4 Planificación de Preparación Minera

El plan de preparación minera se realiza por medio de una secuencia de actividades programadas en función de las necesidades futuras y actuales del proyecto. A continuación, se resumen las etapas para la preparación en el marco de una explotación por Block/Panel Caving (Alegría, 2010):

1. Definir el programa de obras necesarias para iniciar la explotación del sector (en el caso de inicio de explotación) y el programa de obras necesarios para dar continuidad a la explotación (sector en producción).
2. Planificar, de acuerdo con las características del proyecto y a la variante del método de explotación, la logística de preparación para el área.
3. Definir la programación de adquisiciones necesarias para la operación.
4. Estimar la flota de equipos para cumplir con el programa de obras.
5. Estimar el personal de trabajo necesario para cumplir con el programa de obras.
6. Definir las actividades críticas para establecer las rutas prioritarias de preparación de los distintos sectores.



7. Iniciar las obras correspondientes al programa de desarrollos, ya sea por medio de personal propio o mediante contratos con empresas externas.
8. Recepcionar las obras realizadas y entregar al área de producción la zona preparada.

La planificación minera de la División El Teniente, se desarrolla en sus distintas instancias dentro de la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo (GRMD), específicamente por la Superintendencia de Planificación Minero-Metalúrgica y por la Superintendencia de Gestión Producción. La programación de la preparación de mina se realiza en tres etapas, cada una de las cuales requiere distinto tipo de información de entrada y grado de detalle en su elaboración. Fundamentalmente, los programas de preparación se realizan en tres horizontes de planificación (Salgado, 2012).

2.4.1 Programas de Largo Plazo

Esta programación se realiza para períodos comprendidos entre los 6 a 50 años de planificación y son confeccionados por la Superintendencia de Planificación Minero-Metalúrgica. La fecha de emisión corresponde al mes de noviembre y es la base para el programa de corto plazo. Esta etapa define el negocio en forma global, incorporando la definición de una envolvente económica, elección del método de explotación, ritmo e extracción, secuencia económica, etc. (Lobiano, 2016).

2.4.2 Programas Quinquenales

El enfoque de esta etapa consiste en conciliar lo proyectado en el largo plazo, adaptando los modelos y generando planes de producción para conducir la operación y cumplir las metas definidas. Este programa o reporte, define en detalle los primeros cinco años del Plan de negocio y desarrollo (PND), considerando principalmente la gestión de activos y productividad.

2.4.3 Programas de Corto Plazo

Estos programas se centran en la gestión y planificación de los recursos necesarios para la operación. En general la forma de gestionar los recursos implica la recopilación y utilización de información de los procesos, los cuales son la base para retroalimentar los modelos generados en el mediano plazo. Dentro de esta etapa se destacan (Salgado, 2009):

- Programa anual Revisión A (Presupuesto)



Esta programación la realiza la Superintendencia de Planificación Minero-Metalúrgica (SPL-GRMD) y presenta una base de cálculo anual, además la fecha de emisión corresponde al mes de agosto. Para la realización de este programa se analiza la siguiente información:

- ✓ Programa preparación minera revisión B (año anterior).
- ✓ Planos de ingeniería de detalle.
- ✓ Programa producción Rev. 0 (Retroalimentación sobre área a incorporar).
- ✓ Facilidades (energía eléctrica, ventilación, accesos, vaciaderos de marina, etc.).
- ✓ Fichas geomecánicas PND.

Los productos de esta programación corresponden a los volúmenes de obras considerados en el Presupuesto anual de preparación y que son la base de las Autorizaciones de Gastos Diferidos (AGD).

- Programa Anual Revisión B

Este programa es elaborado por la Superintendencia de Gestión Producción y se realiza en una base mensual y la fecha de emisión corresponde al mes de enero. Para la realización de este programa se analiza la siguiente información:

- ✓ Programa Preparación Minera Revisión A.
- ✓ Planos de Ingeniería de Detalle.
- ✓ Programa Producción Revisión 2 (Retroalimentación sobre área a incorporar).
- ✓ Facilidades (energía eléctrica, ventilación, accesos, vaciaderos de marina, etc.).
- ✓ Rendimientos mensuales.
- ✓ Estado de contrato de obras y calendario de licitaciones.

Los productos generados en esta programación corresponden a la planificación mensual detallada de las obras requeridas, para cada sector productivo, para lograr sustentar el programa de producción Revisión A. Al ser un programa mensualizado, permite una visualización más directa por parte de operaciones mina y así evaluar las obras contempladas de cada sector. Además, el Programa Revisión B es utilizado para conocer los compromisos mensuales de avances e indicar el cumplimiento a la fecha.

De un modo secuencial, la preparación minera comienza con el desarrollo de galerías, piques y chimeneas, continuando con la fortificación de cada uno de estos desarrollos, luego se realiza la instalación de infraestructura de obras civiles (carpeta de rodado, fortificación de punto de



extracción, etc.) y finalmente se montan los equipos tales como martillo picadores, alimentadores, entre otros (Vásquez, 2018).



3. METODOLOGÍA

En este capítulo se describen los pasos para realizar una evaluación de escenarios de la planificación minera en función de la variación de los rendimientos de las obras señaladas.

El trabajo de investigación consta de 4 etapas, las cuales se detallan en los siguientes puntos:

- ✓ Recopilación de información y creación de modelos.
- ✓ Determinación de caso base: En función a diversos entregables de la división, se determina el caso base de cumplimiento de desarrollos y obras para cada nivel.
- ✓ Definición casos de estudio: A partir de un estudio histórico de obras del sector, se determinan los casos que se estudiarán en el proyecto para cada nivel.
- ✓ Modelación y análisis de casos: Se explica el paso a paso realizado en el software *Mine24D* para obtener los resultados de los casos implementados y se explica el análisis llevado a cabo en función de los resultados obtenidos.

3.1 Recopilación de información y creación de modelos.

Para comenzar con el estudio se debe realizar una recopilación y análisis de la información bibliográfica referida a la preparación minera, para identificar así las obras asociadas por nivel, las distancias y los tiempos requeridos por estas. Además, se utilizará el software *Mine24D* por lo que se incluye un aprendizaje de este para tener claridad de sus configuraciones y salidas en la utilización (Anexo A)

A continuación, se deben adecuar los planos del sector en estudio al formato requerido por el software, en donde se considerarán todos los niveles del sector recursos norte (hundimiento, producción, acarreo y ventilación) incluyendo todas las obras que se tienen por nivel. Estos planos se crearán en AutoCad mediante los planos base del sector, obtenidos desde la gerencia de proyectos (GPRO).

3.2 Determinación de caso base

El caso base se determina en función del cumplimiento de las obras planificadas para el presente año 2021 que se plantea en el Programa anual Revisión A, en donde se determinan las obras a realizar para el año 2022.



Por otra parte, se considera el programa de negocios y desarrollo (PND) contemplado para los años 2023, 2024, 2025 y 2026, en donde se planifican las distintas obras para el quinquenio en estudio. En este programa, se tienen las obras a realizar en el periodo anual, por lo que, para efectos del estudio realizado, estos desarrollos y obras anuales se distribuyen en los distintos meses de manera homogénea (Anexo B).

3.3 Definición casos de estudio

Para determinar los casos a estudiar, se debe realizar una recopilación de los desarrollos históricos realizados, en donde se estudiarán las interferencias asociadas a cada año. En base a esas interferencias los datos serán filtrados para conservar solo aquellos que sean significativos para el este estudio. (Anexo C).

Posteriormente, se procede a comparar los desarrollos realizados y los desarrollos planificados anualmente, obteniendo así el cumplimiento anual de las obras (en porcentaje) y la desviación estándar de cada cumplimiento (Anexo D), valores que determinarán los casos a estudiar:

1. Caso 1: Cumplimiento en un 75% de las obras planificadas anualmente para los niveles de hundimiento, producción y subnivel de ventilación. Cumplimiento en un 85% de las obras consideradas para el nivel de acarreo.
2. Caso 2: Cumplimiento en un 65% de las obras planificadas anualmente para los niveles de hundimiento, producción y subnivel de ventilación. Cumplimiento en un 75% de las obras consideradas para el nivel de acarreo.
3. Caso 3: Cumplimiento de un 110% respecto a los rendimientos considerados en el caso base (Anexo B) para los desarrollos y obras planificadas para todos los niveles.

3.4 Modelación, resultados y análisis.

Teniendo los rendimientos a considerar para los 3 casos en estudio se procede a la implementación de estos casos al software Mine24D acorde a los principales pasos descritos a continuación:

- 1) Importación de planos: Se crea el proyecto y se cargan los planos respectivos que serán utilizados.



- 2) Secciones: Se crean las secciones (desarrollos horizontales, verticales, etc.) indicando nombre, tipo de sección y dimensiones. Estas secciones se conectan a las capas de los planos importados y se procede a crear los sólidos de estas secciones.
- 3) Secuenciamiento: Se modifica el secuenciamiento automático realizado por el software para realizarlo acorde a la planificación anual que se tiene para cada desarrollo.
- 4) Exportación a EPS: Se debe exportar el archivo creado para poder tener acceso al visualizador completo y las funciones necesarias para continuar.
- 5) Asignación de recursos: Se deben asignar recursos a cada una de las obras, los cuales indicarán el rendimiento anual que tendrá cada actividad (desarrollos horizontales, verticales, muros, etc.) De igual modo, se asigna el tiempo por el cual debe ejecutarse el recurso.
- 6) Nivelación: Al aplicar los recursos asignados se obtiene como resultado los desarrollos anuales y mensuales realizados en base a los rendimientos indicados por periodo en formato de tablas y además se visualizan para su posterior análisis.

Finalmente se realizará un análisis de los resultados obtenidos de la modelación de los escenarios propuestos, identificando impactos respecto a los trabajos realizados dentro de la zona de transición para cada año y los niveles de apego respecto a la planificación establecida previamente, identificando así oportunidades de mejora para el proceso.

4. RESULTADOS Y ANALISIS DE CASOS

En el presente capítulo se darán a conocer los resultados y el análisis de la implementación del software Mine24D en base a la metodología indicada previamente para cada caso estudiado. Estos resultados y análisis se separarán acorde a cada nivel del sector en estudio.

En esta sección se pondrá énfasis en los resultados que generan un mayor impacto en el crecimiento o una condición más crítica respecto a los tres casos estudiados para cada nivel, por lo que los resultados y análisis de los casos que no generan un impacto se indican en la sección de anexos.

4.1 Nivel de hundimiento

Respecto a los rendimientos estimados para este nivel, se presentan los resultados en forma gráfica, los que se basan en las tablas asociadas al anexo correspondiente (Anexo E):

Caso 1) Cumplimiento en un 75% de los rendimientos planificados:

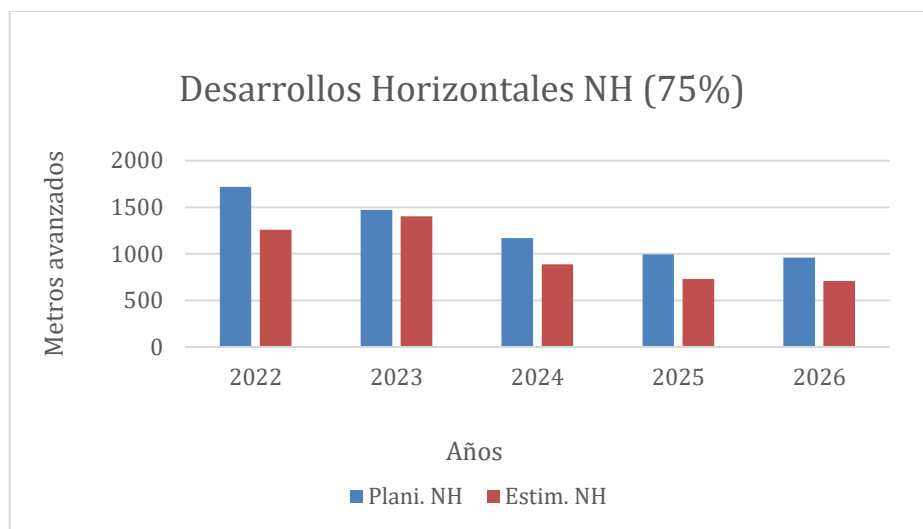


Figura 4.1: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de hundimiento con un rendimiento del 75%.

A partir de la información de la figura 4.1, se observa una disminución en los rendimientos estimados por el software en comparación con los rendimientos planificados. Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 1331 metros pendientes que se tendrían que realizar durante el año 2027, lo que representa un atraso en las obras considerando que esa cantidad de metros de avance se planifica en uno de los años en estudio.

Los resultados visuales del avance se tienen como imagen en diciembre del 2026:

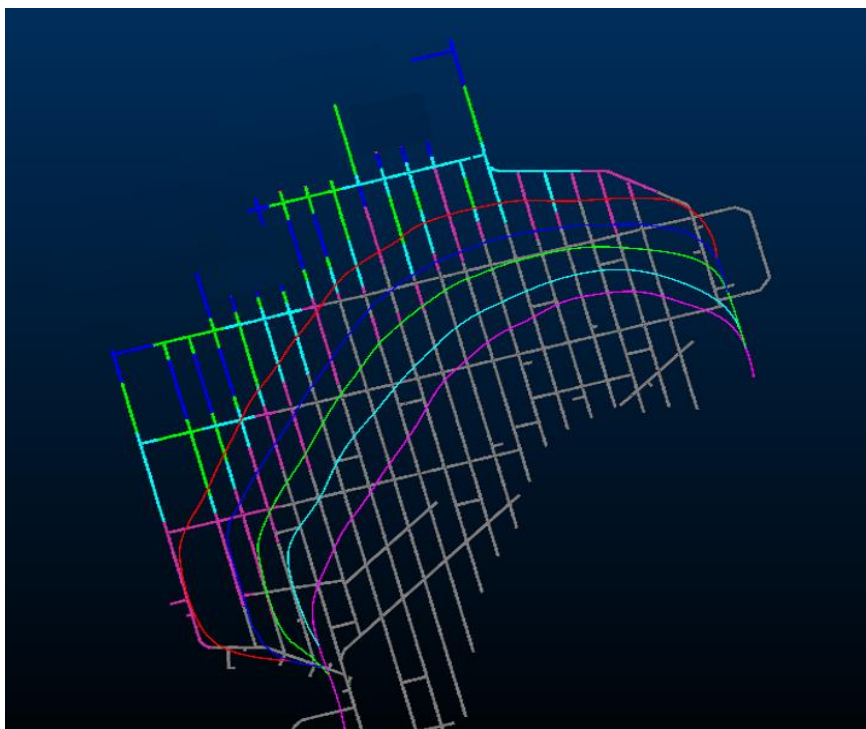


Figura 4.2: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el NH hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

Respecto a la figura 4.2, en color gris se observan los desarrollos horizontales que se consideran realizados en diciembre del 2021 (Programa Revisión A) y en colores los desarrollos anuales planificados por cada año que se estiman realizados hasta diciembre del año 2026 con la delimitación de las respectivas zonas de transición para cada año.

En base a esta información, es posible determinar que para este caso no se tienen desarrollos estimados dentro de la zona de transición para ninguno de los años estudiados, generándose el caso más crítico, a fines del año 2026 (diciembre), en donde se observa un margen de 104 metros de distancia entre la zona de transición de ese año y los desarrollos a realizar.

Caso 2) Cumplimiento en un 65% de los rendimientos planificados:

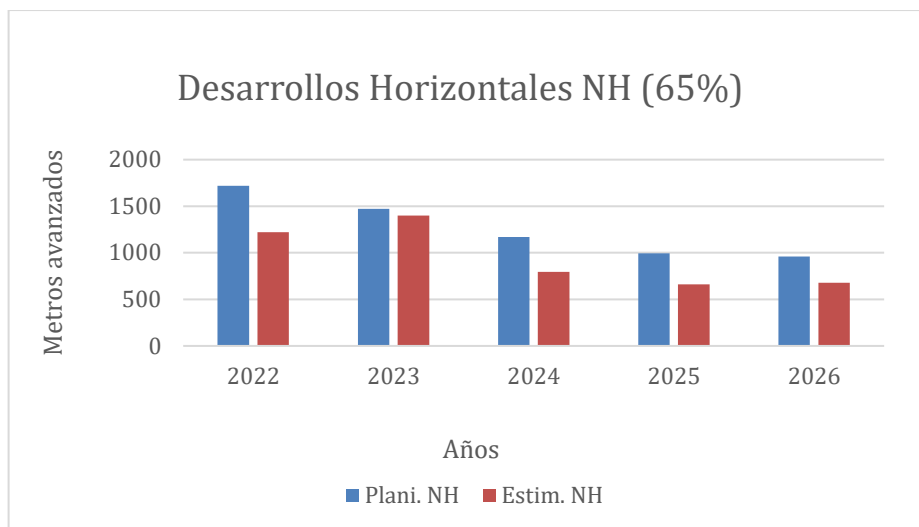


Figura 4.3 Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de hundimiento con un rendimiento del 65%.

En base a la figura 4.3 se observa una mayor disminución de los rendimientos en función del caso base y del caso estudiado previamente (1). Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 1437 metros pendientes por realizar durante los años posteriores, lo que representa un aumento en 361 metros respecto al caso anterior.

Los resultados visuales del avance se tienen como imagen en diciembre del 2026:

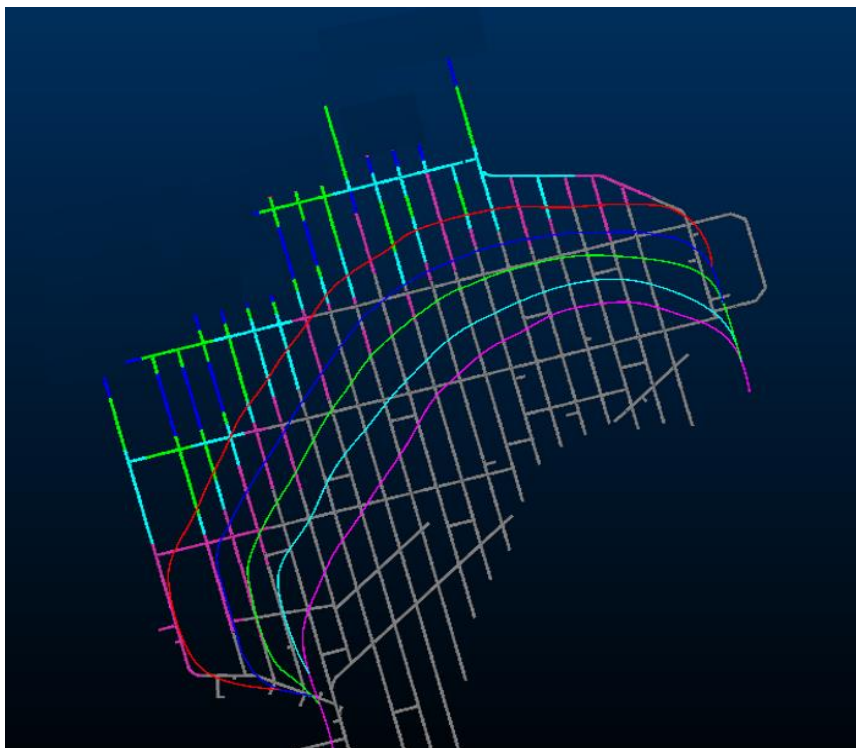


Figura 4.4: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el NH hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

Considerando la figura 4.4, se observan (de igual modo que en el caso anterior) en color gris los desarrollos horizontales que se consideran realizados hasta diciembre del 2021 (Programa Revisión A) y en colores los desarrollos anuales planificados para cada año que se estiman realizados hasta diciembre del año 2026 con la delimitación de las respectivas zonas de transición para cada año.

Basándose en esta información, es posible determinar que para este caso no se tienen desarrollos estimados dentro de la zona de transición para ninguna de los años estudiados, generándose el caso más crítico, a fines del año 2026 (diciembre), en donde se observa un margen de 96 metros de distancia entre la zona de transición de ese año y los desarrollos a realizar.

Caso 3) Cumplimiento de un 110% respecto a los rendimientos planificados:

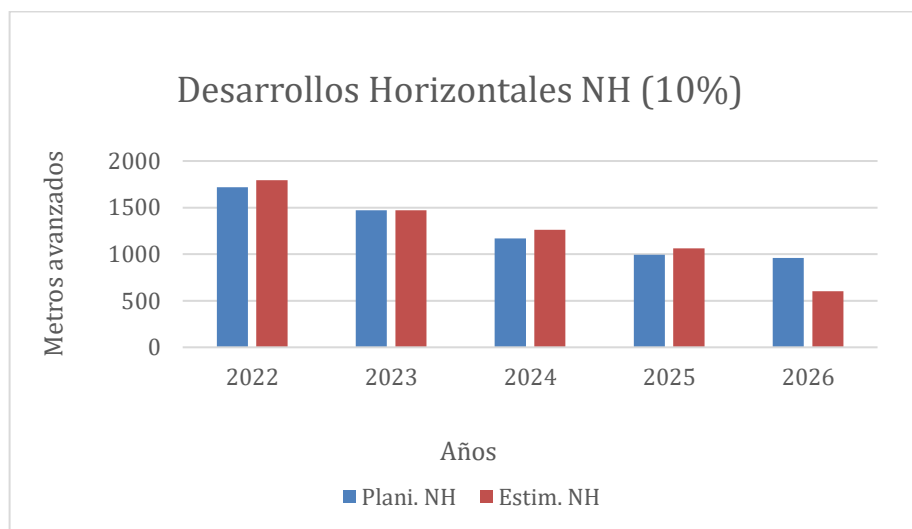


Figura 4.5: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de hundimiento con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

En base a la figura 4.5 se observa un aumento en los rendimientos anuales, lo que genera que el total de los desarrollos planificados se finalicen antes de lo previsto, en específico estos terminan en el mes de agosto del año 2026, lo que explica la disminución en los desarrollos de ese año.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en agosto del 2026:

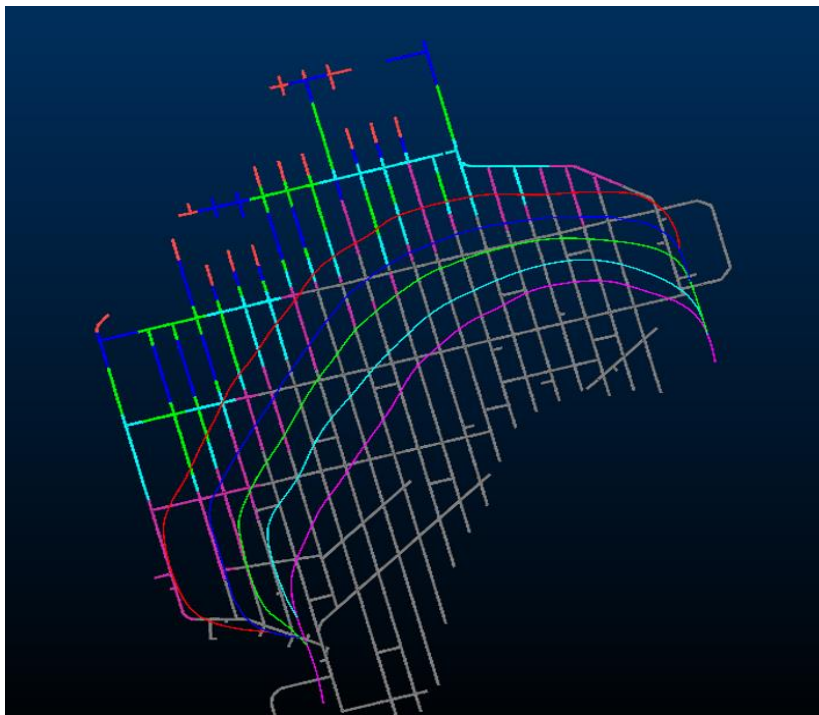


Figura 4.6: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el NH hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

Observando los resultados obtenidos en la figura 4.6, al considerar el aumento en el rendimiento, esto genera que no se tengan obras en la zona de transición, generando un margen mínimo de 120 metros entre la zona de transición y las próximas áreas a desarrollar.

4.2 Nivel de producción

Debido a que en este nivel se consideran 4 obras, los resultados y su posterior análisis se señalan en función de cada obra asociada a los tres casos de estudios respectivos. Todos los resultados gráficos se sustentan en las tablas asociadas al anexo correspondiente (Anexo H).

Desarrollos horizontales

Caso 1) Cumplimiento en un 75% de los rendimientos planificados:

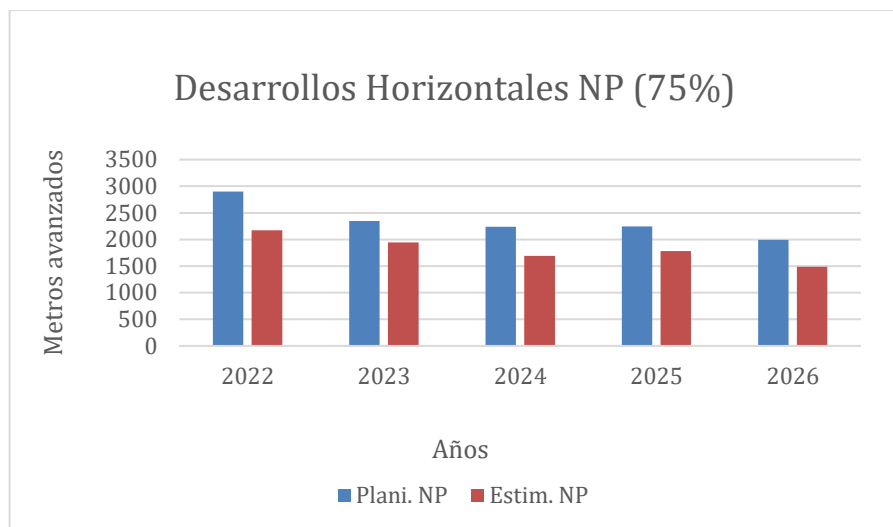


Figura 4.7: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 75%.

A partir de la información proporcionada por la figura 4.7, se observa una disminución en los rendimientos en comparación con los rendimientos planificados. Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 2646 metros pendientes que se tendrían que realizar posterior a su tiempo de planificación, lo que representa un atraso en las obras considerando que esa cantidad de metros de avance se planifica en uno de los años en estudio.

Los resultados visuales del avance se tienen como imagen en diciembre del 2026:

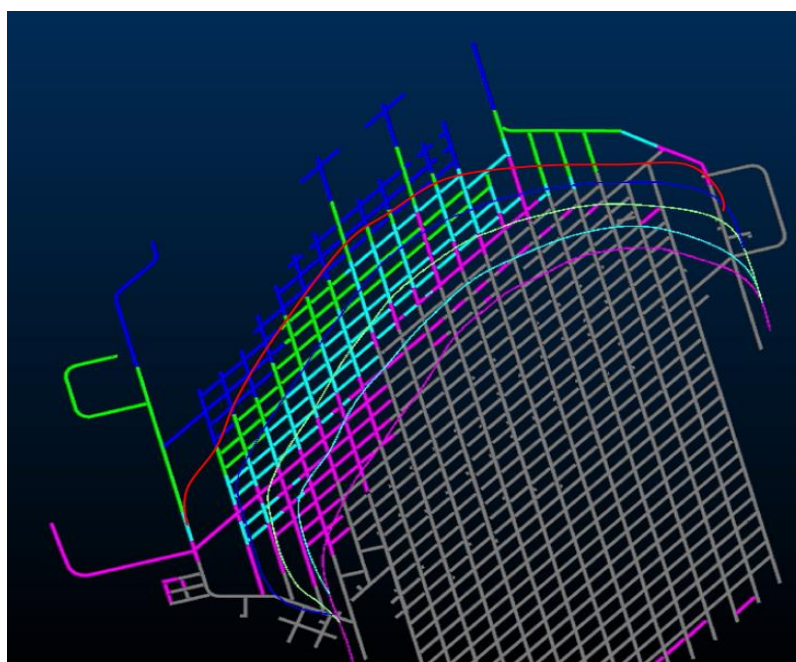


Figura 4.8: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

Respecto a la figura 4.8, en color gris se observan los desarrollos horizontales que se consideran realizados en diciembre del 2021 (Programa Revisión A) y en colores los desarrollos anuales planificados por cada año que se estiman realizados hasta diciembre del año 2026 con la delimitación de las respectivas zonas de transición para cada año.

En base a esta información, es posible determinar que para este caso no se tienen desarrollos estimados dentro de la zona de transición para ninguno de los años estudiados, generándose el caso más crítico, a fines del año 2026 (diciembre), en donde se observa un margen de 28 metros de distancia entre la zona de transición de ese año y los desarrollos a realizar.

Caso 2) Cumplimiento en un 65% de los rendimientos planificados:

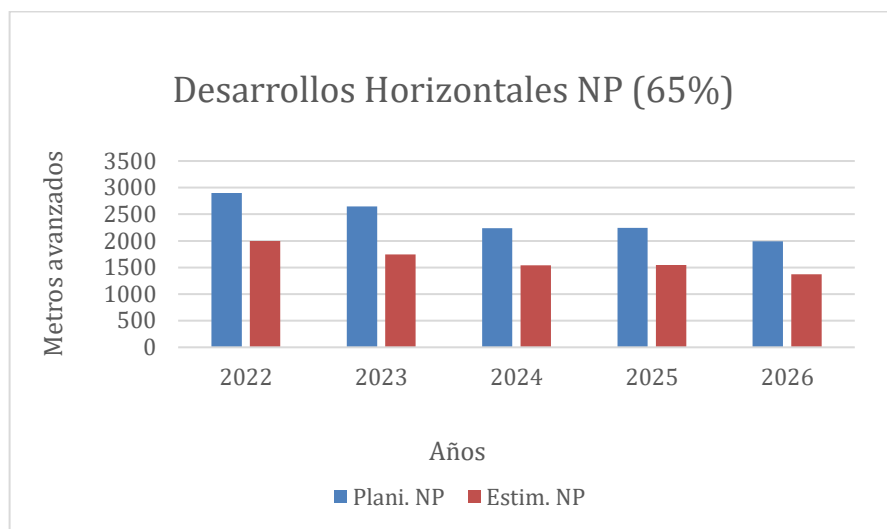


Figura 4.9: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 65%.

En base a la figura 4.9 se observa una mayor disminución de los rendimientos en función del caso base y del caso estudiado previamente (1). Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 3808 metros pendientes por realizar durante los años posteriores, lo que produce un retraso mayor respecto al caso anterior.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

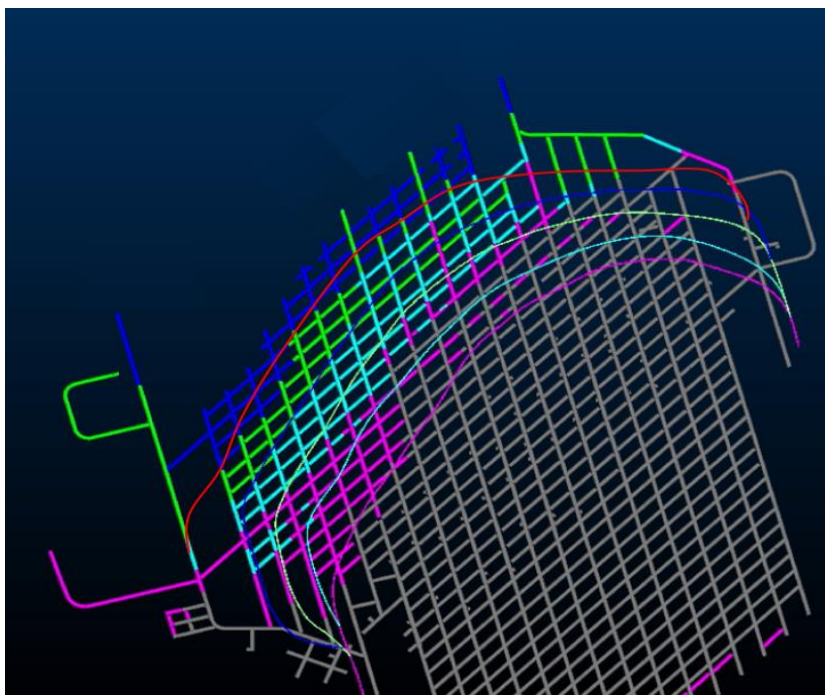


Figura 4.10: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

Considerando los resultados obtenidos, se observa en la figura 4.10 en color gris los desarrollos horizontales que se consideran realizados hasta diciembre del 2021 (Programa Revisión A) y en colores los desarrollos anuales planificados para cada año que se estiman realizados hasta diciembre del año 2026 con la delimitación de las respectivas zonas de transición para cada año.

Basándose en esta información, es posible determinar que para este caso no se tienen desarrollos estimados dentro de la zona de transición para ninguna de los años estudiados, generándose el caso más crítico, a fines del año 2026 (diciembre), en donde se observa un margen de 28 metros de distancia entre la zona de transición de ese año y los desarrollos a realizar.

Caso 3) Cumplimiento de un 110% respecto a los rendimientos planificados:

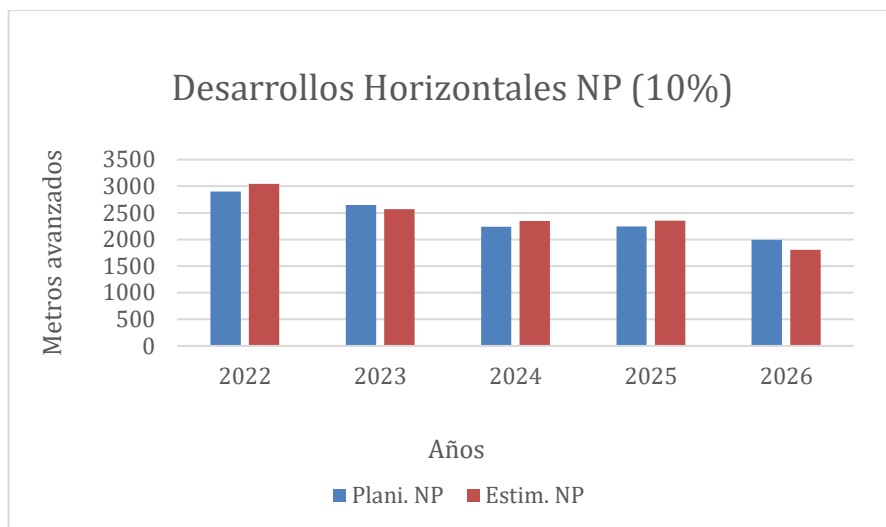


Figura 4.11: Distribución anual de desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

En base a la figura 4.11 se observa un aumento en los rendimientos anuales, lo que genera que el total de los desarrollos planificados se finalicen antes de lo previsto, en específico estos terminan en el mes de noviembre del año 2026, lo que explica la disminución en los desarrollos de ese año.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en agosto del 2026:

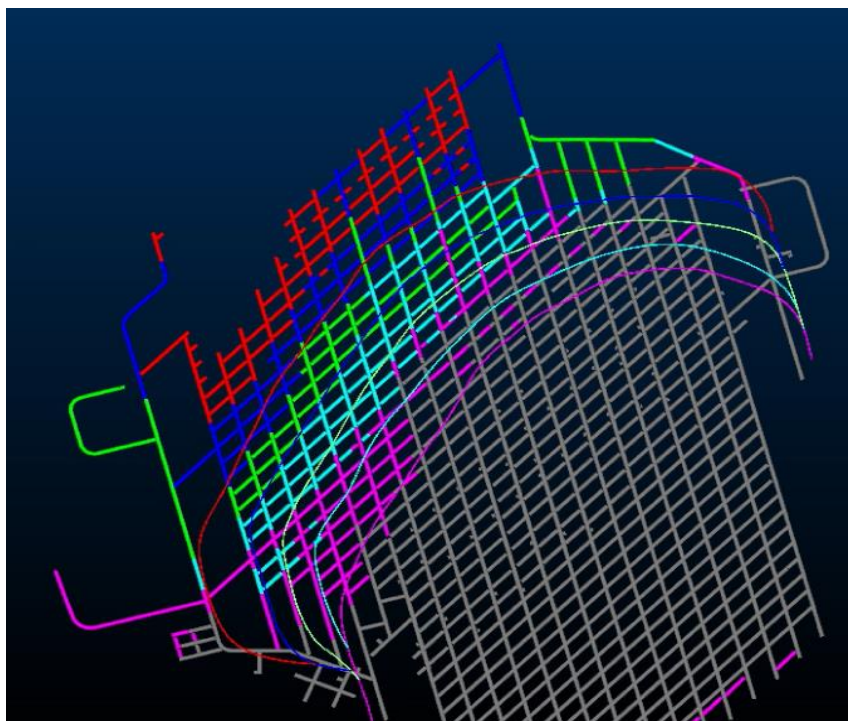


Figura 4.12: Vista isométrica de los desarrollos horizontales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a los resultados obtenidos en la figura 4.12, al considerar el aumento en el rendimiento, esto genera que no se tengan obras en la zona de transición, generando un margen mínimo de 56 metros entre la zona de transición y las próximas áreas a desarrollar.

Desarrollos Verticales

Caso 1) Cumplimiento en un 75% de los rendimientos planificados:

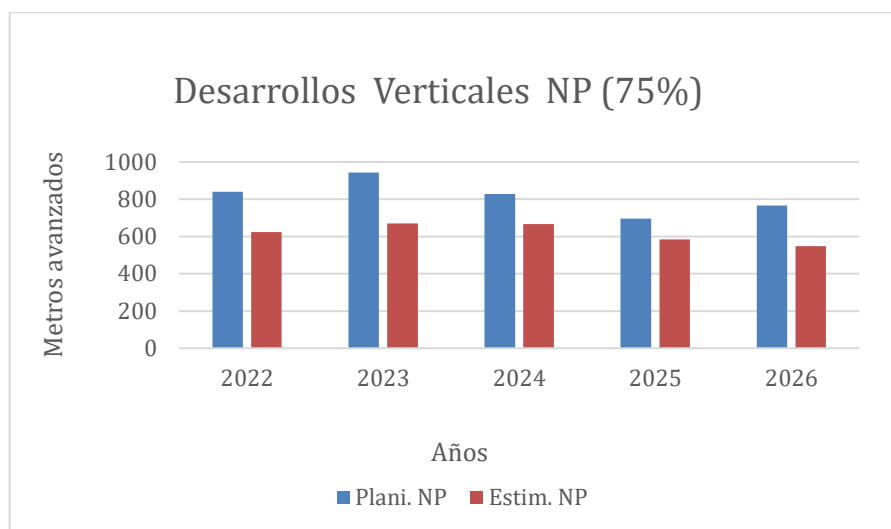


Figura 4.13: Distribución anual de los desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 75%.

Acorde a la figura 4.13 se observa una disminución en los rendimientos de los desarrollos verticales respecto a los planificados. Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 982 metros pendientes (equivalente a 26 chimeneas) que se tendrían que realizar posterior al tiempo planificado, lo que representa un atraso en las obras.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

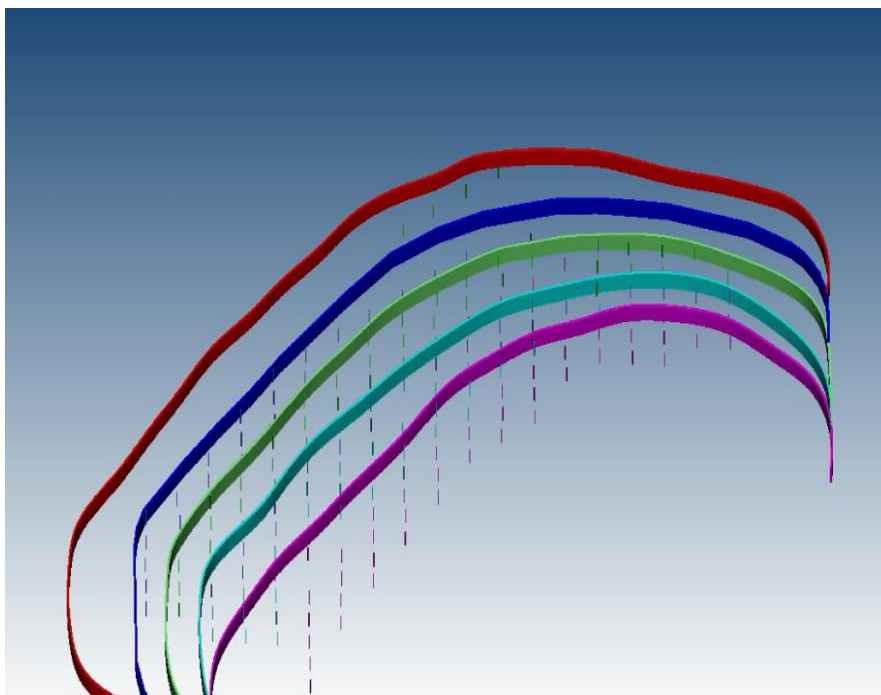


Figura 4.14: Vista isométrica de los desarrollos verticales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

La figura 4.14 se presenta en perspectiva isométrica para analizar de buena manera los desarrollos verticales que se observan como pequeños segmentos.

En base a esta información, es posible determinar que para este caso si se encuentran obras a realizar dentro de la zona de transición tanto para el año 2025 como para el año 2026. Esta situación genera un retraso en las obras y por tanto genera una posible detención del frente de hundimiento debido a que los desarrollos verticales no se cumplen en el tiempo planificado. Estas obras realizadas dentro de zona de transición se extienden por 52 metros desde la zona de transición del año 2026.

Caso 2) Cumplimiento en un 65% de los rendimientos planificados:

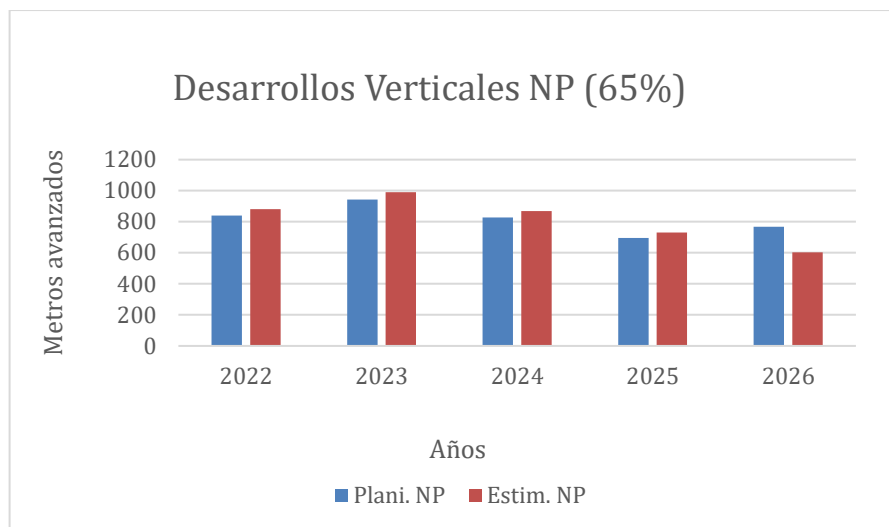


Figura 4.15: Distribución anual de los desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 65%.

Acorde a la figura 4.15 se observa una disminución en los rendimientos de los desarrollos verticales respecto a los planificados y al caso anterior (1). Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 1262 metros (equivalente a 33 chimeneas) pendientes que se tendrían que realizar posterior al periodo estimado, lo que representa un atraso en las obras superior que en el caso anterior.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

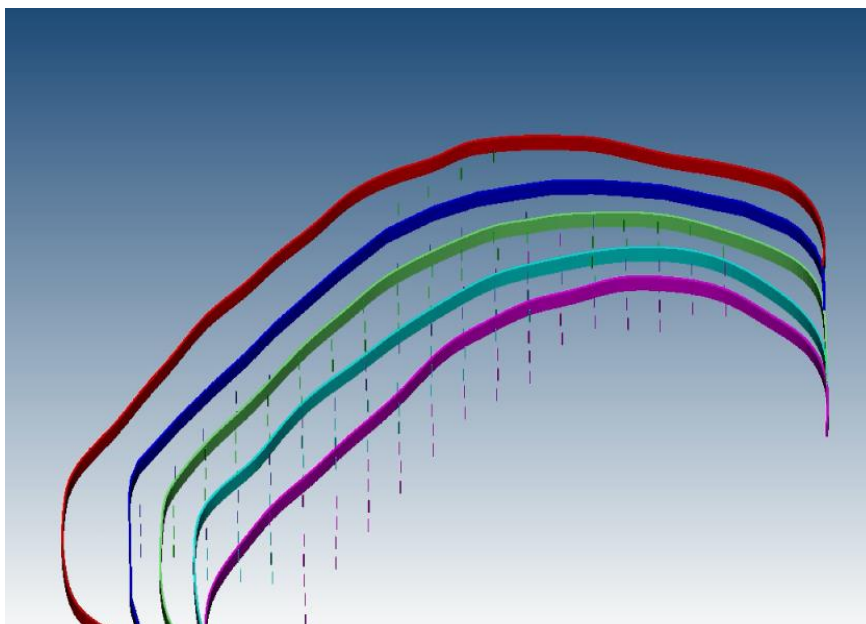




Figura 4.16: Vista isométrica de los desarrollos verticales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a esta información de la figura 4.16, es posible determinar que para este caso (al igual que en el caso anterior) si se encuentran obras a realizar dentro de la zona de transición tanto para el año 2025 como para el año 2026. Esta situación presenta una condición aún más crítica que en el caso 1, lo que representa un menor avance y por tanto un aumento en las obras a realizar dentro de zona de transición. Estas obras realizadas dentro de zona de transición se extienden por 64 metros desde la zona de transición del año 2026.

Caso 3) Cumplimiento de un 110% respecto a los rendimientos planificados:

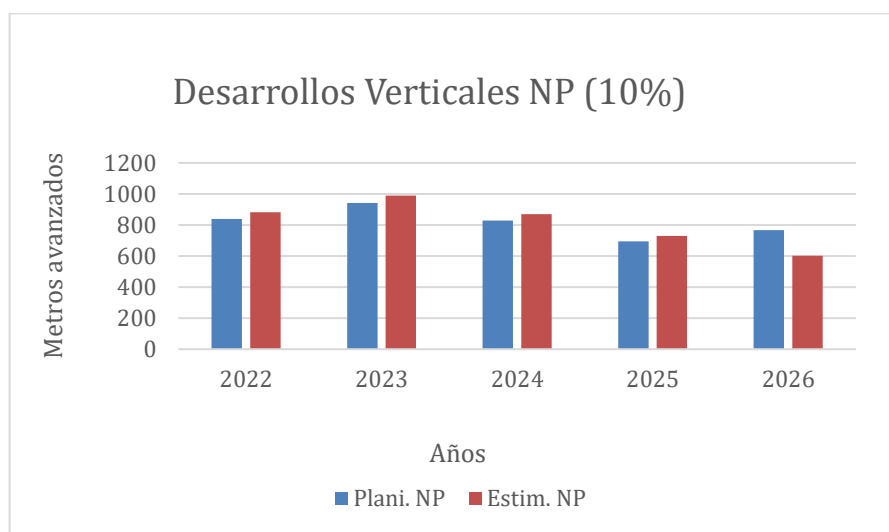


Figura 4.17: Distribución anual de desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado

En base a la figura 4.17 se observa un aumento en los rendimientos anuales, lo que genera que el total de los desarrollos planificados se finalicen antes de lo previsto, en específico terminan en el mes de septiembre del año 2026.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

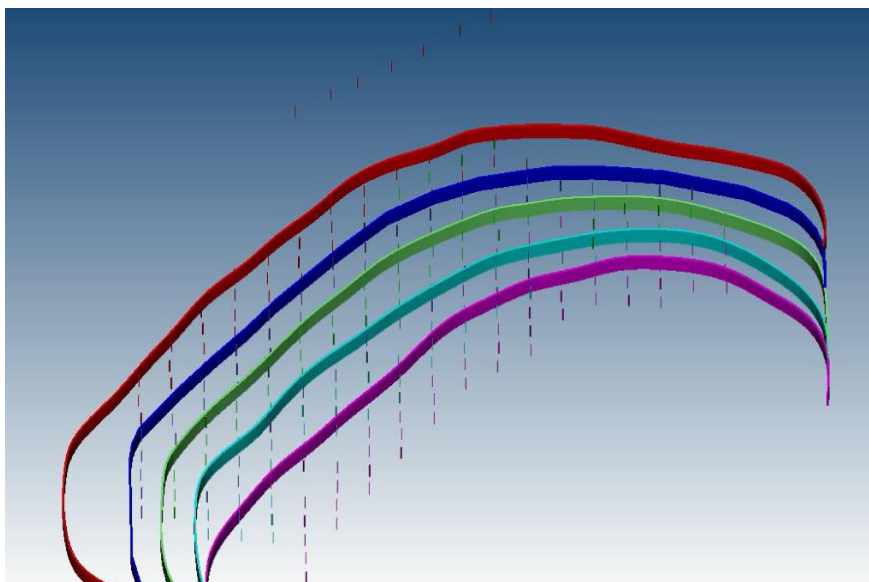


Figura 4.18: Vista isométrica de los desarrollos verticales estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado y delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a los resultados obtenidos en la figura 4.18, al considerar un aumento en los rendimientos, si se generan obras dentro de la zona de transición debido a que por planificación se encuentran obras a desarrollar dentro de ZT durante el año 2023 (lado suroeste).

Muros de confinamiento

Caso 1) Cumplimiento en un 75% de los rendimientos planificados:

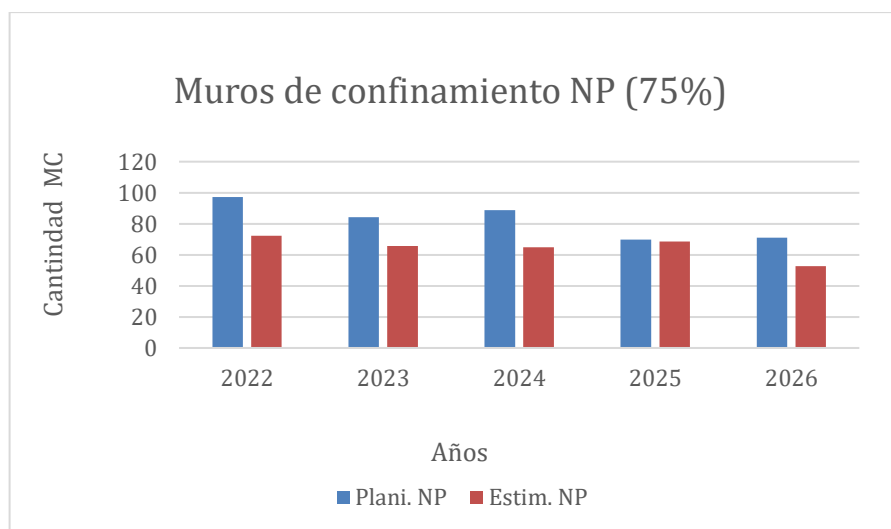


Figura 4.19: Distribución anual de los muros de confinamiento planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 75%.

Acorde a la información proporcionada por la figura 4.19 se observa una disminución en la cantidad de muros estimados en función de los planificados. Esta disminución genera que se tengan 87 muros pendientes que se tendrían que realizar posteriores al año 2026, lo que representa un atraso en las obras considerando que esa cantidad de metros de avance se puede planificar en uno de los años en estudio.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

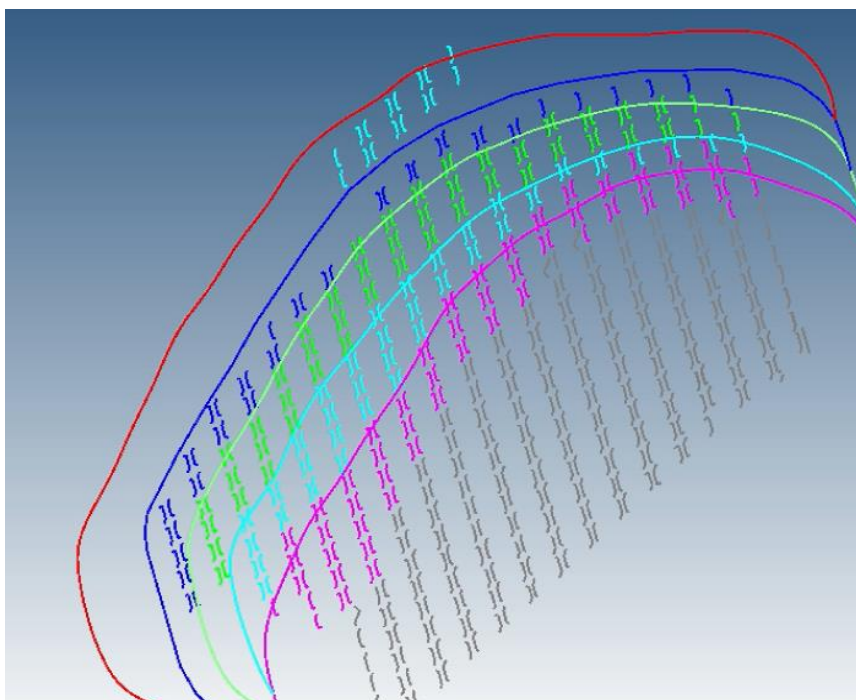


Figura 4.20: Vista en planta de los muros de confinamiento estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a la información de la figura 4.20, es posible determinar que para este caso si se encuentran muros por realizar dentro de la zona de transición tanto para el año 2025 como para el año 2026. Esta situación genera un retraso en este tipo de obra y por tanto genera una posible detención del frente de hundimiento debido a que los muros de confinamiento no se realizan en el tiempo planificado. Estas obras realizadas dentro de zona de transición se extienden por 60 metros desde la zona de transición del año 2026.

Caso 2) Cumplimiento en un 65% de los rendimientos planificados:

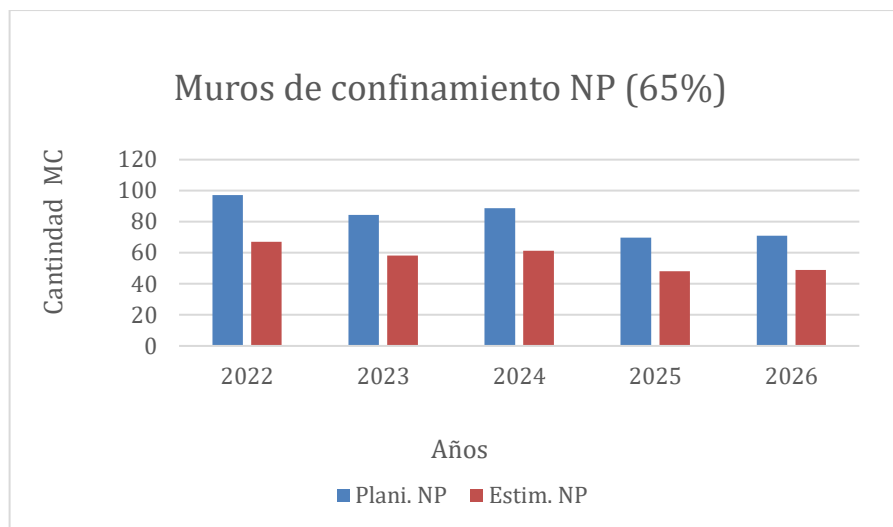


Figura 4.21: Distribución anual de los muros de confinamiento planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento del 65%.

Acorde a la información proporcionada por la figura 4.21, se observa una disminución aún mayor en la cantidad de muros estimados a realizar. Esta disminución genera que se tengan 127 muros de confinamiento retrasados respecto al tiempo de su planificación, lo que representa un atraso aún mayor en las obras en comparación con el caso anterior.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

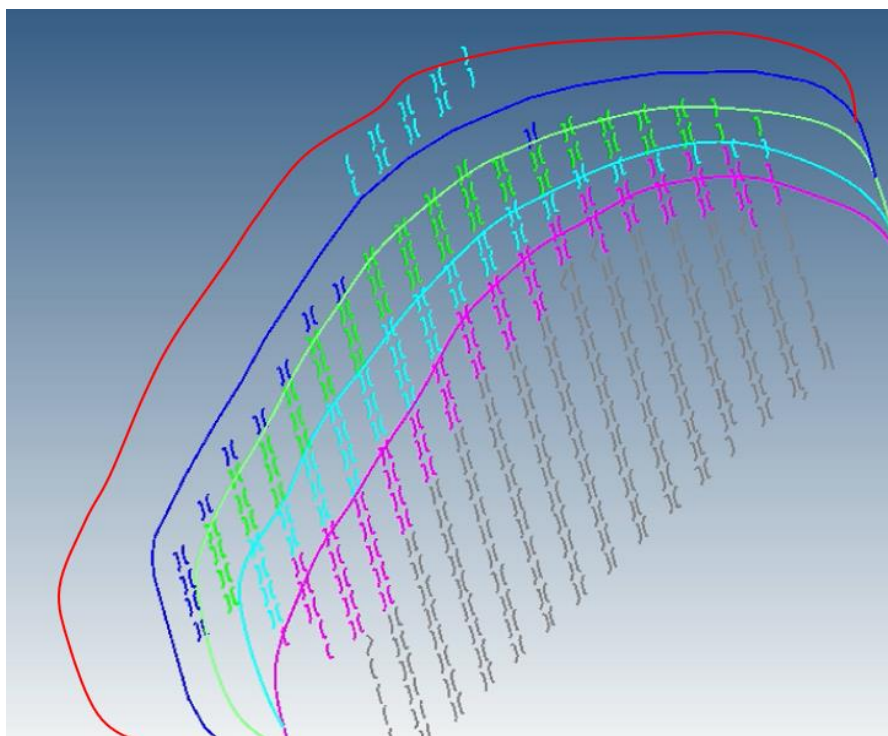


Figura 4.22: Vista en planta de los muros de confinamiento estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a la figura 4.22 se determina que para este caso si se tienen muros de confinamiento estimados dentro de la zona de transición, en específico durante los años 2025 y 2026, generándose una detención del frente de avance debido a las obras asociadas a estos periodos. Estos desarrollos dentro de la zona de transición se realizan en un margen de 80 metros (equivalente a 2 zonas de transición).

Caso 3) Cumplimiento de un 110% respecto a los rendimientos planificados:

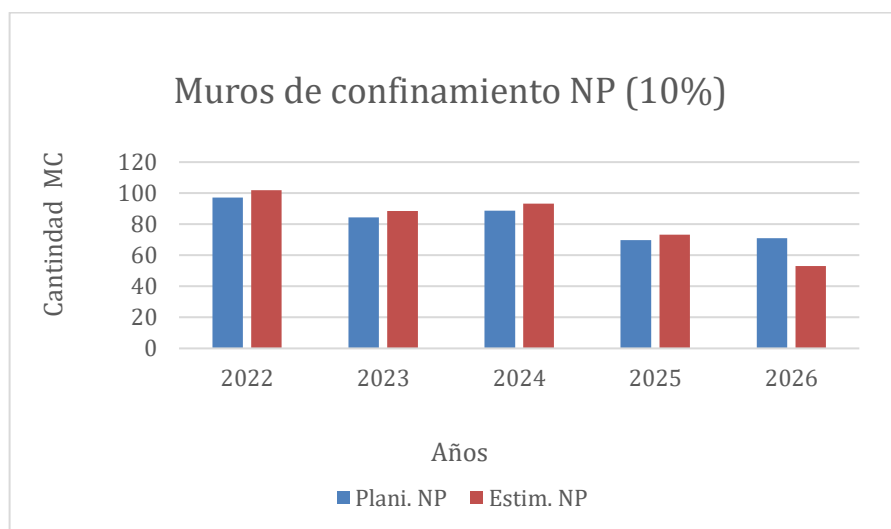


Figura 4.23: Distribución anual de los muros de confinamiento planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado

Acorde a la información proporcionada por la figura 4.23 se observa un aumento en la cantidad de muros estimados en base a lo planificado. Este aumento genera que las obras estimadas en el quinquenio se finalicen en julio del año 2026.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

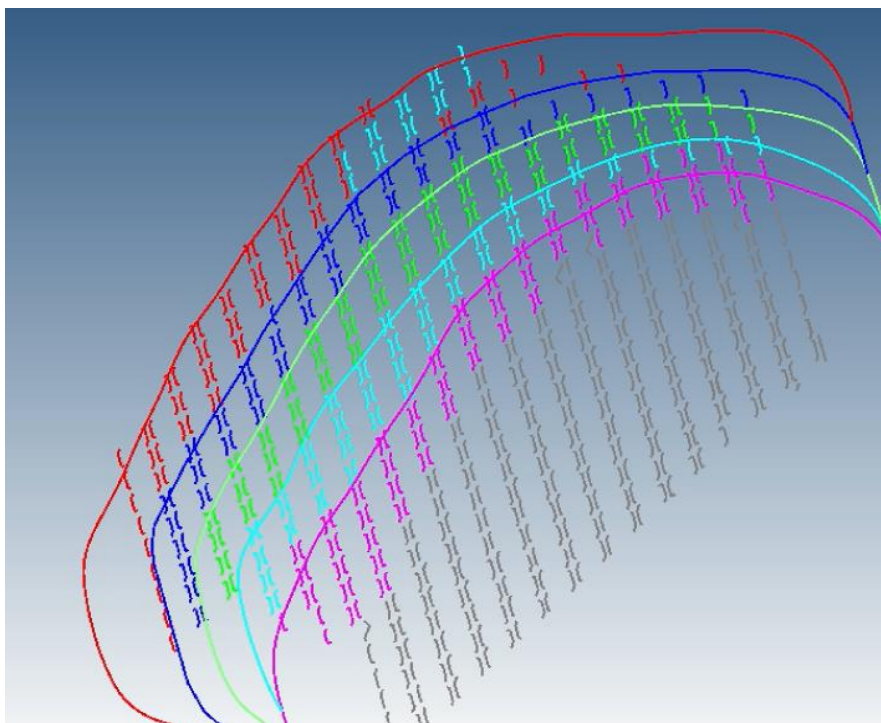


Figura 4.24: Vista en planta de los muros de confinamiento estimados para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a la figura 4.24 se determina que la totalidad de los muros de confinamiento se terminan antes de diciembre del 2026. Sin embargo, el margen que se tiene con obras es de 0 metros respecto a la distancia entre la zona de transición y las obras a realizar durante los próximos años, por lo que si bien, no se considera como una condición de riesgo, si puede determinar que es un margen crítico para las obras a futuro.

Carpeta de rodado

Caso 1) Cumplimiento en un 75% de los rendimientos planificados:

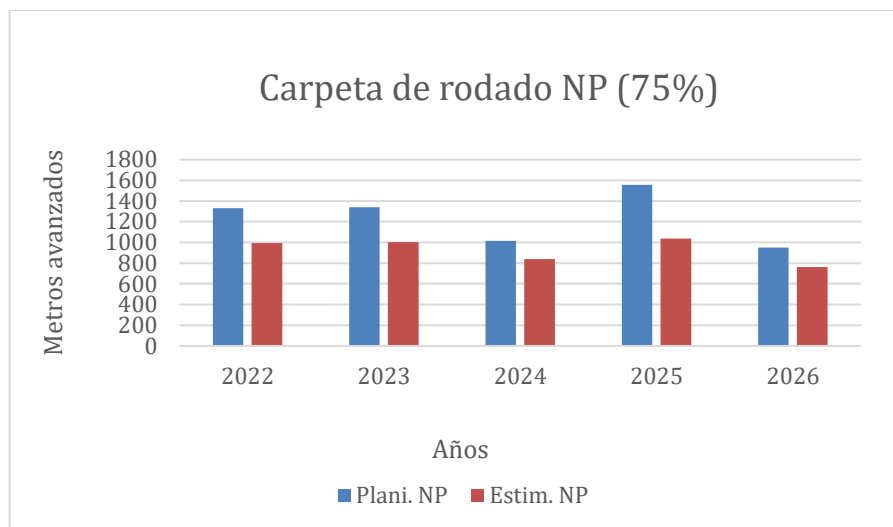


Figura 4.25: Distribución anual del avance en metros de la carpeta de rodado planificado y estimado para el nivel de producción con un rendimiento del 75%.

Acorde a la figura 4.25 se observa una disminución en los rendimientos de la carpeta de rodado respecto a la planificación. Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 1557 metros pendientes que se tendrían que realizar posterior al tiempo planificado, lo que representa un atraso en las obras.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

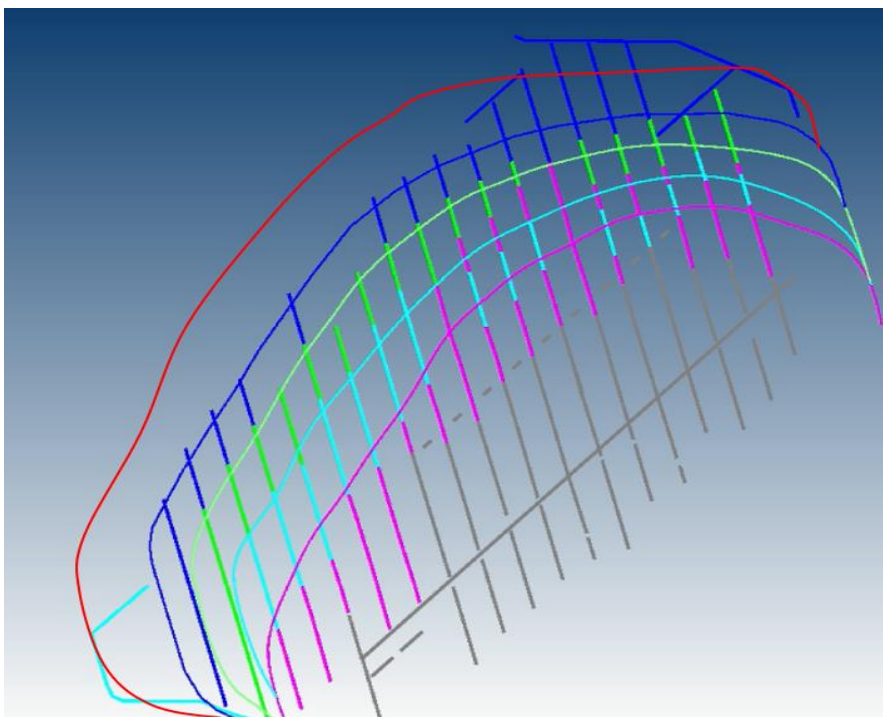


Figura 4.26: Vista en planta de la carpeta de rodado estimada para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a esta información de la figura 4.26, es posible determinar que para este caso si se encuentran obras a realizar dentro de la zona de transición tanto para el año 2025 como para el año 2026. Esta situación genera un retraso en las obras y por tanto genera una posible detención del frente de hundimiento debido a que la carpeta de rodado no se realiza en el tiempo planificado. Estas obras realizadas dentro de zona de transición se extienden por 80 metros desde la zona de transición del año 2026.

Caso 2) Cumplimiento en un 65% de los rendimientos planificados:

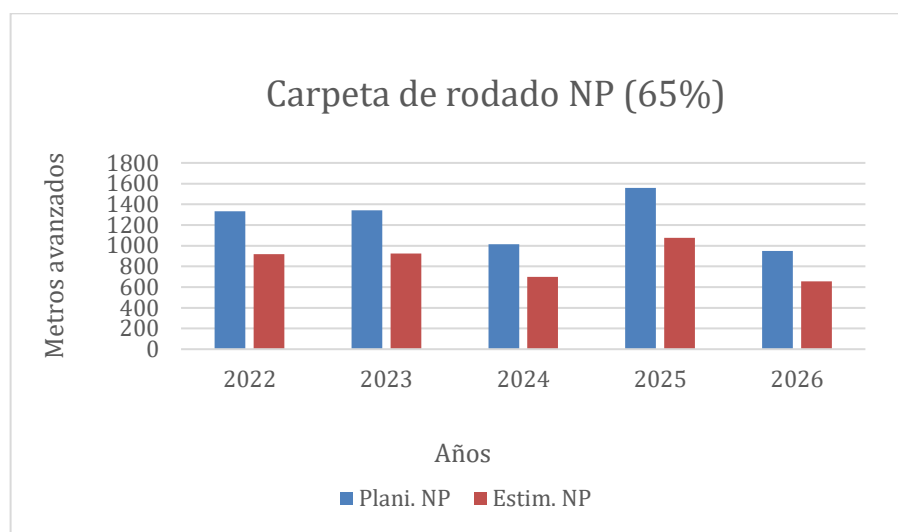


Figura 4.27: Distribución anual del avance en metros de la carpeta de rodado planificado y estimado para el nivel de producción con un rendimiento del 65%.

Acorde a la figura 4.27 se observa una disminución en los rendimientos de los desarrollos verticales respecto a los planificados y al caso anterior (1). Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 1920 metros pendientes que se tendrían que realizar posterior al periodo estimado, lo que representa un atraso en las obras superior que en el caso anterior.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

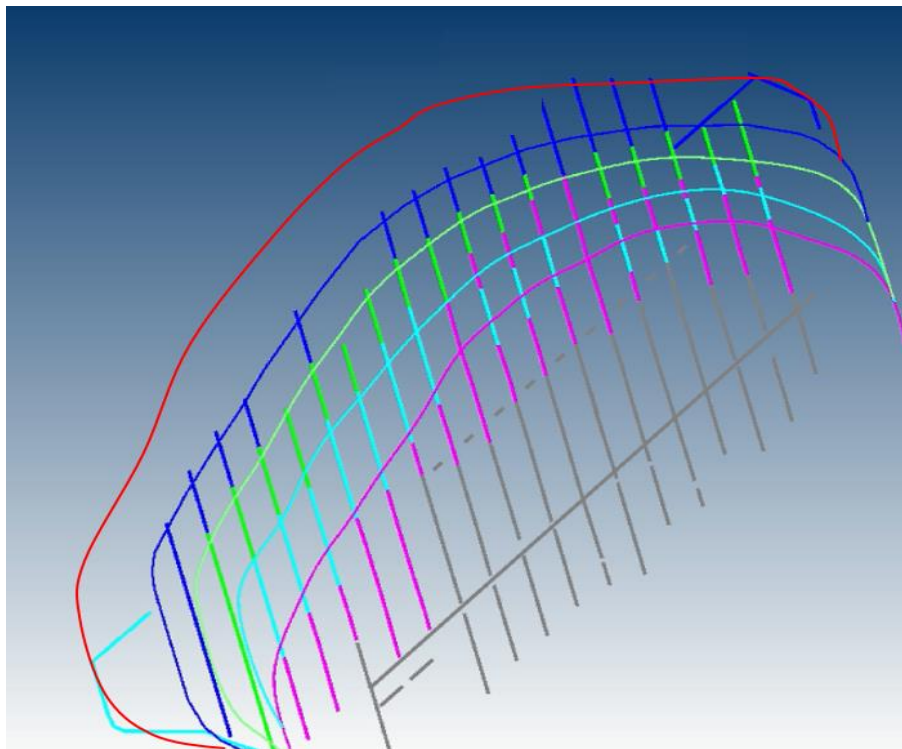


Figura 4.28: Vista en planta de la carpeta de rodado estimada para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a la información de la figura 4.28, es posible determinar que para este caso (al igual que en el caso anterior) si se encuentran obras a realizar dentro de la zona de transición tanto para el año 2025 como para el año 2026. Esta situación presenta una condición aún más crítica que en el caso 1, lo que representa un menor avance y por tanto un aumento en las obras a realizar dentro de zona de transición. Estas obras realizadas dentro de zona de transición se extienden por 80 metros desde la zona de transición del año 2026.

Caso 3) Cumplimiento de un 110% respecto a rendimientos planificados:

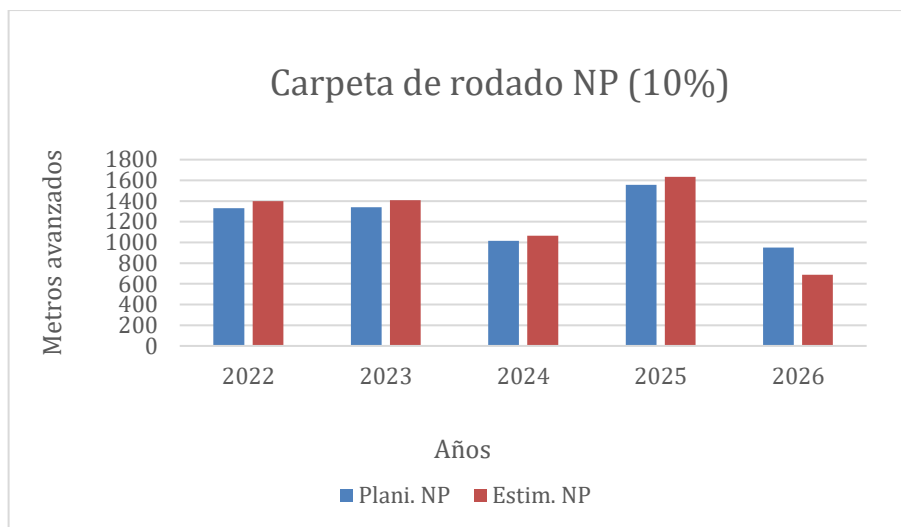


Figura 4.29: Distribución anual del avance en metros de la carpeta de rodado planificado y estimado para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado

Acorde a la información proporcionada por la figura 4.29 se observa un aumento en los rendimientos de la carpeta de rodado estimado en base a lo planificado. Este aumento genera que las obras estimadas en el quinquenio se finalicen en agosto del año 2026.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

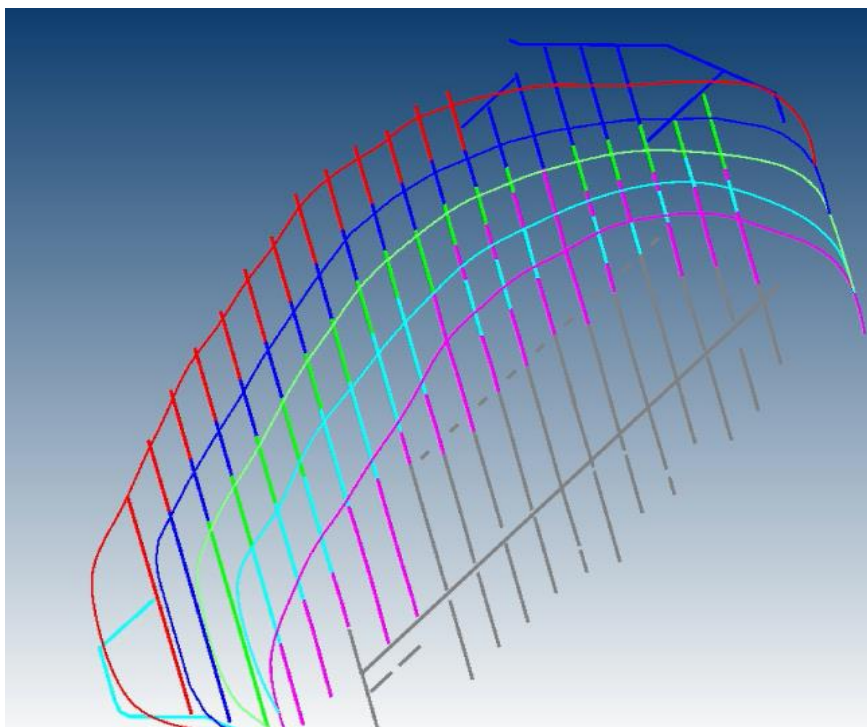


Figura 4.30: Vista en planta de la carpeta de rodado estimada para el NP hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a la figura 4.30, es posible determinar que para este caso si se consideran obras dentro de la zona de transición debido a obras planificadas que se tienen para el año 2023 que se realizan detrás de la zona de transición del año 2022.

4.3 Nivel de Acarreo

Respecto a los rendimientos estimados para el nivel de acarreo, los resultados se muestran por caso, indicando tanto los desarrollos horizontales como los desarrollos verticales para cada caso respectivamente.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en forma gráfica, los cuales que se basan en las tablas asociadas al anexo correspondiente (Anexo G):

Caso 1) Cumplimiento en un 85% de los rendimientos planificados:

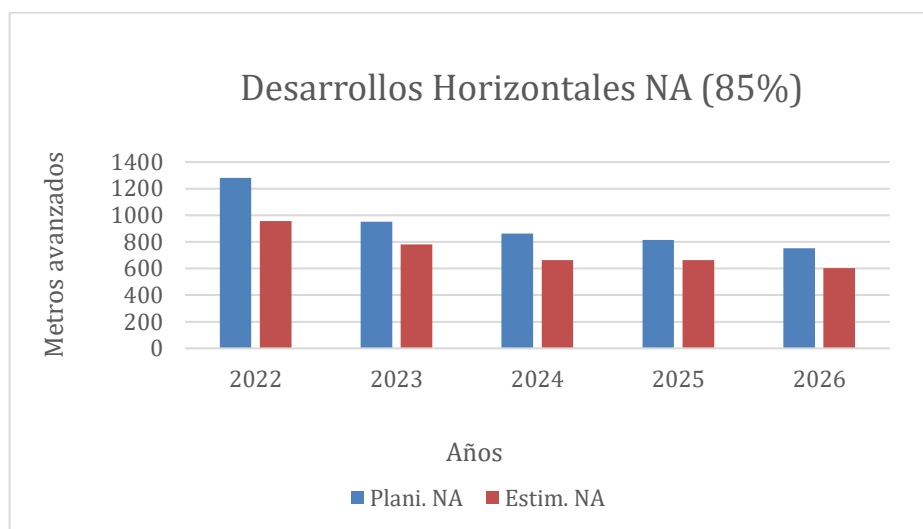


Figura 4.31: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento del 85%.

A partir de la información proporcionada la figura 4.31 se observa una disminución en los rendimientos en base a los rendimientos planificados. Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 996 metros pendientes que se tendrían que realizar posterior al tiempo planificado, lo que representa un atraso en las obras.

Respecto a los desarrollos verticales se tiene como resultado:

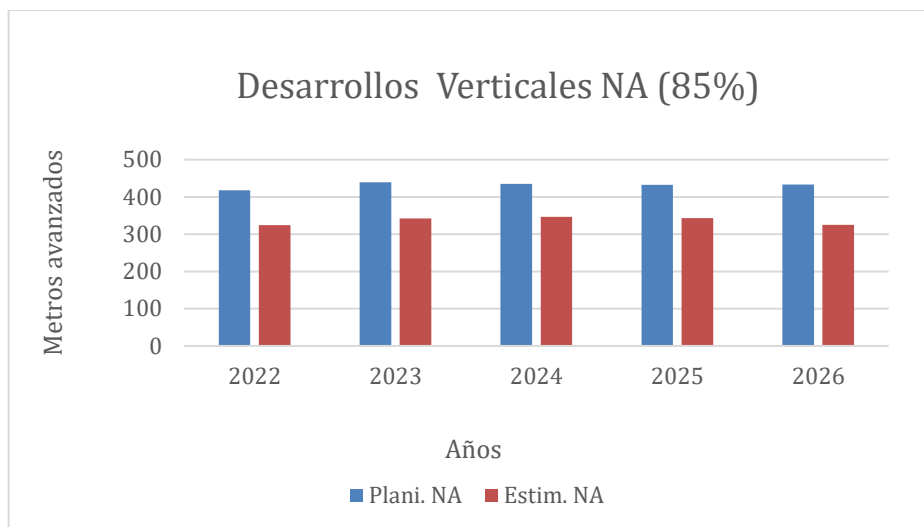


Figura 4.32: Distribución anual de los desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento del 85%.

Acorde a la figura 4.32 se observa una disminución en los rendimientos de los desarrollos verticales respecto a los planificados. Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 477 metros pendientes que se tendrían que realizar durante el año 2027, lo que representa un atraso en las obras.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

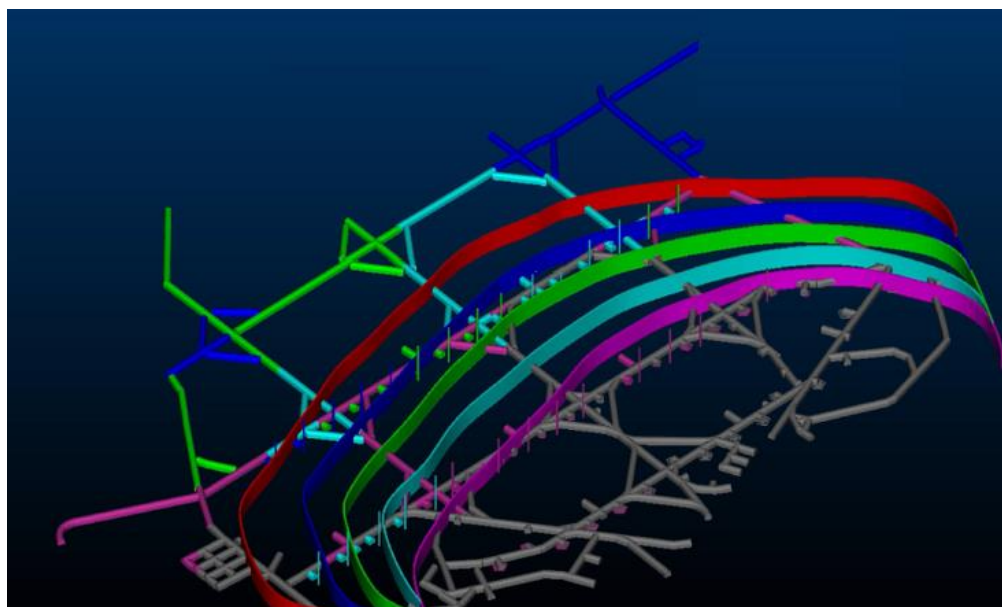


Figura 4.33: Vista isométrica de los desarrollos horizontales estimados para el NA hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 85%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En la figura 4.33 se observan en gris los desarrollos realizados hasta diciembre del 2021 (Programa Revisión A) y en colores los desarrollos anuales planificados para cada año que se estiman realizados hasta diciembre del año 2026 con la delimitación de las respectivas zonas de transición para cada año.

En base a esta información, es posible determinar que para este caso no se tienen desarrollos estimados dentro de la zona de transición para ninguna de los años estudiados, generándose el caso más crítico, a fines del año 2026 (diciembre), en donde se observa un margen de 104 metros de distancia entre la zona de transición de ese año y los desarrollos a realizar.

Caso 2) Cumplimiento en un 75% de los rendimientos planificados:

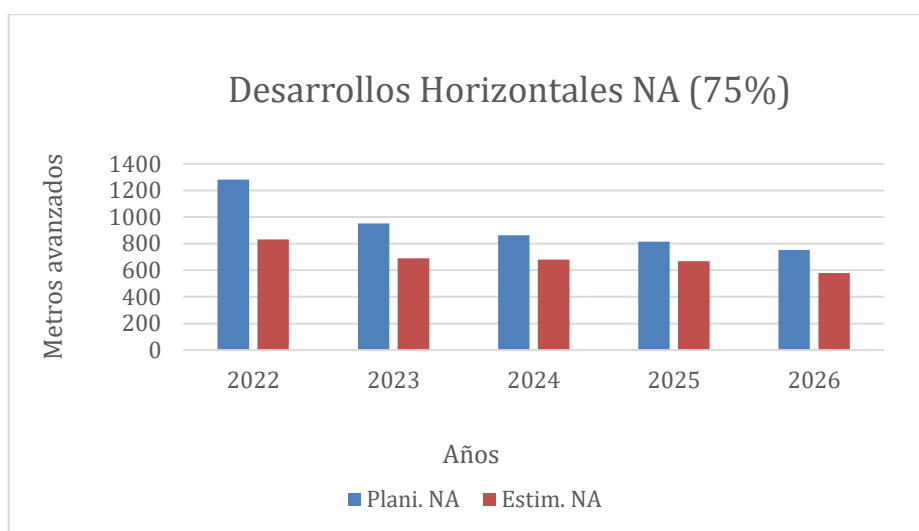


Figura 4.34: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento del 75%.

En base a la figura 4.34 se observa una mayor disminución de los rendimientos en función del caso base y del caso estudiado previamente (1). Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 1216 metros pendientes por realizar durante los años posteriores, lo que representa un aumento en 300 metros respecto al caso anterior.

Respecto a los desarrollos verticales se tiene como resultado:

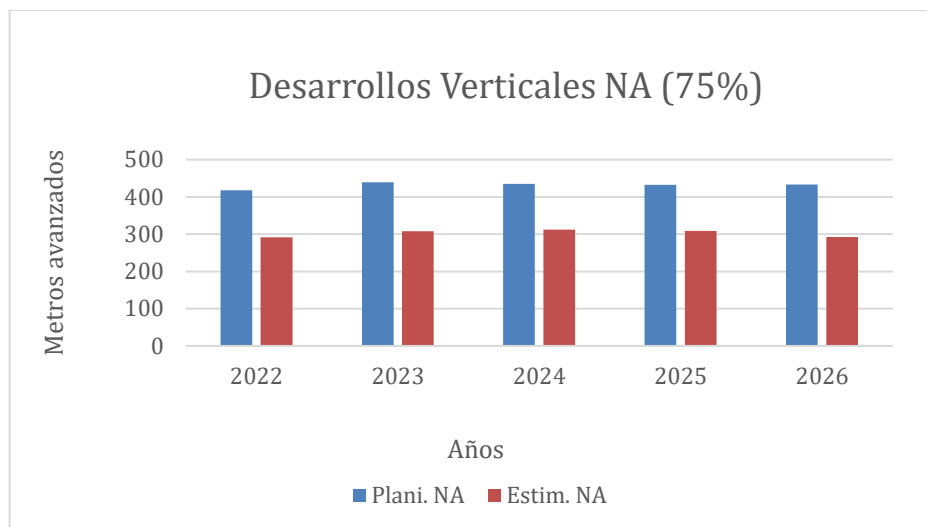


Figura 4.35: Distribución anual de los desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento del 75%.

La figura 4.35 muestra una disminución en los rendimientos de los desarrollos verticales respecto a los planificados. Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 645 metros pendientes que se tendrían que realizar durante el año 2027, lo que representa un atraso en las obras.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

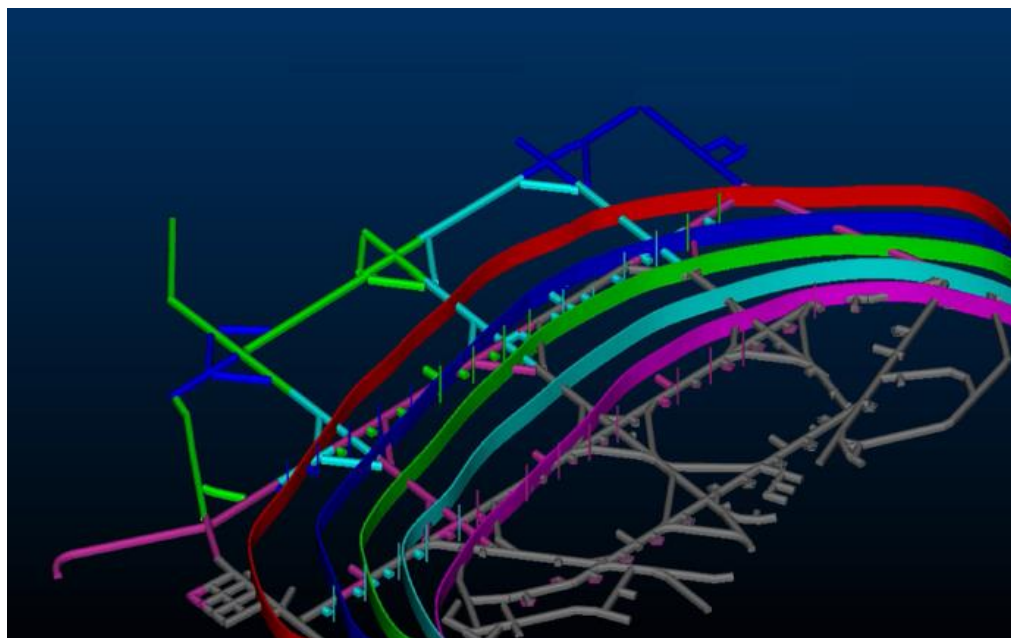


Figura 4.36: Vista isométrica de los desarrollos horizontales estimados para el NA hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a los resultados obtenidos en la figura 4.36, se observan (de igual modo que en el caso anterior) en color gris los desarrollos horizontales que se consideran realizados en diciembre del 2021 (Programa Revisión A) y en colores los desarrollos anuales planificados para cada año (Anexo A) que se estiman realizados hasta diciembre del año 2026 con la delimitación de las respectivas zonas de transición para cada año.

En base a esta información, es posible determinar que para este caso no se tienen desarrollos estimados dentro de la zona de transición para ninguna de los años estudiados, generándose el caso más crítico, a fines del año 2026 (diciembre), en donde se observa un margen de 96 metros de distancia entre la zona de transición de ese año y los desarrollos a realizar y se observa una disminución aun mayor en los desarrollos estimados para el año 2025.

Caso 3) Cumplimiento de un 110% respecto a los rendimientos planificados:

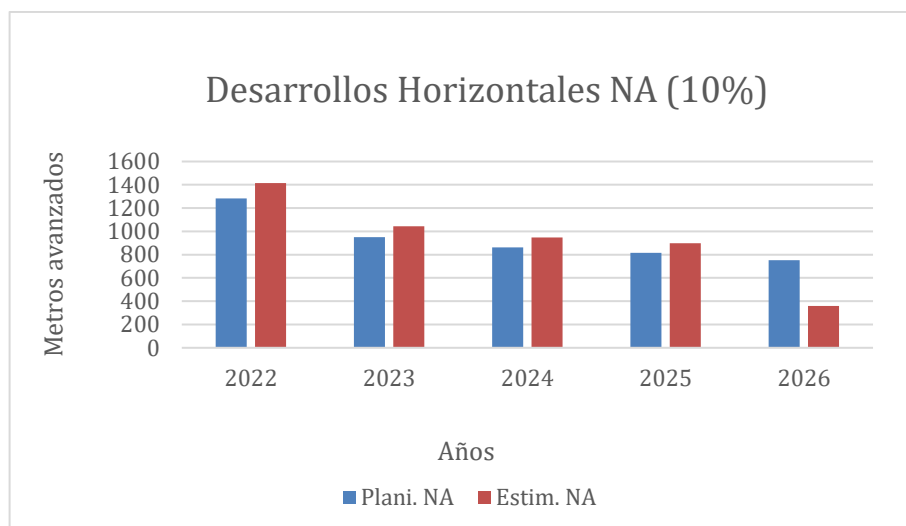


Figura 4.37: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado

En base a la figura 4.37 se observa un aumento en los rendimientos anuales, lo que genera que el total de los desarrollos planificados se finalicen antes de lo previsto, en específico estos terminan en el mes de agosto del año 2026.

Respecto a los desarrollos verticales se tiene como resultado:

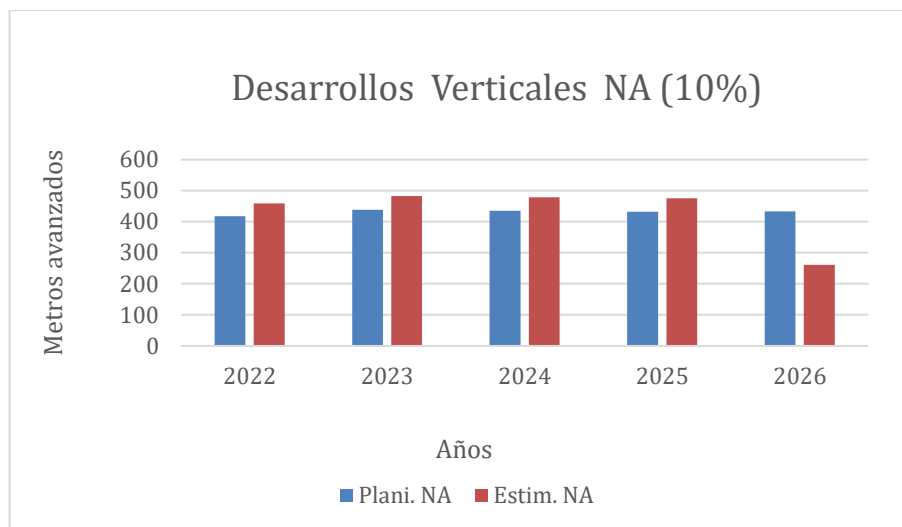


Figura 4.38: Distribución anual de desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

En base a la figura 4.38 se observa un aumento en los rendimientos anuales en los desarrollos verticales, lo que genera que el total de los desarrollos planificados se finalicen antes de lo previsto, en específico estos terminan en el mes de junio del año 2026.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en agosto del 2026:

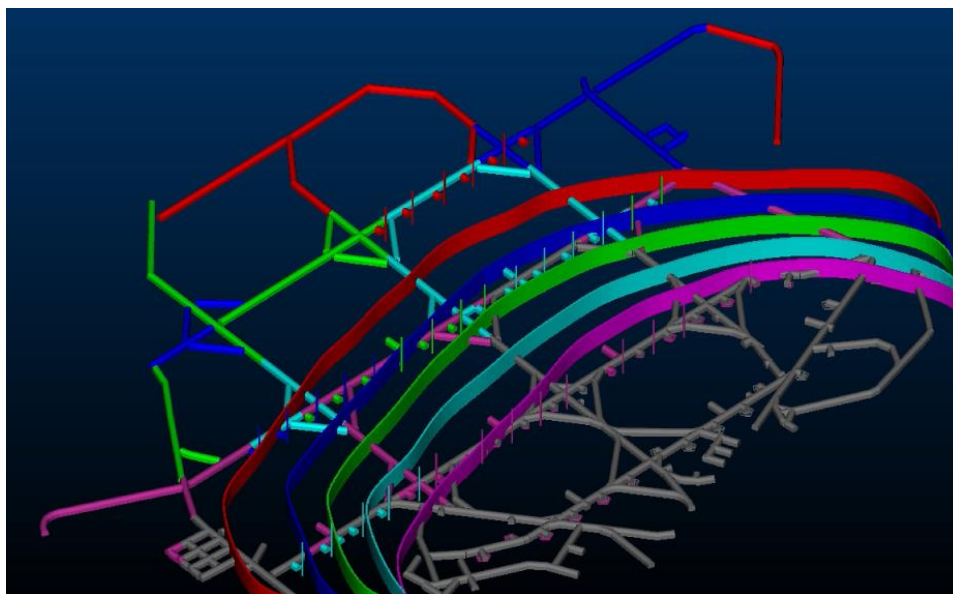


Figura 4.39: Vista isométrica de los desarrollos horizontales estimados para el NA hasta diciembre del año 2026 con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a los resultados obtenidos en la figura 4.39, al considerar el aumento en el rendimiento, esto genera que no se tengan obras en la zona de transición, generando un margen mínimo de 120 metros entre la zona de transición y las próximas áreas a desarrollar.

4.4 Subnivel de ventilación

Respecto a los resultados obtenidos para este nivel, se presentan los resultados en forma gráfica, los que se basan en las tablas asociadas al anexo correspondiente (Anexo F):

Caso 1) Cumplimiento en un 75% de los rendimientos planificados:

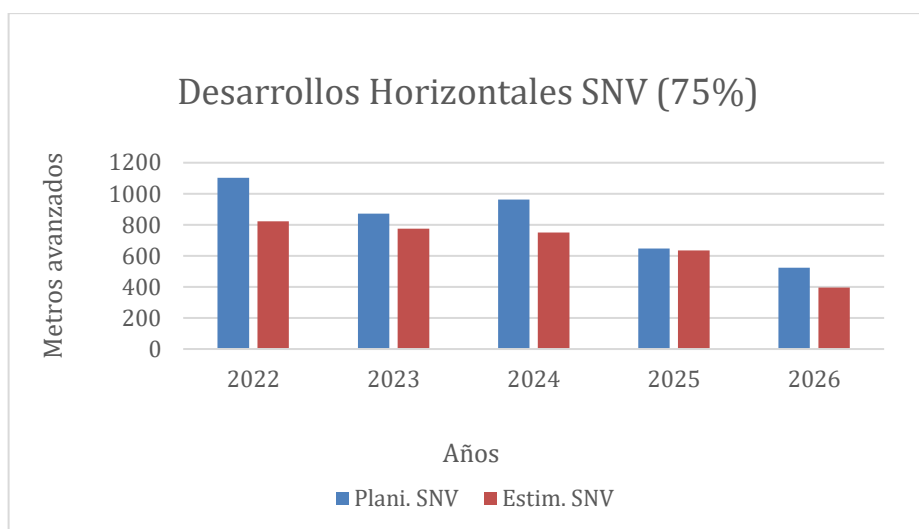


Figura 4.40: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el subnivel de ventilación con un rendimiento del 75%.

De acuerdo con la información proporcionada por la figura 4.40 se observa una disminución en los rendimientos en función de los rendimientos planificados. Esta disminución genera que se tengan 733 metros pendientes que se tendrían que realizar posteriores al año 2026, lo que representa un atraso en las obras considerando que esa cantidad de metros de avance se puede planificar en uno de los años en estudio.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

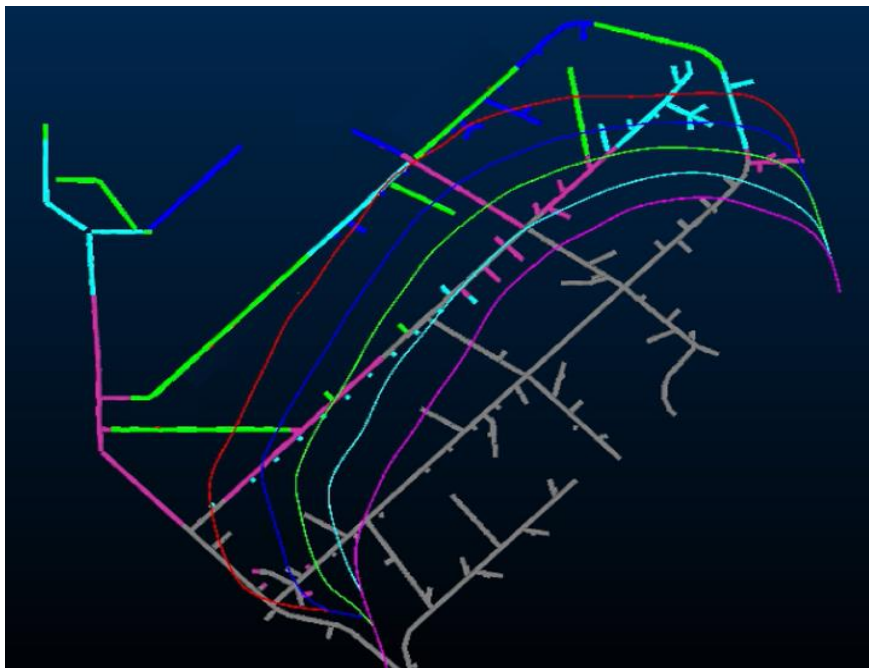


Figura 4.41: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el SNV hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 75%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

En base a la figura 4.41, se determina que para este caso si se tienen desarrollos estimados dentro de la zona de transición, en específico durante el año 2026, generando una detención del frente de avance debido a las obras asociadas al XS 2 de extracción, provocado en base a los desarrollos horizontales que conectan una chimenea de ventilación que va hacia el nivel de acarreo. Estos desarrollos se realizan en contra del avance de la zona de transición (y por tanto en contra del frente de avance del hundimiento). Estos desarrollos dentro de la zona de transición se realizan en un margen de 32 metros (equivalente a 1.1 zonas de transición).

Caso 2) Cumplimiento en un 65% de los rendimientos planificados:

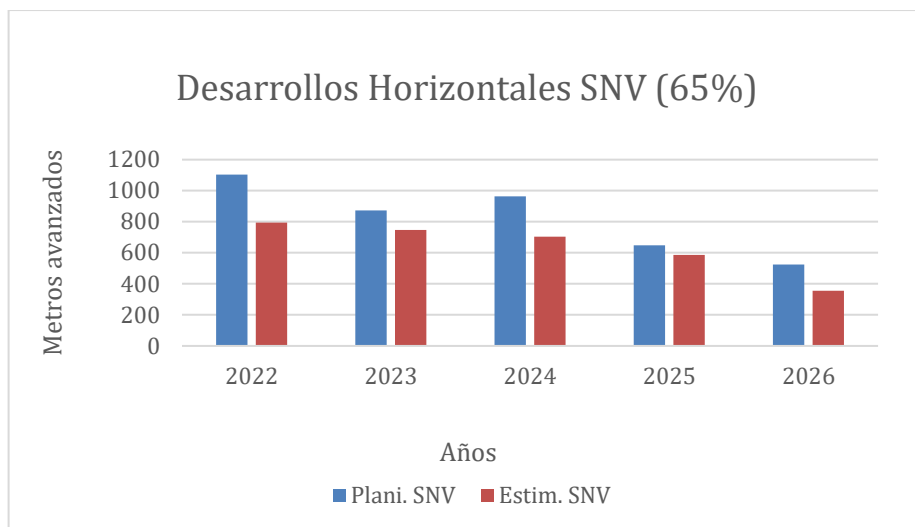


Figura 4.42: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el subnivel de ventilación con un rendimiento del 65%.

Acorde a la información proporcionada por la figura 4.42 se observa una disminución aún mayor en los rendimientos en base a los rendimientos planificados. Esta disminución en los rendimientos genera que se tengan 923 metros pendientes que se tendrían que realizar durante el año 2027, lo que representa un atraso aún mayor en las obras en comparación con el caso anterior.

Como resultados visuales del avance se tiene como imagen en diciembre del 2026:

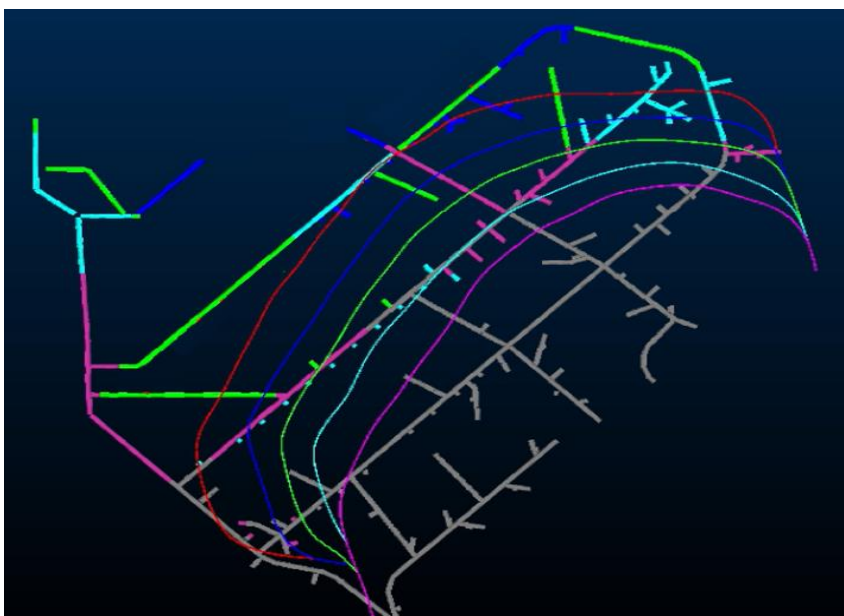


Figura 4.43: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el SNV hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento del 65%, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

La figura 4.43 muestra que para este caso si se tienen desarrollos estimados dentro de la zona de transición, en específico durante el año 2026, generándose una detención del frente de avance debido a las obras asociadas al XS 2 de extracción provocado en base a los desarrollos horizontales realizados que conectan una chimenea de ventilación que va hacia el nivel de acarreo (misma situación que en el caso anterior). En este caso, se estima que todo el desarrollo de esta chimenea se realiza dentro de la zona de transición, ya que, debido al retraso de los desarrollos, se tiene una mayor cantidad de obras realizadas dentro de la zona de transición. Estos desarrollos dentro de la zona de transición se realizan en un margen de 44 metros (equivalente a 1.1 zonas de transición).

Caso 3) Cumplimiento de un 110% respecto a los rendimientos planificados:

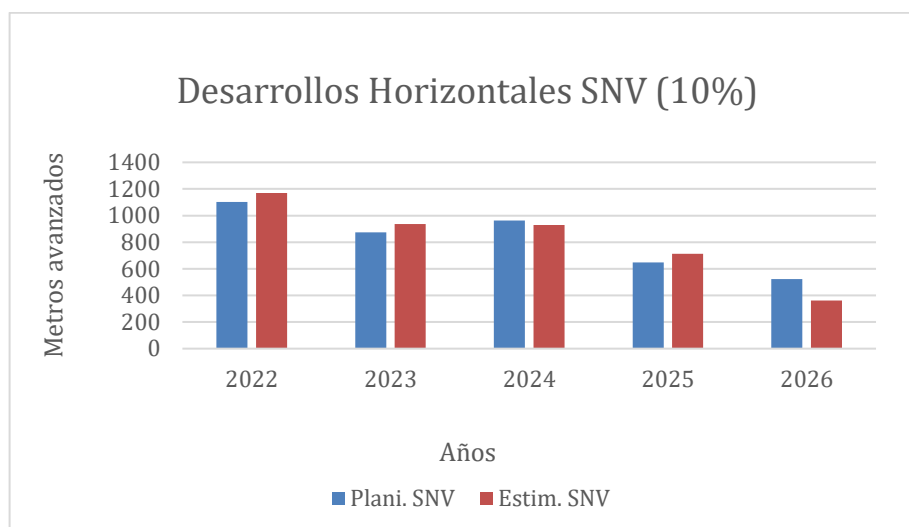


Figura 4.44: Distribución anual de los desarrollos horizontales planificados y estimados para el subnivel de ventilación con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado

De acuerdo a la información proporcionada por la figura 4.44, se observa un aumento de los rendimientos en base a lo planificado. Este aumento genera que las obras estimadas en el quinquenio se finalicen en agosto del 2026.

Los resultados visuales del avance se tienen como imagen en diciembre del 2026:

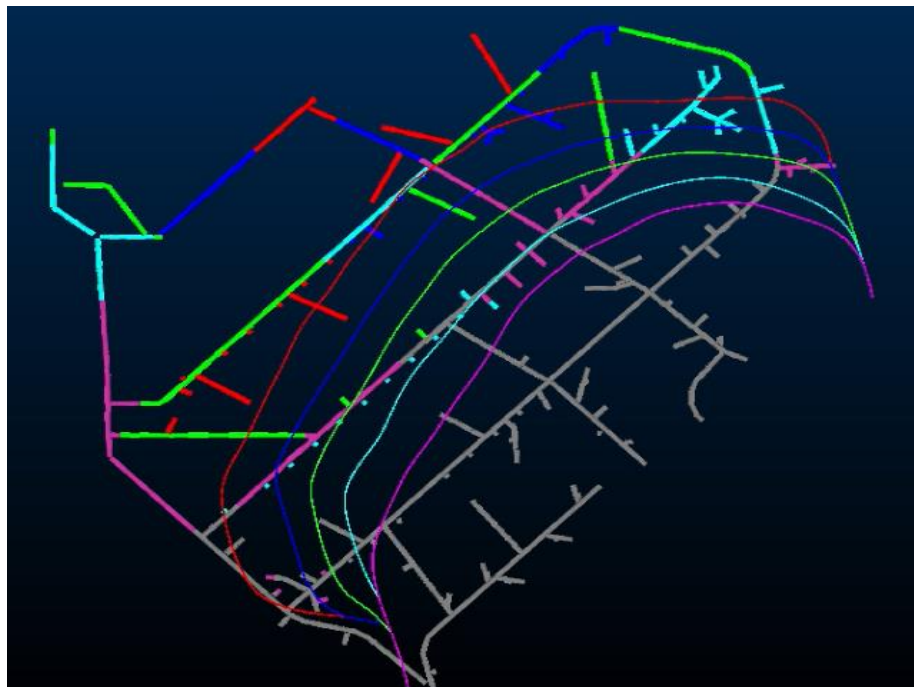


Figura 4.45: Vista en planta de los desarrollos horizontales estimados para el SNV hasta diciembre del año 2026 considerando un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado, en conjunto a las respectivas delimitaciones de las zonas de transición anuales.

A partir de la figura 4.45, se determina que al considerar el aumento en los rendimientos no se tienen obras dentro de zona de transición. Sin embargo, el margen que se tiene con obras es de 8 metros (0.2 ZT) respecto a la distancia entre la zona de transición y las obras a realizar durante los próximos años, por lo que si bien, no se considera como una condición de riesgo, si puede determinar que es un margen crítico para las obras a futuro.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En base a los datos analizados se observa que el nivel de hundimiento no presenta riesgos de seguridad asociados a la realización de obras (desarrollos horizontales) dentro de la zona de transición para ninguno de los tres casos estudiados. Esto indica que no se presenta exposición del personal a circunstancias riesgosas para ningún caso estudiado.

Se concluye que, para el nivel de producción, en particular los desarrollos horizontales, no presentan riesgos asociados a la realización de este tipo de desarrollo dentro de la zona de transición para ninguno de los tres casos estudiados. Para las obras de desarrollos verticales, muros de confinamiento y carpeta de rodado se tienen las siguientes conclusiones:

- Considerando los desarrollos verticales planificados en el nivel de producción, se determina que los tres casos en estudio presentan riesgos asociados a la realización de obras dentro de zona de transición.
- Respecto a los muros de confinamiento planificados para el nivel de producción, los resultados indican que los casos que presentan riesgos asociados a la realización de obras dentro de zona de transición corresponden a los casos 1 y 2 (75% y 65% de cumplimiento). Para el tercer caso estudiado (cumplimiento de un 110%) no se presentan riesgos asociados.
- Tomando en cuenta la carpeta de rodado en para el nivel de producción, se visualizan obras dentro de la zona de transición para los tres casos estudiados.

Se indica respecto al nivel de acarreo, que este presenta riesgos de seguridad asociados a la realización de obras dentro de zona de transición para los desarrollos verticales en los casos 1 y 2 (85% y 75% de cumplimiento). Para el tercer caso estudiado (cumplimiento de un 110% del rendimiento planificado) no se presentan riesgos de seguridad asociados a la realización de obras dentro de la zona de transición. Respecto a los desarrollos horizontales, se concluye que ninguno de los tres casos estudiados presenta riesgos de seguridad asociados a obras dentro de la zona de transición.

Los resultados determinan que subnivel de ventilación presenta riesgos de seguridad relacionados a la realización de obras dentro de la zona de transición para los casos 1 y 2 (75% y 65% de



cumplimiento en los desarrollos horizontales respectivamente). Para el tercer caso estudiado (cumplimiento de un 110% del rendimiento planificado) no se presentan riesgos de seguridad asociados a la realización de obras dentro de la zona de transición.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda continuar con la profundización del estudio variando rendimientos y obras en estudio por nivel, ya que permite conocer los posibles escenarios del avance de la preparación minera.
- Se recomienda mantener el avance planificado en el nivel de hundimiento, ya que si bien, se concluye que este no presenta riesgos ante una disminución de los rendimientos, se debe continuar con un avance homogéneo en el nivel debido al avance continuo del frente de hundimiento.
- Acorde a lo señalado del subnivel de ventilación, se recomienda focalizar los desarrollos horizontales asociados al XS 2 de extracción, en particular los desarrollos vinculados a la chimenea de ventilación que va hacia el nivel de acarreo, ya que este tramo es el que presenta condiciones de riesgo asociado a la realización de obras dentro de la zona de transición. En caso de no poder focalizar los desarrollos, se recomienda buscar alternativas de desarrollos mecanizados para disminuir la exposición del personal a cargo.
- Para el nivel de acarreo se recomienda focalizar los desarrollos horizontales y verticales asociados a los buzones 28 y 29 debido a que, si bien no se tienen obras dentro de la zona de transición, estas obras son las que se encuentran con mayor cercanía a dicha zona.
- En el nivel de producción se recomienda mantener el avance respecto a los desarrollos horizontales, ya que si bien, este no presenta riesgos ante una disminución de los rendimientos, se debe continuar con un avance homogéneo en el nivel y un retraso en este desarrollo, presenta un retraso para todos los desarrollos y obras continuas. Respecto a los desarrollos verticales, al tener desarrollos dentro de zona de transición, se recomienda implementar una mecanización de estos desarrollos para disminuir la exposición de los trabajadores.
- En cuanto a la construcción de muros de contención y carpeta de rodado, se recomienda buscar nuevas herramientas y tipos de construcciones mecanizadas que permita disminuir



la exposición del personal, y en caso de no tener éxito, se recomienda aumentar los rendimientos de estas obras.

- Se recomienda continuar con el estudio realizado, incluyendo otras obras asociadas a la preparación minera como puntos de extracción y puntos de vaciado.
- Se recomienda estudiar otros rendimientos en las obras, para así poder obtener en que rendimientos, el avance de las obras presenta un cambio relevante para el proceso de la preparación minera.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegría, J.P. (2010). Evaluación Técnica de la Preparación Minera para el Proyecto Nuevo Nivel Mina. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería.
- Barboza Roco, M. F. I. (2019). Metodología para la determinación de hundimiento en minas de Panel Caving bajo incertidumbre geológica. Tesis para Optar al Grado de Magíster en Minería. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
- Brown, (2002). Block Caving Geomechanics. Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, The University of Queensland.
- Camhi, J. (2012). Optimización de los Procesos de Desarrollo y Construcción en Minería de Block Caving Caso Estudio Mina El Teniente Codelco Chile. Tesis para Optar al Grado de Magíster en Minería. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Lobiano Correa, C. H. (2016). Inclusión de interferencias operacionales de origen geotécnico en planificación minera de Panel Caving. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería.
- Navarro Quilodrán, M. E. (2017). Metodología para el cálculo y seguimiento de productividad en la preparación minera para minería subterránea de Block/Panel Caving en División El Teniente. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería.
- Rabajille Siraqyan, A. N. (2017). Preparación minera con equipos autónomos y semiautónomos. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería.
- Rivero Abarca, V. S. (2008). Evaluación Geomecánica de Estrategias de Socavación en Minería Subterránea. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería.



- Sáez Garrido, K. T. (2019). Diseño de nivel de producción alternativo en Block/Panel Caving. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Concepción, Chile. Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Metalúrgica.
- Salgado, J. (2009). Secuenciamiento genérico de obras para la planificación de preparación minera mina El Teniente. Memoria de Titulo. Santiago: Universidad de Santiago de Chile.
- SME- Society for Mining, Metallurgy & Exploration, SME Mining Engineering Handbook, 3rd ed. 2011.
- Vásquez Candia, J. A. (2018). Optimización de planes mineros en minas explotadas por Panel Caving incluyendo actividades de preparación minera. Tesis para Optar al Grado de Magíster en Minería. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.



ANEXOS

Software Mine24D (A)

En base a la familiarización con el software, se tiene como datos de entrada y salida para cada nivel: hacer diagrama con flechas.

- ✓ Diseños.
- ✓ Secuencia.
- ✓ Rendimientos.

Como datos de salida se tendrán:

- ✓ Desarrollos mensualizados de las obras a estudiar.
- ✓ Secuencia dinámica visual.

Caso Base (B)

Los rendimientos asociados al caso base por nivel corresponden a los entregados por el plan de revisión A (datos asociados al año 2022) y por el programa de desarrollos y negocio (datos asociados a 2023, 2024, 2025 y 2026), los cuales se indican en las tablas a continuación:

Tabla 0.1: Desarrollos horizontales (en metros) considerados en el caso base para los cuatro niveles estudiados

Año/Nivel	NH	NP	NA	SNV
2022	1794	2992	1286	1103
2023	1397	2544	959	873
2024	1141	2240	862	1085
2025	971	2252	815	526
2026	964	1999	753	523

Tabla 0.2: Desarrollos verticales (en metros) considerados como caso base para los niveles de producción y acarreo.

Año	Plani. NA	Plani. NP
2022	417	839
2023	439	943
2024	435	828
2025	432	696
2026	434	767



EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE PLANIFICACIÓN DE LA PREPARACIÓN MINERA

Tabla 0.3: Cantidad de muros de confinamiento considerados como caso base en el nivel de producción.

Año	Plani. NP
2022	97
2023	84
2024	89
2025	70
2026	71

Tabla 0.4: Avance (en metros) considerado como caso base para la carpeta de rodado en el nivel de producción.

Año	Plani. NP
2022	1331
2023	1341
2024	1015
2025	1557
2026	950

Limpieza de datos (C)

En base a los datos entregados por el área, se tienen datos asociados a los años 2018 (octubre a diciembre), 2019 y 2020 como se indican a continuación:

Tabla 0.5: Avance de obras mensualizado durante los años 2018, 2019 y 2020 para el sector recursos norte.

Actividades	2018												Total
DH	ene	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.	
Nivel de Hundimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	304	372	213	889
Nivel Producción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nivel Acarreo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	217	307	213	737
Dv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	65		0
Nivel de Hundimiento													0
Nivel Producción													0
PE	0	0	0	0	0	0	0	0		8	11	6	25
Muros	0	0	0	0	0	0	0	0		11	8	7	26
Carpetas (NP+NA)	0	0	0	0	0	0	0	0		0	106	45	151
CoCo de Buzón													0
Montaje de Buzón													0
Salas de Ventilación													0
Montaje de Ventilador													0
Actividades	2019												Total
DH	216	175	218	198	180	172	87	75	105	78	70	53	1627
Nivel Producción	216	175	218	198	180	172	87	75	105	78	70	53	
Dv	0	36	9	0	0	0	0	27	27	29	0	29	157
Nivel Producción													
Nivel Acarreo	0	36	9	0	0	0	0	27	27	29	0	29	
PE	2	3	3	2	6	4	5	11	2	2	2	2	44
Muros	3	3	3	3	3	6	6	4	1	1	2	2	39
Carpetas (NP+NA)	61	0	32	0	0	90	60	33	17	57	0	20	370
CoCo de Buzón													
Montaje de Buzón													0
Salas de Ventilación													
Montaje de Ventilador													0
Actividades	2020												Total
DH	537	477	367	435	530	217	119	492	430	380	450	499	4934
Nivel de Hundimiento	167	136	107	111	157	68	11	132	118	129	104	137	1379
Nivel Producción	174	172	163	207	220	68	7	142	126	102	130	122	1633
Nivel Acarreo	100	92	52	46	65	36	49	106	89	74	99	124	932
SubNivel de Ventilación	96	78	45	70	87	46	52	113	97	74	116	115	990
Dv	35	27	39	103	101	88	18	79	104	63	131	107	894
Nivel Producción	0	11	25	45	64	42	18	38	63	43	58	62	468
SubNivel de Ventilación	35	16	14	58	37	46	0	41	41	20	73	45	426
PE	5	9	8	6	7	5	3	6	6	3	5	5	71
Muros	8	7	7	7	7	3	4	6	4	5	7	6	71
Carpetas (NP+NA)	50	143	67	58	61	93	126	0	128	125	143	109	1103
CoCo de Buzón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2
Montaje de Buzón													0
Salas de Ventilación	0	0	0	0	0	0	0	0	2			2	4
Montaje de Ventilador	0	0	0	0	0	0	0	0	2			2	4

Como se observa en la tabla, debido a que el sector comenzó sus desarrollos a mediados del año 2018, este año no se considera dentro de los datos debido a falta de información. Por otra parte, el año 2020 considera interferencias externas (COVID-19) por lo que tampoco se considera dentro del estudio.

De este modo, para efectos de los rendimientos históricos se considera el año 2019 como año de referencia en los cumplimientos de los desarrollos.

Debido a que para ese año no se tienen datos de todos los tipos de desarrollos considerados en el estudio, se establece como cumplimiento estándar, al cumplimiento de los desarrollos horizontales del nivel de producción para aquellos niveles en donde no se tenga información.

Estadística de datos (D)

Al tener el año 2019 como referencia, se procede primero a evaluar los rendimientos que se tuvieron para ese periodo, para esto se estudian los datos históricos de lo planificado para el año 2019, teniendo como datos:

Tabla 0.6: Avance mensual planificado para ciertas obras del sector recursos norte en el año 2019.

Actividades/Planificado	2019												Total
	ene	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.	
DH Nivel Producción	295	240	278	280	262	275	96	104	107	119	93	75	2224
DH Nivel de Acarreo	105	94	103	105	101	97	105	109	102	98	104	105	1228
Carpetas (NP+NÁ)	45	30	65	55	62	45	65	21	30	56	45	35	554

Como se observa en los datos, no se tienen la información para todas las obras estudiadas por lo que considera como estándar evaluar los niveles de hundimiento y subnivel de ventilación con los datos obtenidos en el nivel de producción.

Teniendo la información de lo planificado, se calculan los rendimientos y la desviación estándar de estas obras:

Tabla 0.7: Rendimiento y desviación estándar de ciertas obras del sector recursos norte para el año 2019.

Actividades/Rendimientos	2019												Promedio	Desv.Est
	ene	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sept.	oct.	nov.	dic.		
DH Nivel Producción	0.73	0.73	0.78	0.71	0.69	0.63	0.91	0.73	0.98	0.65	0.75	0.70	0.75	0.10
DH Nivel de Acarreo	0.74	1.03	0.63	0.90	0.96	0.82	0.86	0.85	0.85	0.85	0.82	0.94	0.85	0.10
Carpetas (NP+NÁ)	0.78	0.73	0.80	0.76	0.84	0.71	0.78	0.76	0.90	0.68	0.73	0.49	0.75	0.10



Con esta información se obtienen los casos a estudiar, en donde se observa que el nivel de producción tiene un menor rendimiento respecto al nivel de acarreo (respecto a los desarrollos horizontales), sin embargo, las tres obras tienen una desviación estándar de un 10%.

Tablas resultado Nivel de Hundimiento (E)

Tabla 0.8: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de hundimiento con un rendimiento del 75%

Caso 75%		
Año	Plani. NH	Estim. NH
2022	1720	1258
2023	1472	1402
2024	1170	888
2025	993	730
2026	960	707

Tabla 0.9: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de hundimiento con un rendimiento del 65%

Caso 65%		
Año	Plani. NH	Estim. NH
2022	1720	1220
2023	1347	1398
2024	1170	795
2025	993	660
2026	960	680

Tabla 0.10: Desarrollos planificados y estimados para el Nivel de hundimiento con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

Caso 110%		
Año	Plani. NH	Estim. NH
2022	1720	1794
2023	1347	1472
2024	1170	1261
2025	993	1062
2026	960	603

Tablas resultado Nivel de Producción (H)

Debido a que en este nivel se consideran 4 obras, los resultados se indican en base a cada obra analizada.



Resultados desarrollos horizontales nivel de producción:

Tabla 0.11: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 75%.

Caso 75% DH		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	2898	2171
2023	2349	1943
2024	2236	1689
2025	2242	1779
2026	1992	1489

Tabla 0.12: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 65%.

Caso 65% DH		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	2898	2000
2023	2649	1745
2024	2236	1543
2025	2242	1547
2026	1992	1375

Tabla 0.13: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

Caso 110% DH		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	2898	3043
2023	2649	2567
2024	2236	2348
2025	2242	2354
2026	1992	1705

Resultados desarrollos verticales nivel de producción:

Tabla 0.14: Desarrollos verticales planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 75%.

Caso 75% DV		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	839	624
2023	943	670
2024	828	666



EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE PLANIFICACIÓN DE LA PREPARACIÓN MINERA

2025	696	584
2026	767	548

Tabla 0.15: Desarrollos verticales planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 65%.

Caso 65% DV		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	839	579
2023	943	650
2024	828	571
2025	696	480
2026	767	529

Tabla 0.16: Desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

Caso 10% DV		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	839	881
2023	943	990
2024	828	869
2025	696	730
2026	767	602

Resultados muros de confinamiento nivel de producción:

Tabla 0.17: Cantidad de muros de confinamiento planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 75%.

Caso 75% MC		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	97	72
2023	84	66
2024	89	65
2025	70	69
2026	71	53

Tabla 0.18: Cantidad de muros de confinamiento planificados y estimados para el Nivel de producción con un rendimiento del 65%.

Caso 65% MC		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	97	67
2023	84	58



EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE PLANIFICACIÓN DE LA PREPARACIÓN MINERA

2024	89	61
2025	70	48
2026	71	49

Tabla 0.19: Cantidad de muros de confinamiento planificados y estimados para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

Caso 110% MC		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	97	102
2023	84	89
2024	89	93
2025	70	73
2026	71	53

Resultados carpeta de rodado nivel de producción:

Tabla 0.20: Avance (en metros) de la carpeta de rodado planificado y estimado para el Nivel de producción con un rendimiento del 75%.

Caso 75% CR		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	1331	995
2023	1341	1003
2024	1015	841
2025	1557	1036
2026	950	762

Tabla 0.21: Avance (en metros) de la carpeta de rodado planificado y estimado para el Nivel de producción con un rendimiento del 65%.

Caso 65% CR		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	1331	918
2023	1341	925
2024	1015	700
2025	1557	1075
2026	950	656



Tabla 0.22: Avance (en metros) de la carpeta de rodado planificado y estimado para el nivel de producción con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

Caso 110% CR		
Año	Plani. NP	Estim. NP
2022	1331	1398
2023	1341	1408
2024	1015	1066
2025	1557	1635
2026	950	688

Tablas resultado Nivel de acarreo (G)

Debido a que en este nivel se tienen dos obras consideradas, los resultados de ambos desarrollos se indican de manera simultánea, en donde las tablas del lado izquierdo corresponden a los desarrollos horizontales (DH) y las tablas del lado derecho corresponden a los desarrollos verticales (DV).

Tabla 0.23: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de acarreo con un rendimiento del 85%

Caso 85% DH		
Año	Plani. NA	Estim. NA
2022	1283	957
2023	951	782
2024	862	664
2025	815	662
2026	753	603

Tabla 0.24: Desarrollos verticales planificados y estimados para el Nivel de acarreo con un rendimiento del 85%

Caso 85% DV		
Año	Plani. NA	Estim. NA
2022	417	324
2023	439	342
2024	435	347
2025	432	343
2026	434	325



EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE PLANIFICACIÓN DE LA PREPARACIÓN MINERA

Tabla 0.25: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Nivel de acarreo con un rendimiento del 75%

Caso 75% DH		
Año	Plani. NA	Estim. NA
2022	1283	831
2023	951	690
2024	862	680
2025	815	668
2026	753	578

Tabla 0.26: Desarrollos verticales planificados y estimados para el Nivel de acarreo con un rendimiento del 75%

Caso 75% DV		
Año	Plani. NA	Estim. NA
2022	417	292
2023	439	308
2024	435	312
2025	432	308
2026	434	293

Tabla 0.27: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

Caso 110% DH		
Año	Plani. NA	Estim. NA
2022	1283	1414
2023	951	1045
2024	862	946
2025	815	899
2026	753	360

Tabla 0.28: Desarrollos verticales planificados y estimados para el nivel de acarreo con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

Caso 110% DV		
Año	Plani. NA	Estim. NA
2022	417	459
2023	439	483
2024	435	479
2025	432	476
2026	434	261



Tablas resultado Subnivel de Ventilación (F)

Tabla 0.29: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Subnivel de ventilación con un rendimiento del 75%

Caso 75%		
Año	Plani. SNV	Estim. SNV
2022	1103	822
2023	873	774
2024	964	751
2025	648	634
2026	524	396

Tabla 0.30: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Subnivel de ventilación con un rendimiento del 65%

Caso 65%		
Año	Plani. SNV	Estim. SNV
2022	1103	794
2023	873	748
2024	964	704
2025	648	587
2026	524	356

Tabla 0.31: Desarrollos horizontales planificados y estimados para el Subnivel de ventilación con un rendimiento de un 110% respecto a lo planificado.

Caso 110%		
Año	Plani. SNV	Estim. SNV
2022	1103	1169
2023	873	938
2024	964	929
2025	648	714
2026	524	361