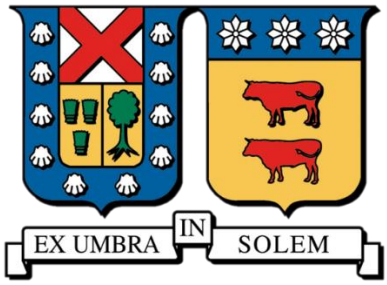
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE MATERIALES

SANTIAGO - CHILE



ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE UN RAJO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA A TRAVÉS DEL ESTUDIO DE LOS ESFUERZOS INDUCIDOS.

OSCAR MAURICIO NAVIA VEGA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

Profesora Guía:

Dra. Adeline Delonca

AGOSTO 2024

AGRADECIMIENTOS

Desde mis 15 años supe que quería estudiar una ingeniería o algo relacionado a las ciencias, sabiendo el potencial y la ganas que tenía de salir adelante. Muchas veces mis cercanos me dijeron lo complicado que sería el cursar una carrera universitaria de este estilo, especialmente porque mi etapa escolar fue en establecimientos de escasos recursos y baja exigencia. Sabiendo las bajas posibilidades que tenía de entrar en una buena universidad, me dispuse a realizar preuniversitarios gratuitos desde mis 16 años, realizando ensayos y pruebas para poder alcanzar el puntaje necesario. Después de 2 años di la prueba de ese entonces y logré quedar en una universidad privada, pero en una ingeniería que no era de mi agrado, por lo mismo, decidí tomarme un año más para lograr mis objetivos, porque noté el avance que tuve y lo que podía llegar a hacer. En el segundo intento tuve resultados positivos, logré quedar en la carrera que quería y en una universidad que me gustaba, cumpliendo recién la primera meta.

En la universidad tendría el reto más grande, aún no estaba al nivel de mis compañeros y tocaría volver a esforzarme el doble para cumplir con la exigencia que se me pedía. Tuve muchos periodos donde me agotaba muchísimo el tener que trabajar los fines de semana y rendir durante la semana, perdiendo el nivel de exigencia hacia mi mismo y en consecuencia reprobando algunos ramos. En el tercer año me vi en la obligación de dejar mi trabajo, enfocándome al 100% en la universidad y adaptándome a la exigencia que debía tener. Cuando por fin pude tener el mejor ritmo de estudio posible, llego la pandemia y el encierro total, lo que destruyo todo lo que había construido hasta el momento.

Antes de la pandemia estuve en una relación estable durante 4 años, la que tuvo que terminar para cuidar a las personas mayores que vivían con nosotros, además de tener que acostumbrarme a la nueva forma de estudio online que no me acomodaba para nada. Durante esta etapa, fui testigo de cómo muchos de mis compañeros con más recursos compraban los proyectos y pruebas aprovechándose de la modalidad, logrando que el departamento y los profesores subieran tres veces la exigencia de las evaluaciones, convirtiéndose en un infierno para mí. Además de la profunda depresión que me originó terminar mi relación, estaba colapsado con la universidad y tenía que cumplir con las labores de la casa porque era el único que no estaba trabajando, llegando a un punto de tener ataques nerviosos y pérdida del cabello. Si bien me siento orgulloso de haber superado esa etapa, espero nunca volver a tener que pasar por algo así. La vuelta a la modalidad presencial se me hizo más fácil en cuanto a la exigencia y forma de evaluación, pero mi manera de relacionarme cambió mucho, convirtiéndome en una persona más retraída y reservada en cuanto a lo social, donde muchas veces me sentí solo.

Desde el inicio tuve algunas personas apoyándome y otras aparecieron en el camino, debido esto, me veo en la obligación de mencionarlos y dedicarles algunas palabras:

El primer agradecimiento y el más importante es para mi madre, quien siempre me acompaño en cada etapa de mi vida, ayudándome con los trámites universitarios que debía hacer y preocupándose de que nunca me faltase nada, además de inculcarme desde muy chico los

valores que me llevaron a ser la persona que soy hoy en día. Si ahora mismo estoy en esta etapa de titulación es por y para ella.

El segundo es para mi familia en general, partiendo por mi padre que me inculcó valores de responsabilidad y puntualidad, además de darme mucho cariño y preocuparse por mi desde siempre. También recibí mucho apoyo de parte de mis hermanos, especialmente por mi hermano y amigo Ignacio, quien me ayudó cada vez que lo necesité, muchas veces yéndome a buscar al metro, comprándome algo que necesitaba o quedándose conmigo hablando y distrayéndome un poco de la presión que sentía.

El tercero es para mi amiga Alejandra Fournier, quien conocí en mi etapa universitaria, fue quien me acompaño y quien vivió conmigo la tortura de la exigencia online, saliendo adelante juntos y convirtiéndose en una tremenda amiga, colega y profesional.

El cuarto es para una parte de la docencia del departamento, donde encontré algunos profesores muy comprometidos con su labor, que me ayudaron bastante en mi formación, como lo fue el profesor Víctor Encina, quien siempre estuvo dispuesto a ayudarme y me enseño la mayoría de las cosas que sé sobre la carrera.

Por último y no menos importante, agradecer a la profesora Adeline Delonca, quién me escucho en el momento más difícil de mi etapa online, además de darme la oportunidad de realizar la práctica con ella cuando se veía todo muy difícil en mi situación. Hasta ese momento ya estaba muy agradecido, pero también, me ayudó a encontrar mi práctica profesional, me dio un tema de memoria y me ofreció trabajar con ella, dándome la oportunidad que siempre quise y por lo que le estaré eternamente agradecido. No tengo dudas que será una gran experiencia trabajar con ella y me alegro mucho de tener a tremenda profesional y madre como mi referente.

Si me alargué tanto para estos agradecimientos no fue para contar toda mi vida, solo quiero que al volver a leer esto no se me olvidé por todas las cosas que pasé para llegar hasta acá y recordar a todas las personas que estuvieron en el camino.

RESUMEN

El estudio adecuado de los esfuerzos in situ e inducidos es fundamental para asegurar un buen diseño y seguridad en la minería subterránea. Una forma de representarlos es mediante el ratio de esfuerzos K, que relaciona los esfuerzos horizontales con los verticales e indica la orientación en la que se podrían encontrar valores máximos. En el escenario actual, el ratio de esfuerzos K es muy utilizado para evaluar la estabilidad de excavaciones, con el fin de prevenir fallas o colapsos en paredes y pilares. La presencia de un rajo en superficie provoca una alteración de los esfuerzos en labores subterráneas, pudiendo ocasionar sobreesfuerzos horizontales que hagan presión en los costados y originar posibles colgaduras.

Siguiendo la misma lógica, en este trabajo de memoria se busca hallar la influencia de un rajo en los esfuerzos de un entorno subterráneo, evaluando qué parámetros alteran el estado tensional del macizo rocoso utilizando la herramienta RS2 de Rocscience. Con el fin de cumplir con el objetivo antes planteado, se hizo una investigación previa buscando estimar las variables que influyen en el aumento de los esfuerzos inducidos, donde se plantearon 3 posibilidades: parámetros geotécnicos, tamaño del rajo y dirección de excavación.

En el análisis realizado se identificaron los parámetros geotécnicos que influyen en la aparición de colgaduras, entre ellos está el UCS, GSI y mi, obteniendo un porcentaje de influencia en las primeras etapas de excavación de 82%, 79% y 76% respectivamente, valores que fueron decreciendo a medida que avanza el caving.

Al evaluar el tamaño del rajo, se comparó el porcentaje de incremento de esfuerzos que se tenía con respecto al modelo sin open pit, obteniendo valores antes del caving de 70%, 113% y 158%, para los rajos de 548m, 748m y 948m respectivamente, para un ratio K in situ de 0,5. A medida que se avanzaba en las etapas de excavación, o si se aumentaba la razón de esfuerzos, los porcentajes iban disminuyendo.

La última variable sujeta a evaluación fue la dirección de excavación, la que tuvo una menor influencia en los esfuerzos con respecto a los parámetros anteriores, reduciendo en un 20% aproximadamente los esfuerzos si se excavaba en dirección contraria (de derecha a izquierda).

Finalmente, se concluye una influencia directa del rajo en los esfuerzos subterráneos, la que se ve reflejada en los resultados de las variables estudiadas.

ABSTRACT

The proper study of in situ and induced stresses is essential to ensure good design and safety in underground mining. The best way to represent them is through the stress ratio K, which relates horizontal to vertical stresses and indicates the orientation in which maximum values could be found. In the current scenario, the stress ratio K is widely used to evaluate the stability of excavations to prevent failure or collapse of walls and columns. The presence of a pit on the surface causes a change in the stresses in the subway works, which can cause horizontal overstresses that put pressure on the sides and cause possible hang-ups.

Following the same logic, this memory work aims to find the influence of a pit in the stresses of a subway environment, evaluating which parameters modify the stress state of the rock mass using the RS2 tool of Rocscience. In order to achieve the above objective, a previous study was carried out to estimate the variables that influence the increase of induced stresses, considering 3 possibilities: Geotechnical parameters, pit size and direction of excavation.

The analysis carried out identified the geotechnical parameters that influence the occurrence of hang-ups, including UCS, GSI and mi, obtaining a percentage of influence in the first stages of excavation of 82%, 79% and 76% respectively, values that decreased as the excavation progressed.

When evaluating the pit size, the percentage of stress increase was compared with the model without open pit, obtaining values before caving of 70%, 113% and 158%, for pits of 548m, 748m and 948m, respectively, for an in situ K ratio of 0.5. The percentages decreased as the excavation progressed or as the stress ratio increased.

The last variable evaluated was the direction of excavation, which had a lesser influence on the stresses with respect to the previous parameters, reducing the stresses by approximately 20% when excavating in the opposite direction (from right to left).

Finally, it is concluded that the pit has a direct influence on the subway stresses, which is reflected in the results of the variables studied.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN....17
1.1 Antecedentes generales....17
1.2 Objetivos....19
1.2.1 Objetivo general....19
1.2.2 Objetivos específicos....19
1.3 Alcances....19
2 MARCO TEÓRICO....20
2.1 Minería subterránea....20
2.1.1 Métodos de excavación....20
2.2 Block Caving....22
2.2.1 Generalidades....22
2.2.2 Colgaduras....22
2.3 Esfuerzos....23
2.3.1 Implementación....23
2.3.2 Tipos de esfuerzos en minería....24
2.4 Esfuerzos in situ....24
2.4.1 Esfuerzo vertical....24
2.4.2 Esfuerzo horizontal....25
2.5 Esfuerzos inducidos....26
2.6 Criterios de falla....27
2.6.1 Mohr Coulomb....27
2.6.2 Hoek & Brown normal y generalizado....27
2.7 Software RS2....28
2.7.1 Diseño y propiedades....29
2.7.2 Malla y condiciones de esfuerzos....30
2.7.3 Secuencia de excavación e interpretación de resultados....31
3 METODOLOGÍA....32
3.1 Recopilación de antecedentes....32
3.2 Elaboración de modelos....33
3.3 Definición de parámetros geomecánicos....34
3.4 Configuración del software....35
3.4.1 Elementos básicos y disposición de malla....35

3.4.2 Secuencia de excavación 36
3.5 Simulaciones e interpretación 37
3.6 Extracción de datos....38
3.7 Resultados y análisis 38
4 RESULTADOS Y ANÁLISIS....41
4.1 Influencia de los parámetros geomecánicos 42
4.1.1 Resultados de correlación por parámetro....44
4.1.2 Cálculo del porcentaje de influencia por zona 46
4.1.3 Comparación de resultados en RS2 – Parámetros geomecánicos 48
4.3 Influencia de la Dimensión del rajo y ratio Ks 51
4.3.1 Porcentaje de influencia de la dimensión del rajo con respecto al ratio Ks 51
4.3.2 Comparación de resultados en RS2 – Dimensión del rajo y ratio Ks 58
4.4 Influencia de la dirección de excavación 65
4.4.1 Cálculo porcentual de la variación de esfuerzos al cambiar la dirección de excavación ..65
4.4.2 Comparación de resultados en RS2 – Dirección de excavación 71
4.5 Resumen de resultados....76
4.5.1 Parámetros geotécnicos 76
4.5.2 Dimensión del rajo y ratio Ks....77
4.5.3 Dirección de excavación....77
5 ANÁLISIS, DISCUSIONES Y CONCLUSIONES 78
5.1 Parámetros geotécnicos....78
5.2 Dimensión del rajo y ratio Ks 78
5.3 Dirección de excavación....79
5.4 Discusiones y conclusión general....79
6 ANEXOS....81
6.1 Anexo A: Tabulación de parámetros....81
6.2 Anexo B: Tablas de resultados 83
I. Sin open pit....83
II. Con open pit 93
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Clasificación de colgaduras de zanjas, extraída de Figura 2-1 (Maass, 2013). 23

Ilustración 2: Representación gráfica de esfuerzos en tres dimensiones, extraído de "Esfuerzo interno", (Alberto Mengual, 2017), Urbipedia. 24

Ilustración 3: Distancia mínima de los bordes para un túnel. Clase "Modelación numérica", Cátedra Mecánica de rocas 2021-1, Adeline Delonca. 29

Ilustración 4: Distancia mínima de los bordes para un rajo. Clase "Modelación numérica con el software RS2 - Metodo continuo - Elementos finitos", Cátedra Mecánica de rocas 2021-1, Adeline Delonca. 30

Ilustración 5: Simbología para condiciones de borde. 30

Ilustración 6: Secuencia metodológica. 32

Ilustración 7: Ejemplo de posición de las labores. 33

Ilustración 8: Dimensiones de la zona de caving. 34

Ilustración 9: Ejemplo de diseño final. ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 10: Ejemplo del modelo en RS2 con condiciones de borde y malla. 36

Ilustración 11: Ejemplo de secuencia de excavación. 37

Ilustración 12: Disposición de etiquetas. 38

Ilustración 13: Distribución de zonas según la etapa - Before caving (antes del hundimiento). 41

Ilustración 14: Distribución de zonas según la etapa - open 5 extraction points (con 5 puntos de extracción abiertos). 41

Ilustración 15: Distribución de zonas según la etapa - open 10 extraction points (con 10 puntos de extracción abiertos). 41

Ilustración 16: Distribución de zonas según la etapa - After caving (después del caving). 42

Ilustraciones 17 y 18: Contraste antes del caving - Litología no competente vs competente - Verificación de parámetros litológicos. 49

Ilustraciones 19 y 20: Contraste con 5 puntos abiertos - Litología no competente vs competente - Verificación de parámetros litológicos. 49

Ilustraciones 21 y 22: Contraste con 10 puntos abiertos - Litología no competente vs competente - Verificación de parámetros litológicos. 50

Ilustraciones 23 y 24: Contraste después de abrir todos los puntos - Litología no competente vs competente - Verificación de parámetros litológicos. 50

Ilustraciones 25, 26 y 27: Contraste antes del caving con $Ks = 0{,}5$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio Ks. 59

Ilustraciones 28, 29 y 30: Contraste antes del caving con $Ks = 2$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio Ks. 60

Ilustraciones 31, 32 y 33: Contraste después de abrir 5 puntos con $Ks = 0{,}5$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio Ks. 61

Ilustraciones 34, 35 y 36: Contraste después de abrir 5 puntos con $Ks = 2$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio Ks. 61

Ilustraciones 37, 38 y 39: Contraste después de abrir 10 puntos con $Ks = 0{,}5$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio Ks. 62

Ilustraciones 40, 41 y 42: Contraste después de abrir 10 puntos con $Ks = 2$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio Ks. 63

Ilustraciones 43, 44 y 45: Contraste después de abrir todos los puntos con $Ks = 0{,}5$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio Ks....64

Ilustraciones 46, 47 y 48: Contraste después de abrir todos los puntos con $Ks = 2$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio Ks. 65

Ilustraciones 49 y 50: Contraste después de abrir 5 puntos con rajo de 548m - $Ks = 0{,}5$ - Verificación de dirección de excavación. 72

Ilustraciones 51 y 52: Contraste después de abrir 5 puntos con rajo de 948m - $Ks = 0{,}5$ - Verificación de dirección de excavación. 72

Ilustraciones 53 y 54: Contraste después de abrir 10 puntos con rajo de 548m - $Ks = 0{,}5$ - Verificación de dirección de excavación. 73

Ilustraciones 55 y 56: Contraste después de abrir 10 puntos con rajo de 948m - $Ks = 0{,}5$ - Verificación de dirección de excavación. 74

Ilustraciones 57 y 58: Contraste después de abrir 5 puntos con rajo de 548m - $Ks = 2$ – Verificación de dirección de excavación....74

Ilustraciones 59 y 60: Contraste después de abrir 5 puntos con rajo de 948m - $Ks = 2$ – Verificación de dirección de excavación....75

Ilustraciones 61 y 62: Contraste después de abrir 10 puntos con rajo de 548m - $Ks = 2$ – Verificación de dirección de excavación. 76

Ilustraciones 63 y 64: Contraste después de abrir 10 puntos con rajo de 948m - $Ks = 2$ - Verificación de dirección de excavación. 76

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Costo de métodos subterráneos. Clase “Selección de métodos”, Cátedra Minería Subterránea 2022-1, Víctor Encina Montenegro. 21

Gráfico 2: Distribución en columnas del coeficiente de correlación antes del caving. 45

Gráfico 3: Distribución en columnas del coeficiente de correlación después de abrir 5 puntos de extracción. 46

Gráfico 4: Distribución en columnas del coeficiente de correlación después de abrir 10 puntos de extracción. 46

Gráfico 5: Distribución en columnas del coeficiente de correlación después del caving. 46

Gráfico 6: Porcentaje de influencia por parámetro en zona representativa. 47

Gráficos 7, 8 y 9: Porcentaje de influencia por parámetro en bordes de excavación. 48

Gráfico 10: Porcentaje de incremento por rajo antes del hundimiento - Ks = 0,5 - Gráfico de columnas. 53

Gráfico 11: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 5 puntos de extracción - Ks= 0,5 - Gráfico de columnas. 53

Gráfico 12: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 10 puntos de extracción - Ks= 0,5 - Gráfico de columnas. 53

Gráfico 13: Porcentaje de incremento por rajo antes del hundimiento - Ks=1 - Gráfico de columnas. 54

Gráfico 14: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 5 puntos de extracción - Ks=1 - Gráfico de columnas. 54

Gráfico 15: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 10 puntos de extracción - Ks= 1 - Gráfico de columnas. 55

Gráfico 16: Porcentaje de incremento por rajo antes del hundimiento - Ks= 1,5 - Gráfico de columnas. 55

Gráfico 17: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 5 puntos de extracción - Ks= 1,5 - Gráfico de columnas. 56

Gráfico 18: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 10 puntos de extracción - Ks= 1,5 - Gráfico de columnas. 56

Gráfico 19: Porcentaje de incremento por rajo antes del hundimiento - Ks=2 - Gráfico de columnas. 57

Gráfico 20: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 5 puntos de extracción - Ks=2 - Gráfico de columnas. 57

Gráfico 21: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 10 puntos de extracción - Ks=2 - Gráfico de columnas. 58

Gráfico 22: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 5 puntos abiertos - right to left vs left to right - Ks= 0,5 - Gráfico de columnas. 68

Gráfico 23: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 10 puntos abiertos - right to left vs left to right - Ks= 0,5 - Gráfico de columnas. 69

Gráfico 24: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 5 puntos abiertos - right to left vs left to right - Ks=1 - Gráfico de columnas. 69
Gráfico 25: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 10 puntos abiertos - right to left vs left to right - Ks=1 - Gráfico de columnas. 69
Gráfico 26: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 5 puntos abiertos - right to left vs left to right - Ks=1,5 - Gráfico de columnas. 70
Gráfico 27: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 10 puntos abiertos - right to left vs left to right - Ks=1,5 - Gráfico de columnas. 70
Gráfico 28: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 5 puntos abiertos - right to left vs left to right - Ks=1,5 - Gráfico de columnas. 71
Gráfico 29: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 10 puntos abiertos - right to left vs left to right - Ks=1,5 - Gráfico de columnas. 71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Selección de método de explotación. Clase “Selección de métodos”, Cátedra Minería Subterránea 2022-1, Víctor Encina Montenegro. 20

Tabla 2: Lógica de selección. Clase “Selección de métodos”, Cátedra Minería Subterránea 2022-1, Víctor Encina Montenegro. 21

Tabla 3: Unidades geotécnicas y sus propiedades. 35

Tabla 4: Propiedades de la roca fragmentada. 35

Tabla 5: Resumen de las simulaciones realizadas con sus posibles combinaciones. 37

Tabla 6: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 antes del caving, de izquierda derecha, con open pit - Evaluación de los parámetros geotécnicos. 42

Tabla 7: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda derecha, con open pit - Evaluación de los parámetros geotécnicos. 43

Tabla 8: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 10 puntos abiertos, de izquierda derecha, con open pit - Evaluación de los parámetros geotécnicos. 43

Tabla 9: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 después del caving, de izquierda derecha, con open pit - Evaluación de los parámetros geotécnicos. 43

Tabla 10: Coeficiente de Correlación del UCS con respecto a los esfuerzos inducidos. 44

Tabla 11: Coeficiente de Correlación del GSI con respecto a los esfuerzos inducidos. 44

Tabla 12: Correlación del coeficiente de Poisson con respecto a los esfuerzos inducidos. 44

Tabla 13: Coeficiente de Correlación de la densidad con respecto a los esfuerzos inducidos. 44

Tabla 14: Coeficiente de Correlación del mi con respecto a los esfuerzos inducidos. 44

Tabla 15: Coeficiente de Correlación del Módulo de Young con respecto a los esfuerzos inducidos. 44

Tabla 16: Resumen de coeficientes de correlación por parámetro. 45

Tabla 17: Porcentaje de disminución de la correlación en los bordes de excavación. 47

Tabla 18: Litologías de prueba para la verificación de resultados – parámetros geotécnicos. 48

Tabla 18: Resultado de esfuerzos sin open pit, de izquierda a derecha, con 5 puntos abiertos y con Ks=0,5 - Evaluación de la dimensión del rajo y ratio Ks. 51

Tabla 19: Resultado de esfuerzos con open pit, de izquierda a derecha, con 5 puntos abiertos y con Ks=0,5 - Evaluación de la dimensión del rajo y ratio Ks. 51

Tabla 20: Porcentaje de incremento de esfuerzos para ratio Ks= 0,5. 52

Tabla 21: Porcentaje de incremento de esfuerzos para ratio Ks= 1. 52

Tabla 23: Porcentaje de incremento de esfuerzos para ratio Ks= 1,5. 52

Tabla 24: Porcentaje de incremento de esfuerzos para ratio Ks= 2. 52

Tabla 25: Litología de prueba para la verificación de resultados – Tamaño del rajo y ratio K in situ. 58

Tabla 26: Resultado de esfuerzos con open pit, de izquierda a derecha, con 5 puntos abiertos y con Ks=0,5 - Evaluación de la dirección de excavación. 66

Tabla 27: Resultado de esfuerzos con open pit, de derecha a izquierda, con 5 puntos abiertos y con Ks=0,5 - Evaluación de la dirección de excavación. 66

Tabla 28: Resultado de esfuerzos sin open pit, de izquierda a derecha, con 5 puntos abiertos y con Ks=0,5 - Evaluación de la dirección de excavación. 66

Tabla 29: Resultado de esfuerzos sin open pit, de derecha a izquierda, con 5 puntos abiertos y con Ks=0,5 - Evaluación de la dirección de excavación. 67

Tabla 30: Porcentaje de incremento de esfuerzos de derecha a izquierda con respecto a los esfuerzos de derecha a izquierda con 5 y 10 puntos abiertos - Ks=0,5.....67

Tabla 31: Porcentaje de incremento de esfuerzos de derecha a izquierda con respecto a los esfuerzos de izquierda a derecha con 5 y 10 puntos abiertos - Ks=1.....67

Tabla 32: Porcentaje de incremento de esfuerzos de derecha a izquierda con respecto a los esfuerzos de izquierda a derecha con 5 y 10 puntos abiertos - Ks=1,5.....67

Tabla 33: Porcentaje de incremento de esfuerzos de derecha a izquierda con respecto a los esfuerzos de izquierda a derecha con 5 y 10 puntos abiertos - Ks=2.....68

Tabla 34: Resumen de resultados – Porcentaje de influencia de parámetros geotécnicos por etapa. 77

Tablas 35 y 36: Resumen de resultados – Porcentaje de incremento de esfuerzos con respecto a la dimensión del rajo y ratio Ks. 77

Tablas 37 y 38: Resumen de resultados – Porcentaje de reducción de esfuerzos al cambiar la dirección de excavación. 77

ANEXOS

Tabla A1: Valor de GSI según condiciones del macizo. Extraída de (Hoek & Brown, 2019). 81

Tabla A2: Valor del mi según tipo de roca. Extraída de (Carranza-Torres & Fairhurst, 2000). 81

Tabla A3: Factor D según estado del macizo. Extraída de Hoek et al., (2002). 82

Tabla A4: Clasificación de la roca matriz. Extraída de Rodríguez (2007). 82

Tabla B1: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 antes del caving, de izquierda derecha, sin open pit. 83

Tabla B2: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda derecha, sin open pit. 83

Tabla B3: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 con 10 puntos abiertos, de izquierda derecha, sin open pit. 83

Tabla B4: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 después del caving, de izquierda derecha, sin open pit. 84

Tabla B5: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit. 84

Tabla B6: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit. 84

Tabla B7: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit. 85

Tabla B8: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 85

Tabla B9: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit. 85
Tabla B10: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 con 10 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit....86
Tabla B11: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 86
Tabla B12: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.....86
Tabla B13: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.....87
Tabla B14: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit. 87
Tabla B15: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 88
Tabla B16: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.....88
Tabla B17: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.....88
Tabla B18: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 89
Tabla B19: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.....89
Tabla B20: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.....89
Tabla B21: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit. 90
Tabla B22: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 90
Tabla B23: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.....91
Tabla B24: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.....91
Tabla B25: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 91
Tabla B26: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.....92
Tabla B27: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.....92
Tabla B28: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit. 92
Tabla B29: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 antes del caving, de izquierda derecha, sin open pit. 93

Tabla B30: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda derecha, sin open pit. 93
Tabla B31: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 con 10 puntos abiertos, de izquierda derecha, sin open pit. 93
Tabla B32: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 después del caving, de izquierda derecha, sin open pit. 94
Tabla B33: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit. 94
Tabla B34: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit. 94
Tabla B35: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=0,5 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit. 95
Tabla B36: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 95
Tabla B37: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit. 96
Tabla B38: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 con 10 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit 96
Tabla B39: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 96
Tabla B40: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit. 97
Tabla B41: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit. 97
Tabla B42: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit. 97
Tabla B43: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 98
Tabla B44: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit. 98
Tabla B45: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit. 98
Tabla B46: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 99
Tabla B47: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit. 99
Tabla B48: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit. 99
Tabla B49: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit. 100
Tabla B50: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 100

Tabla B51: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit. 101
Tabla B52: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit. 101
Tabla B53: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit. 101
Tabla B54: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=1,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit. 102
Tabla B55: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit. 102
Tabla B56: Resultado de esfuerzos para ratio Ks=2 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit. 102

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes generales

Con el paso de los años la extracción de metales a nivel superficial se ha vuelto cada vez más complicada, estos han sido explotados durante mucho tiempo, lo que provocó una caída constante de la ley media en las nuevas reservas (*Cochilco, 2020*). Además, las legislaciones a escala mundial apuntan hacia una minería sustentable, tratando de bajar el grado de contaminación en el uso de suelos, especialmente en lo que es rajo abierto por sus grandes dimensiones (Hazin, 2013). Este tipo de minería genera bastante descontento social por la gran intervención que hace en el ecosistema y la única solución que se evalúa a futuro es la transición a subterránea (*OCMAL, 2014; Geoinnova, 2016*).

El constante interés por reducir los niveles de contaminación en la industria minera genera una gran preocupación para las empresas, buscando disminuir los trabajos superficiales, contrarrestar el material particulado que se emite y la cantidad de suelo que se interviene, con el objetivo de implementar una minería sustentable. Debido a esto, muchas empresas vienen evaluando la transición a subterránea, modelando las ventajas y desventajas que se podrían tener, ya sean económicas u operacionales.

Comenzar con trabajos subterráneos teniendo un rajo activo en superficie, provoca una interacción entre ambas labores, ya sea un cambio de los esfuerzos in situ, un efecto directo del trabajo en simultáneo y una reestructuración económica para toda la faena, obligando a la industria a realizar estudios sobre la interacción y sus consecuencias, los que serán descritos de forma cronológica en los siguientes apartados.

La inminente regularización de la minería superficial por normativas medioambientales originó un gran interés por esta transición de parte de las empresas, esto se vio reflejado en los múltiples estudios de carácter económico que comenzaron a realizarse a partir del 2015. Ya que aún se podía trabajar normalmente en superficie, en *King et al. (2017)* estudiaron la maximización del Valor Actual Neto (VAN), explotando ambas labores en simultáneo y utilizando un nuevo algoritmo de programación lineal para sus cálculos. Por otro lado, se estudió la posibilidad de empezar con trabajos subterráneos después de los superficiales, dejando un pilar de tipo corona como separación para mitigar esfuerzos, y además, se evaluaron los problemas operacionales de mineras que ya implementaron ese método, entre ellos Palabora y Grasberg *(Hamman et al., 2020)*.

Después de varios estudios económicos se comenzó a evaluar la estabilidad de las excavaciones con la presencia del rajo, así es como *Li et al. (2021)* estudió cómo se propagaban las fracturas en obras subterráneas bajo estas condiciones, haciendo énfasis en el comportamiento del macizo y el posicionamiento de las primeras fallas. Por otro lado, en *Geng et al. (2021)* estudiaron el efecto que tenía la distancia entre labores y el ángulo del talud en la estabilidad de los túneles, llegando solo a resultados teóricos. Otro estudio relacionado a la transición se produjo en la mina Rampura Agucha ubicada en la India, donde se comenzó con la planificación para explotar plomo y zinc mediante labores superficiales y

subterráneas trabajando al mismo tiempo (*Singh et al., 2015*). En el artículo se plantea cómo las vibraciones de voladuras en superficie afectan la estabilidad en profundidad, esto con el fin de establecer una distancia mínima entre faenas para que no se afecten mutuamente.

Independiente de los estudios realizados precedentemente, la influencia de la minería superficial sobre la subterránea aún no es estudiada a través de los esfuerzos, por lo que no se sabe que parámetros afectan en la transición y en qué medida lo hacen.

Para plantear un estudio sobre la influencia del rajo sobre una obra subterránea, se debe definir el método de explotación que se va a considerar, comprendiendo en que situaciones se debe emplear cada uno. Dentro de los métodos más económicos de implementar y a su vez los más empleados son los de caving *(Valenzuela, 2017)*. Estos se basan en efectuar voladuras controladas en una malla de bloques, de manera que se propague la fractura y que el material de interés se desplace hacia la zona de extracción que se encuentra por debajo. Esta forma de excavación suele tener problemas operacionales como las colgaduras, que ocurren por el efecto de los esfuerzos horizontales y no dejan caer la marina *(Martínez Valdebenito, 2020)*.

Las colgaduras pueden provocar la paralización de la faena, además de ser peligroso para el personal y maquinaria trabajando en el lugar, la caída abrupta del material provocaría un efecto pistón en la zona de extracción, pudiendo salir disparada parte de la marina. Las consecuencias de esta problemática originaron diversos estudios sobre las causas y posibles soluciones, dentro de las causantes se investigaron los parámetros a nivel micro que podrían llevar a la aparición de colgaduras, como la granulometría, la geometría de la batea y el tipo de roca, buscando cuantificar la influencia de estos factores *(López, 2019)*.

Un ejemplo de problemas de colgaduras en la transición superficie-subterránea es el caso de Chuquicamata subterránea, la cual tuvo un problema operacional en el año 2022 que obligó a paralizar parte de la faena. Específicamente 30 metros sobre el nivel de hundimiento se formó un arco estable que dejó el material "colgado", esto debido a la detención de propagación de la fractura, según indica (Vásquez et al., 2023) en su artículo "*Lecciones aprendidas, colapsos MB N01S02, Chuquicamata subterránea*" en el primer congreso de mecánica de rocas.

Últimamente, se muestra un gran interés de parte de la industria minera con relación a lo que puede causar la transición superficie/subterránea, por lo que encontrar los factores a nivel macro que puedan afectar en los esfuerzos subterráneos y a su vez poder cuantificarlos, sería una contribución a la planificación y prevención de accidentes, además de ser un ahorro considerable al evitar paralizaciones de faena.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar la influencia de un rajo en minería subterránea a través del estudio de los esfuerzos inducidos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar los parámetros geomecánicos que influyen en la aparición de colgaduras.
- Evaluar los efectos de la dimensión y del ratio K in situ en los esfuerzos inducidos.
- Calcular la influencia de la secuencia de excavación en el aumento de los esfuerzos horizontales.

1.3 Alcances

El análisis realizado busca ser incorporado en la planificación minera, siendo una consideración relevante en el estudio previo de estabilidad de la zona de interés. También puede ser utilizado para problemas operacionales como derrumbes o colgaduras, donde se necesita una referencia de los esfuerzos inducidos para saber el origen del problema y buscar soluciones inmediatas.

La idea es abarcar un rango amplio en los parámetros estudiados, de tal manera de cubrir la mayor cantidad de casos posibles, lo que puede ser información útil tanto para pequeña, mediana y gran minería.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Minería subterránea

La minería subterránea es un proceso de extracción minera que se caracteriza por recuperar recursos a grandes profundidades, donde un rajo se vuelve un proceso inviable económicamente.

2.1.1 Métodos de excavación

Existen variados métodos de explotación asociados a la minería subterránea, los que se deben ser elegidos en la etapa de planificación según, las propiedades del mineral, las propiedades de la roca caja, la forma del yacimiento y la potencia que este tenga, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1: Selección de método de explotación. Clase "Selección de métodos", Cátedra Minería Subterránea 2022-1, Víctor Encina Montenegro.

			Calidad roca caja			
			Competente		**Incompetente**	
Potencia →			Pequeña	Amplia	Pequeña	Amplia
Calidad Roca Mineral	**Buena/Competente**	Veta	Caserones Vacíos con galerías internas	Caserones vacíos con galerías internas y pilares permanentes	Caserones vacíos con galerías internas y pilares recuperables	Hundimiento por subniveles
		Manto	Cámaras y pilares	Cámaras y pilares + relleno	Corte y relleno cementado en paños	Corte y relleno cementado en paños
		Clavo	Caserones Vacíos con galerías internas	Caserones vacíos con galerías internas y pilares permanentes	Caserones vacíos con galerías internas y pilares recuperables	Hundimiento por subniveles
	Mala/Incompetente	Veta	Caserones Vacíos con galerías externas	Caserones vacíos con galerías externas y pilares permanentes	Caserones vacíos con galerías internas y pilares recuperables	Hundimiento por socavación
		Manto	Cámaras y pilares	Cámaras y pilares + relleno	Corte y soporte con escudos	Corte y soporte con escudos
		Clavo	Caserones Vacíos con galerías externas	Hundimiento por socavación	Caserones vacíos con galerías internas y pilares recuperables	Hundimiento por socavación

En algunas situaciones existen más de dos métodos que calzan con las propiedades descritas anteriormente, por lo mismo, se suele seguir una lógica de selección considerando el costo y recuperación estimada que se puede tener. Esta secuencia se ve de la siguiente manera:

Tabla 2: Lógica de selección. Clase "Selección de métodos", Cátedra Minería Subterránea 2022-1, Víctor Encina Montenegro.

Forma	Veta	Manto	Clavo - Masivo		
Prefiera →	Caserones vacíos	Cámaras y pilares	Caserones vacíos	Hundimiento por subniveles	Hundimiento por socavación basal
Condición	Estable con recuperación > 75%	Estable con recuperación > 75%	Estable con recuperación > 75%	Fortificación clase < 2	Polígono hundible
Cumple	Confirme caserones vacíos	Confirme cámaras y pilares	Confirme caserones vacíos	Confirme hundimiento por subniveles	Confirme hundimiento por socavación basal
No cumple	Pruebe con variantes con relleno	Pruebe pilares con relleno	Pruebe variantes con relleno	Pruebe con laboreo con drift borer	Pruebe con acondicionamiento
Condición	Estable con recuperación > 75%	Estable con recuperación > 75%	Estable con recuperación > 75%	Fortificación clase < 2	Hundible
Cumple	Confirme variante con relleno	Confirme pilares con relleno	Confirme variante con relleno	Confirme laboreo con drift borer	Confirme acondicionamiento
No cumple	Pruebe corte por realce con relleno	Pruebe socavación con soporte transitorio	Pruebe relleno cementado recuperando pilares	Pruebe hundimientoo por socavación basal	Pruebe hundimiento por subniveles

Siguiendo con la lógica de selección, cualquier empresa buscará el disminuir costos en su proceso productivo, por lo mismo, se suele utilizar el acondicionamiento del bloque hundible para forzar el uso de Block Caving por sus bajos costes de procesamiento general según se ve en el *Gráfico 1*.

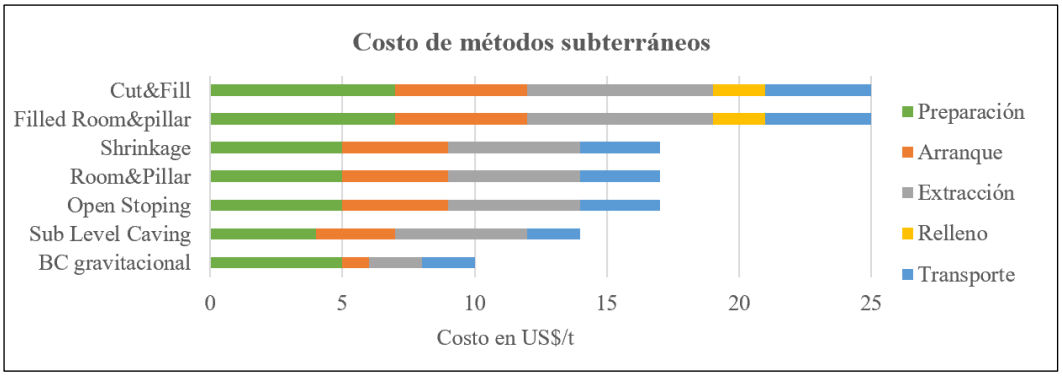


Gráfico 1: Costo de métodos subterráneos. Clase "Selección de métodos", Cátedra Minería Subterránea 2022-1, Víctor Encina Montenegro.

Visualizando que los métodos de hundimiento son los de menor costo y con posibilidad de acondicionamiento, estos serán la primera opción para una minera en proceso de transición, considerando un entorno de roca poco competente o regular, siendo el Block Caving el más utilizado en base a las características planteadas.

2.2 Block Caving

El Block Caving es un método de hundimiento que consiste en fragmentar el material de interés mediante la propagación de fractura desde la base, utilizando la gravedad para desplazarlo hacia los puntos de extracción.

2.2.1 Generalidades

Actualmente, es muy difícil encontrar roca lo suficientemente fracturada que sea apta para realizar el Block Caving, por lo que es necesario utilizar métodos de acondicionamiento para simular una situación ideal que favorezca la propagación de fracturas. El método de acondicionamiento utilizado para estos casos es el Debilitamiento Dinámico con Explosivos (DDE), el que se basa en detonar estratégicamente una serie de explosivos en un periodo determinado, buscando sumar las ondas expansivas y que se produzca la fractura por superar la resistencia a la tracción (Ismael David Gottreux Vollet, 2016).

En ocasiones, se producen problemas operacionales con el flujo de material hacia los puntos de extracción, originándose bloqueos producidos por el mismo mineral de interés, esto ocurre debido al nulo acondicionamiento del bloque y al surgimiento de sobre esfuerzos horizontales que no se tenían previstos. Esta interrupción del flujo gravitacional se le llama “colgadura”, la que provoca interrupciones prolongadas en faena, además de un costo adicional para solucionarlo.

2.2.2 Colgaduras

Como se menciona anteriormente, las colgaduras se definen como la interrupción del flujo gravitacional del material, originando arcos estables dentro de la batea o directamente en el punto de extracción. El surgimiento de este fenómeno conlleva un aumento del costo mina, además de ser un potencial riesgo para los trabajadores y la maquinaria, ya que una caída imprevista del bloque provocaría un efecto pistón en los puntos de extracción, eyectando a gran velocidad la marina dispuesta en los túneles (Sebastian Antonio López Díaz, 2016).

El arco estable puede producirse de muchas maneras dependiendo de la distribución granulométrica, siendo los casos expuestos por (Soledad Andrea Maass Venegas, 2013) los más comunes, tal como se muestra a continuación:

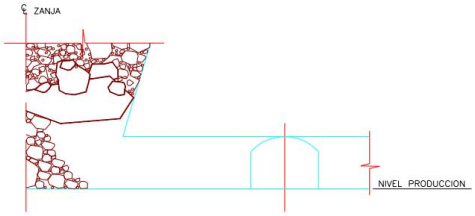
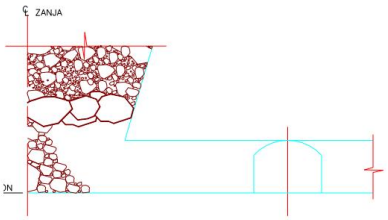
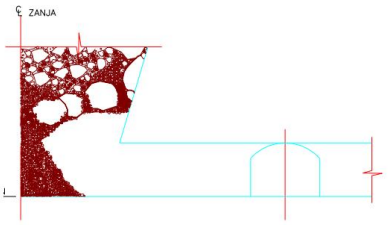
	Esquema 1- Bloqueo: Interrupción de flujo originada por el atascamiento en altura de una colpa de gran tamaño.
	Esquema 2- Arco Mecánico: Interrupción de flujo originada por el encadenamiento estable en altura de varias colpas con sobre tamaño.
	Esquema 3- Arco Cohesivo: Interrupción de flujo originada por el apoyo de colpas en altura sobre una base estable de fino compactado.

Ilustración 1: Clasificación de colgaduras de zanjas, extraída de Figura 2-1 (Soledad Andrea Maass Venegas, 2013).

Según la misma autora, la colgadura generada por arco mecánico es la que tiene mayor probabilidad de ocurrencia, provocada por colpas con sobre tamaño que se presionan entre sí. En consecuencia, se puede deducir que un aumento de los esfuerzos laterales aumenta la probabilidad de ocurrencia del suceso, generando una mayor presión en las colpas.

2.3 Esfuerzos

Los esfuerzos se definen como una fuerza aplicada en un área determinada, produciendo tensiones internas en la zona de aplicación, que pueden ocasionar el desplazamiento, la deformación o directamente la fractura, dependiendo de donde se efectúe (Galarce Castro, 2014).

2.3.1 Implementación

Dentro de la industria minera se suele trabajar con esfuerzos en tres dimensiones, donde se separan las caras de un bloque para ser evaluadas de forma individual, siendo posible distinguir los esfuerzos normales y los de corte en cada cara. Lo descrito anteriormente se muestra en la siguiente ilustración:

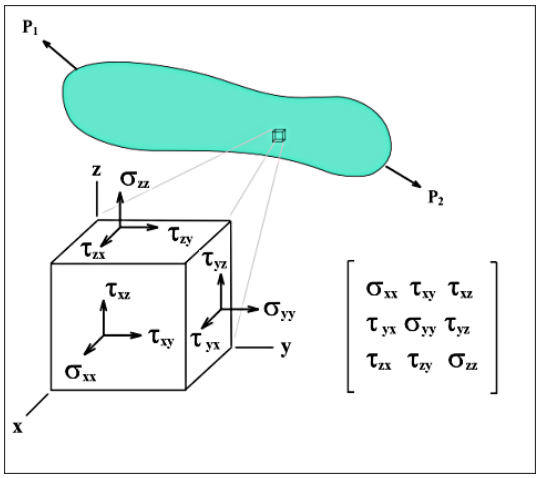


Ilustración 2: Representación gráfica de esfuerzos en tres dimensiones, extraído de "Esfuerzo interno", (Alberto Mengual, 2017), Urbipedia.

En la *Ilustración 2* se señalan los esfuerzos normales (σ) y los de corte (τ), los que son representados como un tensor de esfuerzos. Esta matriz se utiliza para caracterizar el estado tensional de un cuerpo, siendo más fácil la manipulación a la hora de querer evaluar rotaciones o la aplicación de fuerza externas.

2.3.2 Tipos de esfuerzos en minería

Dependiendo de cómo se originaron los esfuerzos, estos se diferencian en esfuerzos in situ e inducidos. Por una parte, los esfuerzos in situ representan las condiciones de esfuerzo en un macizo rocoso intacto, donde las placas tectónicas y la gravedad (profundidad) son las responsables del valor obtenido. Por otro lado, los esfuerzos inducidos representan la alteración del estado tensional del macizo, la que es provocada por cambios en el entorno o directamente por fuerzas externas (Galarce Castro, 2014).

2.4 Esfuerzos in situ

Los esfuerzos in situ involucran tanto esfuerzos tectónicos como esfuerzos gravitacionales, donde los primeros representan el efecto del contacto entre placas tectónicas, mientras los otros dependen de la profundidad y de la densidad.

2.4.1 Esfuerzo vertical

El esfuerzo vertical se define como la resultante de esfuerzos producidos por el peso de un bloque en un área determinada, siguiendo el principio de distribución de la carga en un macizo rocoso. El cálculo de este se ve reflejado por la siguiente fórmula:

$$\sigma_v = \int_0^z \rho g \, dz \tag{1}$$

Donde:

$\sigma_v = Esfuerzo\ vertical[Pa].$
$\rho = Densidad\ del\ bloque\ \left[\frac{kg}{m^3}\right].$
$g = \ Aceleración\ de\ gravedad\ \left[\frac{m}{s^2}\right].$
$z = Profundidad\ o\ altura\ del\ bloque\ [m].$

2.4.2 Esfuerzo horizontal

A diferencia del esfuerzo vertical, muchos autores han querido definir una fórmula adecuada para realizar el cálculo del esfuerzo horizontal, sin embargo, al día de hoy la más utilizada sigue siendo la planteada por (Terzaghi et al., 1996), la que utiliza una razón de esfuerzos para relacionar el esfuerzo vertical con el horizontal, según se muestra en la siguiente fórmula:

$$K = \frac{\sigma_H}{\sigma_V} \tag{2}$$

Donde:

$K = Razón\ o\ ratio\ de\ esfuerzos.$
$\sigma_H = Esfuerzo\ horizontal[Pa].$

Como se suele trabajar en tres dimensiones, se debe diferenciar el ratio K de esfuerzos según la orientación en la que se esté trabajando, teniendo como posibles casos una orientación este-oeste o norte-sur. Las fórmulas según la orientación se muestran a continuación:

$$K_{S_{(E-W)}} = \frac{\sigma_{H(E-W)}}{\sigma_V} \tag{3}$$

$$K_{S_{(N-S)}} = \frac{\sigma_{H(N-S)}}{\sigma_V} \tag{4}$$

Donde:

$K_{S_{(E-W)}} = Ratio\ de\ esfuerzos\ in\ situ\ orientado\ de\ este\ a\ oeste.$
$\sigma_{H(E-W)} = Esfuerzo\ horizontal\ orientado\ de\ este\ a\ oeste\ [Pa].$
$K_{S_{(N-S)}} = Ratio\ de\ esfuerzos\ in\ situ\ orientado\ de\ norte\ a\ sur.$

$$\sigma_{H\,(N-S)} = Esfuerzo\ horizontal\ orientado\ de\ norte\ a\ sur\ [Pa].$$

2.5 Esfuerzos inducidos

Los esfuerzos inducidos hacen referencia a todo esfuerzo proveniente de una fuente externa, ya sean excavaciones, obras cercanas o cambios en la estructura original. Estos esfuerzos modifican el estado tensional original del macizo rocoso, llegando al punto de cambiar su condición de estabilidad, dependiendo de las propiedades de la roca (Galarce Castro, 2014).

Dentro de la planificación minera, los esfuerzos inducidos se suelen medir utilizando programas de modelación numérica, elaborando un diseño acorde al proyecto, buscando simular el caso lo más realista posible.

En la industria no se encuentra mucha variedad de software que permitan calcular estabilidad o medir esfuerzos, la gran mayoría los ofrece Rocscience e Itasca, abarcando gran parte del mercado. Estos programas son capaces de estimar los esfuerzos inducidos diferenciando la dirección en la que se encuentran cada uno, siguiendo la misma lógica expuesta en la *Ilustración 2*.

Así como era posible estimar la razón de esfuerzos para la condición in situ, también se puede hacer el cálculo para los esfuerzos inducidos, estableciendo un ratio K dependiendo de la orientación que se necesite estudiar, como se ve reflejado en las siguientes fórmulas:

Para dos dimensiones:

$$K_{i_{(x-y)}} = \frac{\sigma_{xx}}{\sigma_{yy}} \tag{5}$$

Para tres dimensiones:

$$K_{i_{(x-z)}} = \frac{\sigma_{xx}}{\sigma_{zz}} \tag{6}$$

$$K_{i_{(y-z)}} = \frac{\sigma_{yy}}{\sigma_{zz}} \tag{7}$$

Donde:

$K_{i_{(x-y)}} = Ratio\ de\ esfuerzos\ inducidos\ en\ el\ plano\ x-y.$
$K_{i_{(x-z)}} = Ratio\ de\ esfuerzos\ inducidos\ en\ el\ plano\ x-z.$
$K_{i_{(y-z)}} = Ratio\ de\ esfuerzos\ inducidos\ en\ el\ plano\ y-z$
$\sigma_{xx} = Esfuerzo\ normal\ en\ el\ eje\ x.$
$\sigma_{yy} = Esfuerzo\ normal\ en\ el\ eje\ y.$
$\sigma_{zz} = Esfuerzo\ normal\ en\ el\ eje\ z.$

2.6 Criterios de falla

Los criterios de falla se definen como modelos matemáticos capaces de estimar la resistencia de un material, utilizando como parámetros las propiedades que este tiene y las condiciones de esfuerzo en la que se encuentra (*González & Martínez, 2022*).

Debido a las múltiples situaciones que se pueden originar en un macizo rocoso, no existe un método único que sea capaz de ajustarse a todos los casos, por lo que se deben utilizar distintos criterios según sea necesario. En mecánica de rocas se han planteado una gran cantidad de modelos dependiendo del área que se busque evaluar, donde se destacan los criterios de falla de Mohr Coulomb y Hoek & Brown, para el análisis de macizos rocosos.

2.6.1 Mohr Coulomb

El criterio de falla de Mohr Coulomb (*Coulomb, 1776*) se destaca por ser un modelo lineal implementado inicialmente para evaluar la rotura de suelos, el que fue introducido por primera vez en 1776 por el físico Charles-Augustin de Coulomb. Si bien los ensayos triaxiales no concuerdan con el comportamiento lineal que describe este modelo, sigue siendo uno de los más utilizados gracias a su facilidad de uso y entendimiento *(Ros Avila, 2008)*.

En cuanto a su formulación matemática, este criterio se basa en expresar la resistencia al corte a lo largo de un plano de falla, relacionando los esfuerzos normales y tangenciales que infieren en la posible fractura. Como parte de su formulación se considera la cohesión (c) y el ángulo de fricción $(\emptyset)$, donde la cohesión representa la tensión de corte que resiste sin que haya ninguna tensión normal aplicada, mientras que el ángulo de fricción es el ángulo de resistencia interna del material (González & Martínez, 2022). La fórmula se muestra a continuación:

$$\tau = c + \sigma_n tan\emptyset \tag{8}$$

Donde:

$\tau = Tensión\ tangencial\ en\ el\ plano\ de\ falla\ [Pa]$
$\sigma_n\ =\ Tensión\ normal\ en\ el\ plano\ de\ falla\ [Pa]$
$c = Cohesión [Pa]$
$\emptyset = Angulo\ de\ fricción\ [°]$

2.6.2 Hoek & Brown normal y generalizado

El criterio de falla de Hoek & Brown (*Hoek & Brown, 1980*) es un modelo no lineal implementado en el año 1980 por Evert Hoek y Edwin Brown, siendo ampliamente ocupado en el área de mecánica de rocas y en la industria minera en general, enfocado inicialmente en macizos rocosos duros *(Ros Avila, 2008)*.

A diferencia del modelo de Mohr Coulomb, este incluye parámetros geotécnicos y características geológicas en su formulación matemática, dando mayor importancia a las propiedades y condiciones en las que se encuentra el macizo rocoso. La fórmula se ve de la siguiente manera:

$$\sigma_1{}' = \sigma_3{}' + \sigma_{ci}\left(m\frac{\sigma_3{}'}{\sigma_{ci}} + s\right)^{0.5} \quad (9)$$

Donde m y s son constantes del material que dependen de las propiedades de la roca.

Después de algunos avances, se implementó la fórmula tanto para macizos duros como débiles, esta se muestra a continuación:

$$\sigma_1{}' = \sigma_3{}' + \sigma_{ci}\left(m_b\frac{\sigma_3{}'}{\sigma_{ci}} + s\right)^{a} \quad (10)$$

Donde:

$$m_b = m_i\, exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right) \quad (11)$$

$$s = exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad (12)$$

$$\text{a} = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right) \quad (13)$$

m_b, s y a son constantes del macizo, mientras que los valores de *GSI (geological Stress Index), mi (Constante de rigidez del material en roca intacta)* y *D (Factor de alteración del macizo rocoso)*, están descritos y tabulados en Anexos A. $\sigma_1{}'$ y $\sigma_3{}'$ son los esfuerzos efectivos mayor y menor respectivamente, y σ_{ci} es la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.

2.7 Software RS2

El programa RS2 fue desarrollado e implementado por la empresa Rocscience, la cual es especialista en software ligados al área de mecánica de rocas y estudio de estabilidad. Se trata de un software de modelación numérica de elementos finitos que trabaja en dos dimensiones, donde se puede elaborar variados diseños tanto de obras subterráneas como superficiales, además de tener la posibilidad de incluir refuerzos y condiciones adyacentes (*RS2 Overview, 2024*).

Su funcionamiento se basa en estimar esfuerzos y deformaciones dependiendo del criterio de falla establecido para el macizo rocoso, haciendo los cálculos en una malla que se incorpora al modelo antes de la simulación. Este programa tiene la posibilidad de manipular los resultados, incorporando etiquetas de datos, haciendo gráficos y generando informes.

En cuanto al uso, este software cuenta con variadas herramientas que ayudan a elaborar un modelo, siguiendo una secuencia lógica de implementación según el orden que se indicará en los siguientes apartados.

2.7.1 Diseño y propiedades

Cuenta con un apartado de diseño personalizado y de fácil uso, donde se pueden organizar las geometrías dependiendo de la zona del modelo a la que haga referencia, siendo más fácil diferenciar entre excavaciones, etapas, litologías, entre otros.

Entendiendo su uso ingenieril, la empresa desarrolladora dispuso de un apartado de compatibilidad con otros programas de diseño, agregando la opción de importar la geometría en variados formatos. Para no tener influencia de los bordes, se debe cumplir con una distancia mínima con respecto a las excavaciones, esta depende de la forma y del tamaño del modelo según se muestra a continuación:

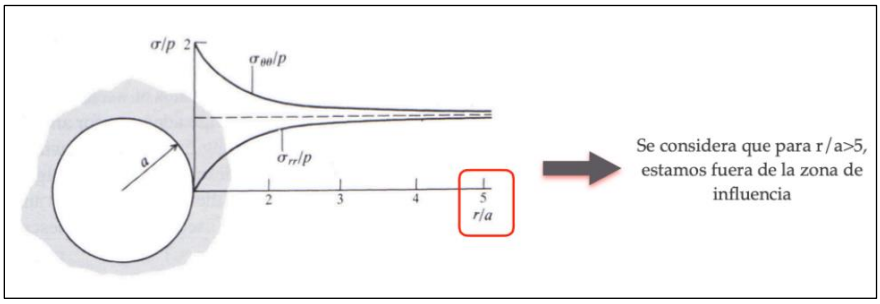


Ilustración 3: Distancia mínima de los bordes para un túnel. Clase "Modelación numérica", Cátedra Mecánica de rocas 2021-1, Adeline Delonca.

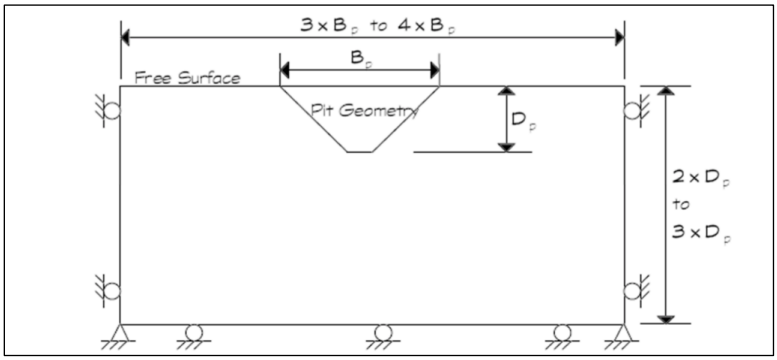


Ilustración 4: Distancia mínima de los bordes para un rajo. Clase "Modelación numérica con el software RS2 - Método continuo - Elementos finitos", Cátedra Mecánica de rocas 2021-1, Adeline Delonca.

Por otro lado, el software cuenta con la opción de configurar las propiedades de cada litología o estructura dispuesta en la geometría, donde se debe incluir el criterio de falla para indicar el comportamiento que tendrá el material.

2.7.2 Malla y condiciones de esfuerzos

Con el fin de discretizar el modelo mediante elementos finitos, se debe colocar una malla de cálculo en todo el recorrido de la geometría, la que está compuesta por aristas y nodos que definirán el nivel de precisión de los resultados. Cada nodo indica la posición exacta donde el programa realiza el cálculo, mientras que las aristas representan el valor estimado de los nodos que conecta.

Una distancia menor entre nodos indica una mayor precisión en los resultados, pero a la vez, aumenta el tiempo de simulación y consume más recursos. Para una correcta ejecución de la simulación se debe colocar una densidad de malla acorde al tamaño de lo que se esté evaluando, ya que una malla muy densa provocaría una ralentización del procesamiento y una malla poco densa baja la precisión.

Junto a la malla, se tiene que definir el comportamiento de los esfuerzos en los bordes del modelo, ya sea asignando bordes deslizantes que permitan el movimiento a lo largo del eje aplicado, o el nodo fijo que anula cualquier movimiento en ambos ejes. La simbología de cada uno se muestra a continuación:

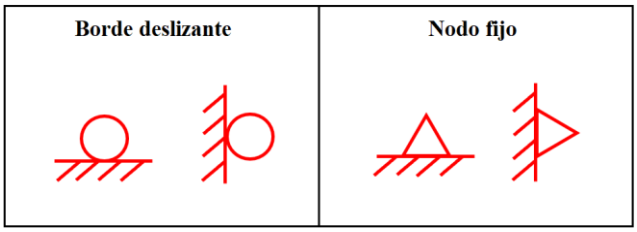


Ilustración 5: Simbología para condiciones de borde.

Después de limitar los desplazamientos de la geometría se tienen que incorporar los esfuerzos presentes en el modelo, ya sean gravitacionales, distribuidos o de manera personalizada. El programa permite incluir la razón de esfuerzos en ambas orientaciones, siendo capaz de incorporar datos en tercera dimensión colocando la razón de esfuerzos fuera del plano.

Como se trata de un programa que realiza sus cálculos de forma iterativa, se debe colocar el número de iteraciones y la tolerancia al error que se tendrá para los resultados, teniendo en cuenta que una tolerancia muy alta perjudicaría en la precisión final.

2.7.3 Secuencia de excavación e interpretación de resultados

Dentro de las configuraciones se encuentra la herramienta de "*stage*", la que permite agregar etapas de excavación de forma secuencial buscando tener un análisis individual. Además, el programa permite realizar evaluaciones con una etapa de referencia, donde se puede percibir la variación de esfuerzos con respecto a esta.

Para los resultados se cuenta con el apartado de "*interpret*", que tiene variadas opciones de personalización, como por ejemplo evaluar cualquier tipo de esfuerzo, agregar fórmulas en caso de no tener disponible lo que se quiere evaluar, incluir indicadores de deformación, generar informes, posicionar etiquetas de datos libremente, entre otras cosas.

3 METODOLOGÍA

Se plantea una metodología que sea capaz de cumplir con los objetivos planteados, manteniendo las tareas claras y bien organizadas. El resumen de la secuencia metodológica que se utilizará para completar el estudio se muestra a continuación:

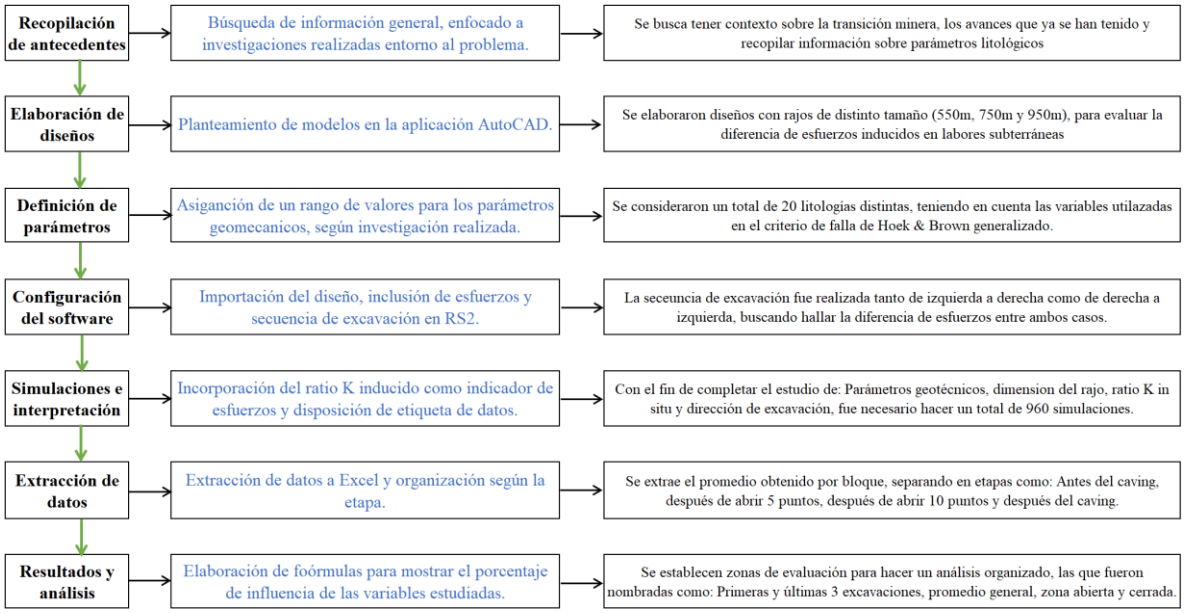


Ilustración 6: Secuencia metodológica.

3.1 Recopilación de antecedentes

Como primera etapa, se debe realizar una investigación de los parámetros que influyen en el aumento de los esfuerzos inducidos en minería subterránea, teniendo en cuenta la existencia de un pit en superficie, y cómo este interviene en el estado tensional de las excavaciones.

Tomando como referencia los esfuerzos in situ mencionados en el Marco Teórico, se visualiza como parte de la *Fórmula 1*, el uso de la densidad y de la profundidad del macizo rocoso, donde se infiere una influencia directa del tamaño del pit y de las propiedades geomecánicas de la roca.

Con respecto a las propiedades geomecánicas, estas deben ser separadas de acuerdo con el criterio de falla que se utilizará, ya que estos valores son los que recibirá el programa y serán el objeto de evaluación. El criterio de falla será Hoek & Brown Generalizado, ya que el criterio original se suele utilizar en roca intacta, y al tratarse de condiciones de suelo compuesto por inestabilidades y fallas, se necesita establecer parámetros de corte, como los que considera el criterio de Mohr Coulomb (*Hoek & Brown, 2019*).

En base al criterio a utilizar, se distinguen distintos parámetros geomecánicos que serán objeto de evaluación, como lo son: la densidad, Coeficiente de Poisson, módulo de Young,

UCS, GSI, GSI residual y mi. Estas variables están contenidas en las *Fórmulas 11, 12 y 13*, y funcionarán como input del programa para realizar la experimentación.

Por otro lado, se evaluaron casos donde se ha hecho la transición de open pit a subterránea, buscando las problemáticas que se tuvieron y cuál fue el origen de estas. Uno de los casos más conocidos fue el de Chuquicamata subterránea, donde se originaron colgaduras en las primeras etapas de excavación. Una de las soluciones empleadas descritas en el artículo fue cambiar la dirección de excavación, buscando disponer de unidades geotécnicas de menor calidad que favorecieran la propagación del caving (Vásquez et al., 2023).

Si bien la solución empleada tuvo éxito, quedan dudas si, cambiar la dirección de excavación hubiera sido igual de efectivo al tener el mismo tipo de roca en ambos sectores, entendiendo que la zona de caving no se encuentra centrada debajo del rajo, por lo que se tendría distintos esfuerzos inducidos en ambas direcciones. Por esta razón, la secuencia de excavación es una variable para analizar en esta investigación, estudiando su influencia en el aumento de los esfuerzos horizontales.

3.2 Elaboración de modelos

Para mejorar la eficiencia de trabajo se acordó realizar la modelación en dos dimensiones en un plano x-y, esto se debe a que los parámetros a evaluar no requieren de una tercera dimensión, además de ahorrar una cantidad significativa de tiempo. Los modelos serán diseñados en el software AutoCAD, el que ofrece compatibilidad directa con el programa que se utilizará para la experimentación, RS2.

Antes de iniciar a modelar, se debe cumplir con los requerimientos de tamaño que se recomiendan en la guía del programa según se indica en las Ilustraciones 3 y 4, con el fin de no tener influencia de los bordes en los resultados.

Para evaluar los efectos que tiene la dimensión del rajo en los esfuerzos in situ, se propone diseñar 3 pits de distinto tamaño, los que tendrán una zona de caving situada a la misma distancia en todos los casos. Los rajos tienen una profundidad de 948, 748 y 548 metros cada uno, manteniendo una distancia entre labores de 123 metros aproximadamente, como se muestra a continuación:

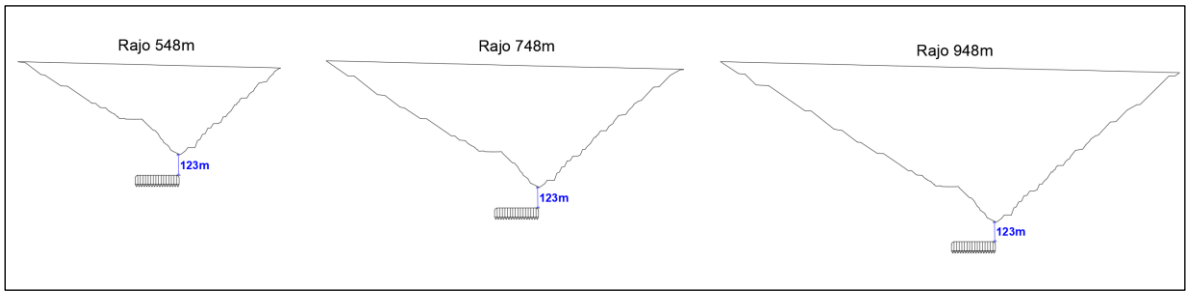


Ilustración 7: Ejemplo de posición de las labores.

Con respecto a la excavación subterránea, se dispuso una zona de caving de 272 metros de largo por 70 metros de alto, la que se divide en un total de 17 bateas del mismo tamaño. Cada batea mide 16 metros de ancho y 10 metros de alto, las que cuentan con un bloque de fractura inducida de 56,25 metros de alto, además de un túnel de extracción de 4 metros de ancho y 3,5 metros de alto. Para una experimentación más realista se simuló el arco que suele formar un caving, como se ve reflejado en la *Ilustración 8*.

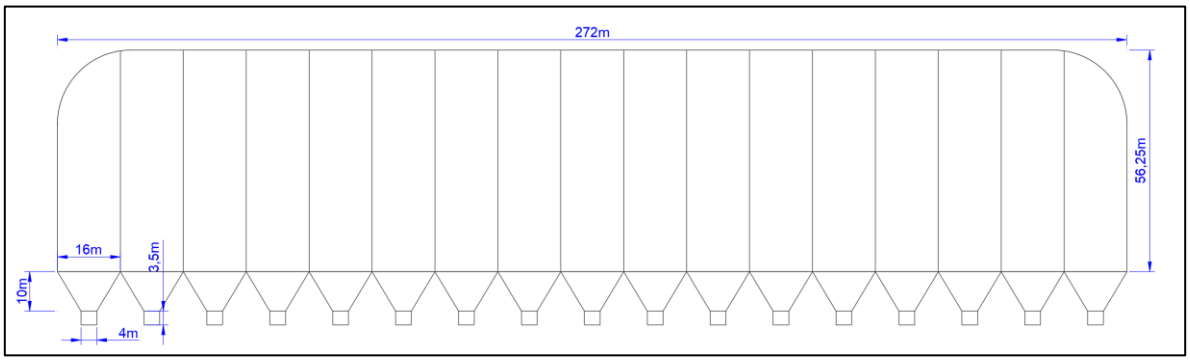


Ilustración 8: Dimensiones de la zona de caving.

3.3 Definición de parámetros geomecánicos

En base a los conocimientos previos que se tienen de la explotación por block caving, se estimó un rango de valores para los parámetros geotécnicos, teniendo en cuenta que el hundimiento por bloques se realiza en roca poco y a veces medianamente competente (*Tabla A4 de Anexos*). Si bien se pudo realizar un análisis paramétrico, muchas combinaciones no se adaptan a la realidad, como lo sería un UCS alto, propio de una roca competente, junto a un GSI bajo propio de una roca poco competente; no tendría sentido. Después del análisis, se establecieron un total de 20 unidades geotécnicas, las que serán utilizadas en los modelos para determinar los parámetros que influyen en la aparición de colgaduras. Las unidades geotécnicas que se definieron son las siguientes:

Tabla 3: Unidades geotécnicas y sus propiedades.

	Densidad	Coeficiente de poisson	UCS	GSI	GSI residual	mi	Módulo de Young	Tipo de roca
	[kg/m3]	-	[Mpa]	-	-	-	[Mpa]	-
lito 1	2600	0.2	25	30	15	10	30000	**débil**
lito 2	2600	0.2	25	30	15	10	15000	**débil**
lito 3	2600	0.2	25	30	15	10	50000	**débil**
lito 4	2600	0.3	25	30	15	10	30000	**débil**
lito 5	2600	0.2	50	30	15	10	30000	**Poco resistente**
lito 6	2600	0.2	70	30	15	10	30000	**Resistente**
lito 7	2600	0.2	100	30	15	10	30000	**Resistente**
lito 8	2600	0.2	25	30	15	15	30000	**débil**
lito 9	2600	0.2	25	50	25	10	30000	**débil**
lito 10	3000	0.2	25	30	15	10	30000	**débil**
lito 11	2600	0.2	120	55	27.5	20	48000	**Muy resistente**
lito 12	2600	0.2	120	55	27.5	20	70000	**Muy resistente**
lito 13	2600	0.2	120	55	27.5	20	30000	**Muy resistente**
lito 14	2600	0.3	120	55	27.5	20	48000	**Muy resistente**
lito 15	2600	0.3	90	55	27.5	20	48000	**Resistente**
lito 16	2600	0.3	60	55	27.5	20	48000	**Resistente**
lito 17	2600	0.3	120	55	27.5	10	48000	**Muy resistente**
lito 18	2600	0.3	120	65	32.5	20	48000	**Muy resistente**
lito 19	2600	0.3	120	45	22.5	20	48000	**Muy resistente**
lito 20	3000	0.2	120	55	27.5	20	48000	**Muy resistente**

Como el proceso de hundimiento se basa en fragmentar el macizo rocoso, se deben simular las propiedades de roca fracturada en el programa, incorporando una nueva unidad geotécnica que tenga características similares a esta condición. En este caso, se utilizó el criterio de falla de Mohr Coulomb, ya que se adapta mejor a roca fragmentada, asignándole las siguientes propiedades:

Tabla 4: Propiedades de la roca fragmentada.

	Densidad	Coeficiente de poisson	UTS	Ángulo de fricción	Cohesión	Módulo de Young
	[kg/m3]	-	[Mpa]	[°]	[Mpa]	[Mpa]
Marina	1800	0.25	0.05	38	0.05	300

3.4 Configuración del software

3.4.1 Elementos básicos y disposición de malla

Los diseños hechos en AutoCAD fueron importados al programa RS2 en formato "*.dxf*", que es el tipo de archivo que admite como método de compatibilidad. Para cumplir con esta tarea fue necesario separar las componentes del diseño en capas o "*layers*", ya que así el programa podía distinguir si se trataba de excavaciones, etapas, bordes, discontinuidades o nivel freático.

En el software, se incorporaron las 20 unidades geotécnicas mencionadas en la *Tabla 3*, utilizando la herramienta "*define material properties*". En esta misma herramienta se define el criterio de falla a utilizar, que sería Hoek & Brown generalizado, donde se agregaron las características descritas en la tabla antes referida.

Para limitar el desplazamiento del modelo se debían aplicar condiciones de borde, las que son capaces de restringir un solo eje (símbolo circular), o ambos ejes (símbolo triangular). Se utilizó la restricción de un eje para los costados y la zona inferior, mientras que la restricción de dos ejes se usó en las esquinas.

Al tratarse de un programa de modelación numérica se requiere de una malla base donde realizar los cálculos, en la cual se puede configurar la densidad y la discretización según se requiera. En este caso en particular se aumentó tres veces la densidad de malla y se discretizó una vez, llegando a una distancia entre nodos menor a 2 metros en la zona de interés. El modelo en el programa quedaba de la siguiente manera:

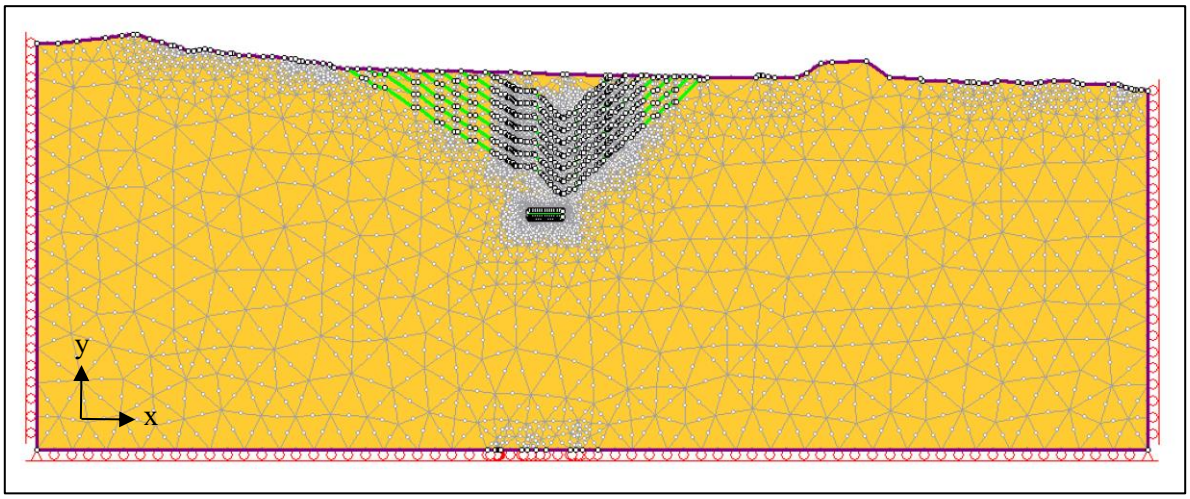


Ilustración 10: Ejemplo del modelo en RS2 con condiciones de borde y malla.

Por otro lado, se debía configurar el estado tensional del modelo, donde se tenía la opción de aplicar esfuerzos externos o dejar los esfuerzos gravitacionales. Como se debía evaluar la influencia del rajo, se aplicaron solo los esfuerzos gravitacionales, configurando el ratio K_s del lugar, tanto de norte a sur y de este a oeste. Al tener un modelo que será evaluado en dos dimensiones, el ratio K de norte a sur se mantuvo constante en 1, mientras que de este a oeste se configuró haciendo variaciones de 0,5 a 2, buscando representar la condición de esfuerzos para muchos lugares.

3.4.2 Secuencia de excavación

Utilizando la herramienta "stages" se comenzó a diseñar la secuencia de excavación, partiendo con la extracción del rajo, para después empezar con las obras subterráneas. En este punto se plantea realizar distintas secuencias de excavación, haciendo un avance del caving de oeste a este (izquierda a derecha) y otro de este a oeste (derecha a izquierda), buscando evaluar el aumento de los esfuerzos horizontales en ambos casos.

Se hizo la secuencia partiendo por realizar la tronadura en la batea, para que después se propague la fractura hacia arriba. El proceso se repetirá para las 17 bateas en el orden antes mencionado, como se puede ver en el siguiente ejemplo:

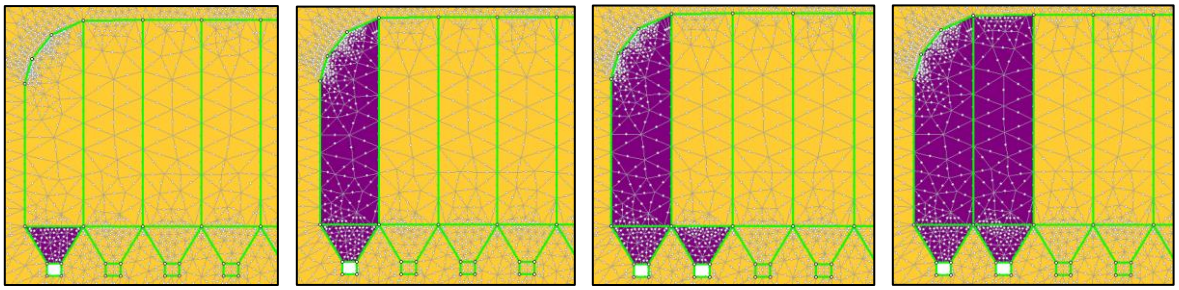


Ilustración 11: Ejemplo de secuencia de excavación.

Con el fin de cumplir el objetivo general de evaluar la influencia de un rajo en minería subterránea, se hizo una copia de todos los modelos, pero simulando el caso sin open pit, manteniendo la zona del rajo sin excavar y comenzar de inmediato con el proceso de hundimiento, buscando tener una referencia para hacer la comparación final.

3.5 Simulaciones e interpretación

Contando todos los modelos realizados se tuvo un total de 960 simulaciones, que se dividieron en 480 con open pit y 480 sin open pit, demorando de 30 a 45 minutos aproximadamente por cada una. La distribución de las simulaciones antes mencionadas se muestra a continuación:

Tabla 5: Resumen de las simulaciones realizadas con sus posibles combinaciones.

Variables	Cantidad	Valores que pueden tomar las variables
Litologías	20	Lito (1), (2), … ,(20)
Ratio Ks	4	(Ks=0.5), (Ks=1), (Ks=1.5), (Ks=2)
Dirección de excavación	2	(left to right), (right to left)
caving con y sin open pit	2	(con open pit), (sin open pit)
Tamaño del rajo	3	(rajo 548m), (rajo 748m), (rajo 948m)
Total	**960**	**Combinación de todas las variables**

El programa cuenta con un complemento llamado “interpret”, el que permite visualizar los resultados de varias maneras, siendo posible añadir fórmulas para estimar variables que sean de interés. Para hacer la evaluación de los esfuerzos se utilizará como referencia el ratio K inducido para dos dimensiones, el que se señala en la *Fórmula 5*.

Para visualizar los resultados, el software tiene la opción de incorporar múltiples etiquetas de datos, acomodando la posición según sea conveniente. Como parte de los objetivos es evaluar la aparición de colgaduras, se propuso colocar una etiqueta de datos en la zona central con respecto al bloque de fractura inducida, situándose a 30 metros sobre las bateas. La

etiqueta tendría un total de 255 datos, los que se distribuyeron en 15 por cada bloque, viéndose de la siguiente manera:

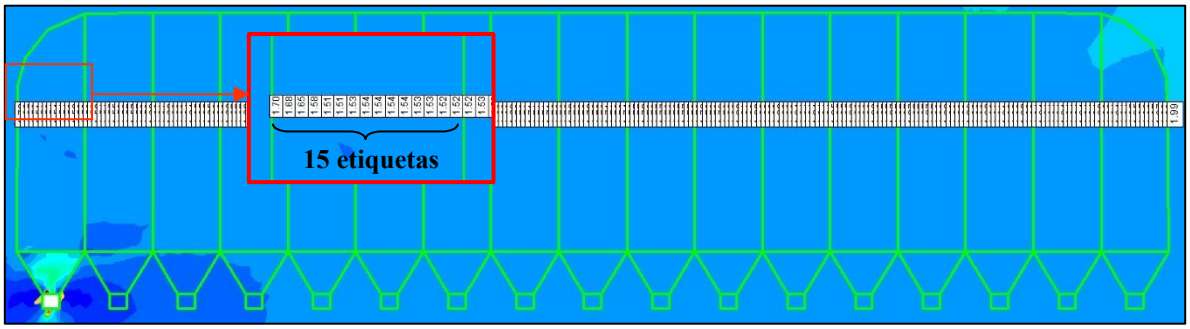


Ilustración 12: Disposición de etiquetas.

3.6 Extracción de datos

La extracción de datos se realizó en distintas etapas del modelo, primero se tomaron los datos antes del hundimiento, y después se extrajeron para cada avance del caving. En total, se debían sacar los datos de 18 etapas, estos son extraídos a Excel para ordenar, organizar y calcular los resultados.

De las 18 etapas mencionadas, se van a ocupar 4 como referencia: antes del hundimiento, después de explotar 5 bateas, después de explotar 10 bateas y con el caving hecho en su totalidad. Para facilitar la manipulación y lectura, se calculó la media de los 15 datos por bloque, siendo un valor representativo para utilizar.

En los casos, antes y después de realizar el hundimiento, se resumieron los resultados promediando: los primeros 3 bloques, los últimos 3 y el promedio de los 17 bloques (*Ilustraciones 13 y 16*). Esta simplificación se debe a que las zonas de interés se encuentran en los laterales, entendiendo que la formación de colgaduras se iniciará con sobre esfuerzos horizontales en esos lugares.

Por otro lado, para los casos después de explotar 5 y 10 bloques, se resumieron los resultados promediando: la zona fragmentada, la zona sin fragmentar, los últimos 3 bloques y el promedio de todos bloques (*Ilustraciones 14 y 15*).

3.7 Resultados y análisis

En la experimentación se utilizará el ratio $K_{s_{(E-W)}}$ (*Fórmula 3*) como input del programa, además de evaluar el efecto que tiene esta razón de esfuerzos en la interacción superficie-subterránea. En los resultados, se evaluará el ratio $K_{i_{(x-y)}}$ (*Fórmula 5*), que será el indicador de los esfuerzos inducidos. Para efectos de simplicidad, ambas razones de esfuerzos se abreviarán de la siguiente manera:

$$K_{s_{(E-W)}} = Ratio\ de\ esfuerzos\ in\ situ\ orientado\ de\ este\ a\ oeste = \boldsymbol{K_s} \quad (14)$$

$$K_{i_{(x-y)}} = Ratio\ de\ esfuerzos\ inducidos\ en\ el\ plano\ x-y = \boldsymbol{K_i} \quad (15)$$

Como primera tarea de análisis se planteó identificar la influencia de los parámetros geomecánicos, midiendo la correlación que tenían estos datos en comparación con los valores del ratio K_i obtenidos. Para esto se utilizó el Coeficiente de Correlación de Pearson (r), según se muestra en la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (16)$$

A continuación, se estimó el porcentaje de influencia que tenía cada parámetro utilizando el coeficiente de determinación (R^2), para después proyectarlo en un gráfico radial:

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^{T}(\hat{Y}_t-\bar{Y})}{\sum_{t=1}^{T}(Y_t-\bar{Y})} \quad (17)$$

Por otra parte, se evaluó el efecto que tenía el tamaño del rajo en el estado tensional de la zona, donde se calculó el porcentaje de aumento de esfuerzos comparando los modelos con y sin pit, según se ve en la *Fórmula 18*. Además, los resultados fueron analizados para todos los K_s mencionados en la *Tabla 5*, obteniendo distintos valores para cada caso.

$$\%_{rajo} = \frac{K_{i_{(con\ rajo)}} - K_{i_{(sin\ rajo)}}}{K_{i_{(sin\ rajo)}}} \quad (18)$$

$$\%_{rajo} = Porcentaje\ de\ aumento\ de\ esfuerzos\ con\ respecto\ a\ la\ presencia\ del\ rajo$$
$$K_{i_{(con\ rajo)}} = Ratio\ K\ inducido\ con\ rajo$$
$$K_{i_{(sin\ rajo)}} = Ratio\ K\ inducido\ sin\ rajo$$

Finalmente, se calculó la influencia que tenía la dirección de excavación en el aumento de esfuerzos horizontales, para esto se compararon los modelos con secuencia de izquierda a derecha versus los de derecha a izquierda. En este punto, se estimó el porcentaje de aumento o disminución del ratio K_i, evaluando los resultados para los distintos rajos y para los K_s planteados en un inicio. La fórmula para estimar el porcentaje se muestra a continuación:

$$\%_{secuencia} = \frac{K_{i_{(R-L)}} - K_{i_{(L-R)}}}{K_{i_{(L-R)}}} \quad (19)$$

$$\%_{secuencia} = Porcentaje\ de\ aumento\ de\ esfuerzos\ según\ dirección\ de\ excavación$$

$$K_{i_{(R-L)}} = Ratio\ k\ inducido\ de\ derecha\ a\ izquierda$$

$$K_{i_{(L-R)}} = Ratio\ k\ inducido\ de\ izquierda\ a\ derecha$$

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Todos los resultados se ordenaron según la etapa de excavación en la que se encuentran, las que se separaron en: “Antes del hundimiento”, “Con 5 puntos de extracción abiertos”, “Con 10 puntos de extracción abiertos” y “Después del hundimiento”. Estas etapas se muestran a continuación:

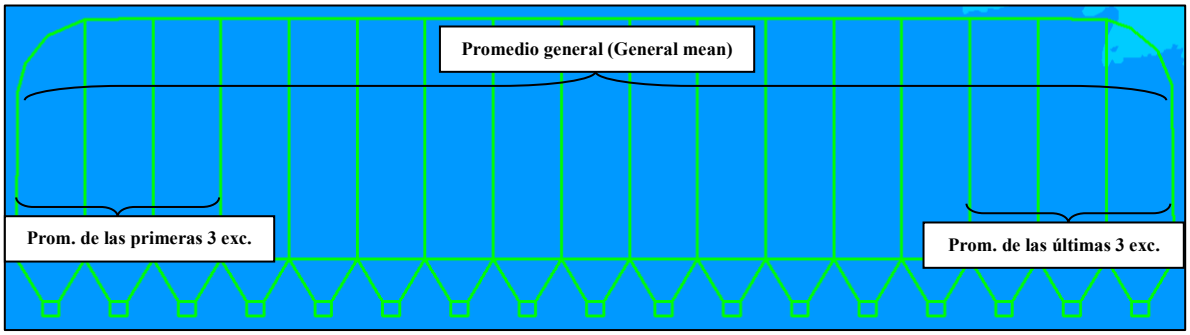


Ilustración 13: Distribución de zonas según la etapa - Before caving (antes del hundimiento).

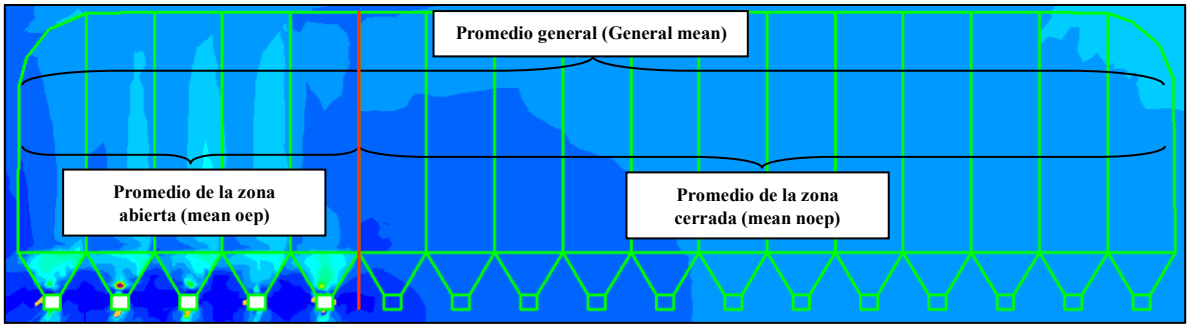


Ilustración 14: Distribución de zonas según la etapa - open 5 extraction points (con 5 puntos de extracción abiertos).

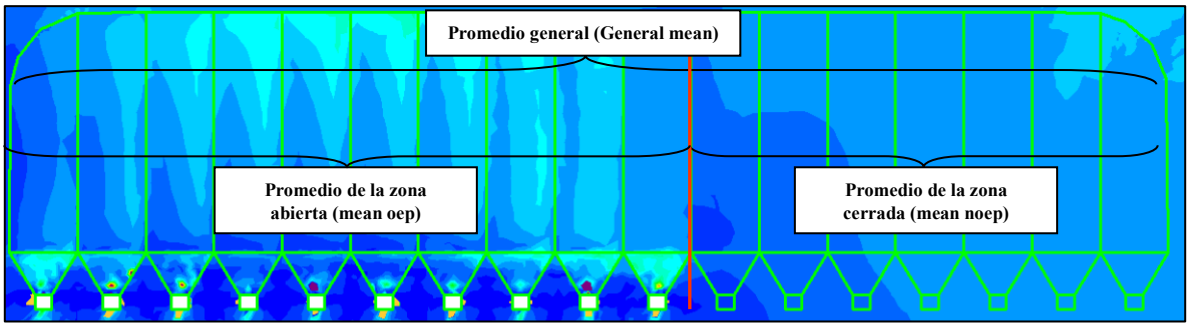


Ilustración 15: Distribución de zonas según la etapa - open 10 extraction points (con 10 puntos de extracción abiertos).

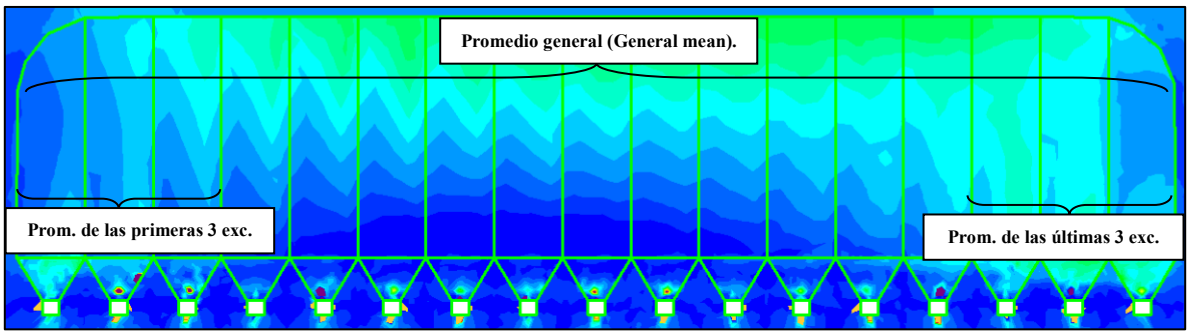


Ilustración 16: Distribución de zonas según la etapa - After caving (después del hundimiento).

4.1 Influencia de los parámetros geomecánicos

Como primer estudio, se busca identificar los parámetros geomecánicos con mayor influencia en la aparición de colgaduras, con el fin de tener precaución a la hora de estimar estas variables, para evitar fallas de cálculo en la modelación.

Debido a la gran cantidad de datos disponibles en los resultados, se buscó acotar la evaluación manteniendo fijas ciertas variables que no iban a ser relevantes en la identificación de los parámetros geomecánicos. En este caso, el ratio k in situ (K_s) y la dirección de excavación se mantendrían fijos, ya que serían evaluados en los siguientes apartados.

Se separaron los modelos con un ratio K_s fijo de 1,5 y con dirección de izquierda a derecha, ordenando los datos por etapas de excavación y señalando la zona donde fue sacado el promedio. Los resultados para otros valores de k_s y dirección de excavación se muestran en el apartado *Anexo B*, mientras que los resultados para este caso fueron los siguientes:

Tabla 6: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 antes del caving, de izquierda derecha, con open pit - Evaluación de los parámetros geotécnicos.

After excavation of the open pit. Before the block caving mine								Stress Ratio K - K in situ = 1.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	Poisson's coefficient	UCS	GSI	GSI residual	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.55	1.98	1.74	1.51	1.92	1.72	1.63	1.97	1.77
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.51	1.99	1.74	1.52	2.00	1.74	1.75	1.94	1.79
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.52	1.99	1.73	1.47	1.97	1.73	1.49	1.92	1.75
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.55	1.97	1.73	1.53	1.99	1.72	1.48	1.95	1.75
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.84	2.35	2.06	1.94	2.35	2.14	1.66	2.30	2.06
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.00	2.41	2.25	2.02	2.57	2.23	1.97	2.42	2.23
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.11	2.64	2.46	2.03	2.75	2.42	2.05	3.03	2.49
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.65	2.23	1.96	1.71	2.33	1.99	1.74	2.05	1.92
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.79	2.16	2.00	1.64	2.18	1.97	1.74	2.37	1.96
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.52	1.95	1.70	1.48	1.92	1.69	1.62	1.90	1.74
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	3.15	2.24	2.81	3.55	2.75	3.21	3.88	4.12	3.76
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	3.16	2.26	2.82	3.69	2.57	3.22	3.90	3.82	3.65
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	3.16	2.24	2.81	3.69	2.56	3.19	3.96	3.98	3.85
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	3.16	2.28	2.82	3.52	2.78	3.14	3.75	3.33	3.59
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	3.10	2.33	2.84	3.64	2.85	3.24	3.46	4.55	3.58
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	3.17	2.45	2.92	3.70	3.45	3.40	2.84	3.34	3.30
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	3.12	2.51	2.92	3.61	3.70	3.42	3.13	3.44	3.03
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	3.15	2.21	2.82	3.65	2.62	3.25	3.97	2.94	3.61
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	3.15	2.33	2.84	3.65	3.09	3.27	3.81	3.88	3.55
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	3.19	2.29	2.85	3.72	2.67	3.30	4.24	3.67	3.74

Tabla 7: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda derecha, con open pit - Evaluación de los parámetros geotécnicos.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	Poisson's coefficient	UCS	GSI	GSI residual	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.41	1.69	1.82	1.90	2.47	1.67	1.75	1.91	2.21	1.78	1.91	1.91
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.38	1.73	1.89	1.92	2.54	1.76	1.90	1.99	2.28	1.81	1.93	1.95
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.29	1.70	1.85	1.87	2.38	1.68	1.79	1.89	2.15	1.82	1.92	1.92
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.33	1.69	1.85	1.88	2.44	1.72	1.82	1.93	2.19	1.81	1.91	1.92
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.14	2.05	2.36	2.08	2.14	2.06	2.26	2.09	2.07	1.97	2.23	2.00
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.18	2.16	2.24	2.16	2.14	2.17	2.49	2.16	2.09	2.14	2.32	2.13
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.00	2.38	2.60	2.27	2.10	2.30	2.65	2.24	2.10	2.45	2.85	2.35
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.15	1.91	2.14	1.98	2.30	1.95	2.25	2.05	2.17	1.80	1.96	1.91
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.00	1.89	2.01	1.92	1.99	1.88	2.04	1.91	1.91	1.87	2.22	1.88
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.38	1.67	1.85	1.88	2.48	1.69	1.77	1.92	2.27	1.78	1.88	1.92
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.59	2.66	2.05	2.34	1.69	2.40	2.46	2.19	1.74	2.75	3.28	2.45
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.56	2.62	2.09	2.31	1.60	2.43	2.10	2.19	1.64	2.73	3.11	2.41
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.63	2.55	2.03	2.28	1.75	2.38	2.38	2.19	1.80	2.84	3.36	2.54
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.58	2.46	2.11	2.20	1.65	2.37	2.53	2.16	1.73	2.78	2.89	2.47
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.58	2.49	2.13	2.22	1.63	2.49	2.58	2.23	1.74	2.58	3.55	2.33
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.60	2.21	2.25	2.03	1.67	2.56	2.95	2.30	1.74	2.42	3.42	2.22
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.61	2.20	2.34	2.02	1.67	2.59	3.16	2.32	1.75	2.53	3.19	2.30
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.55	2.58	2.01	2.27	1.58	2.49	2.40	2.22	1.65	3.00	2.75	2.60
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.63	2.40	2.15	2.17	1.75	2.53	2.75	2.30	1.97	2.98	3.20	2.68
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.59	2.53	2.08	2.25	1.68	2.40	2.64	2.18	1.80	2.78	3.07	2.49

Tabla 8: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 10 puntos abiertos, de izquierda derecha, con open pit - Evaluación de los parámetros geotécnicos.

After excavation of the open pit. After opening 10 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	son's coeffi	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.72	1.66	1.75	2.28	2.71	1.59	1.64	2.25	2.25	1.79	2.00	2.06
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.71	1.75	1.85	2.32	2.82	1.69	1.78	2.36	2.27	1.79	1.99	2.07
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.72	1.66	1.74	2.28	2.59	1.55	1.65	2.17	2.17	1.77	1.98	2.01
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.64	1.73	1.82	2.26	2.77	1.63	1.71	2.30	2.20	1.74	1.99	2.01
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.21	1.95	2.13	2.10	2.22	1.99	2.06	2.13	2.09	1.99	2.09	2.05
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.08	1.99	2.02	2.05	2.12	2.10	2.20	2.11	2.03	2.06	2.14	2.04
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.97	2.16	2.34	2.05	2.05	2.09	2.41	2.06	2.03	2.27	2.47	2.13
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.26	1.93	2.06	2.12	2.36	2.12	2.27	2.26	2.24	1.81	1.88	2.07
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.03	1.67	1.77	1.88	2.08	1.68	1.81	1.92	1.94	1.80	1.99	1.89
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.77	1.67	1.78	2.32	2.43	1.54	1.67	2.06	2.39	1.75	1.93	2.13
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.55	2.23	1.68	1.83	1.54	1.75	1.92	1.63	1.53	2.00	2.22	1.72
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.54	2.25	1.70	1.83	1.57	2.46	1.73	1.93	1.51	2.42	2.20	1.88
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.58	2.44	1.68	1.94	1.60	1.65	1.86	1.62	1.59	2.40	2.47	1.92
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.54	2.98	1.72	2.14	1.55	1.67	1.91	1.60	1.58	2.23	2.12	1.85
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.55	2.00	1.71	1.73	1.49	2.27	1.95	1.81	1.53	2.13	2.37	1.77
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.55	1.67	1.76	1.60	1.54	2.00	2.12	1.73	1.58	2.28	2.78	1.86
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.56	1.79	1.83	1.65	1.54	2.05	2.22	1.75	1.60	1.94	2.58	1.74
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.54	2.89	1.65	2.09	1.54	2.58	1.81	1.97	1.55	2.10	2.01	1.78
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.58	2.31	1.74	1.88	1.60	2.16	2.04	1.83	1.73	2.10	2.43	1.88
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.56	1.92	1.67	1.71	1.53	2.08	2.01	1.76	1.63	2.07	2.30	1.81

Tabla 9: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 después del caving, de izquierda derecha, con open pit - Evaluación de los parámetros geotécnicos.

After excavation of the open pit. After opening all extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5									
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	son's coeffi	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.08	2.25	2.58	1.87	2.19	2.30	1.91	2.58	2.43
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.07	2.31	2.62	2.06	2.26	2.49	1.85	2.56	2.48
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.02	2.14	2.48	1.88	2.12	2.27	1.85	2.57	2.36
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.03	2.24	2.56	1.87	2.22	2.32	1.88	2.54	2.42
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.96	2.11	2.20	1.94	2.24	2.20	1.84	2.28	2.09
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.02	1.94	1.93	1.92	2.11	2.02	1.91	2.22	1.92
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.88	1.96	1.79	1.82	2.07	1.88	1.95	2.18	1.88
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.97	2.17	2.32	2.07	2.50	2.59	1.96	2.15	2.17
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.90	1.80	1.91	1.79	1.94	2.00	1.75	1.81	1.79
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.85	2.20	2.29	1.88	2.18	2.17	2.21	2.75	2.68
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.48	1.51	1.41	1.52	1.50	1.36	1.51	1.50	1.32
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.48	1.54	1.45	1.47	1.54	1.41	1.45	1.51	1.33
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.50	1.52	1.43	1.55	1.57	1.35	1.50	1.53	1.38
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.48	1.55	1.45	1.50	1.54	1.37	1.53	1.54	1.37
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.48	1.51	1.44	1.47	1.50	1.35	1.53	1.57	1.37
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.49	1.49	1.39	1.51	1.48	1.36	1.54	1.69	1.41
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.49	1.53	1.39	1.50	1.55	1.38	1.58	1.62	1.45
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.47	1.57	1.46	1.48	1.53	1.38	1.49	1.53	1.36
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.50	1.51	1.42	1.54	1.56	1.40	1.71	1.62	1.47
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.49	1.55	1.42	1.49	1.52	1.35	1.59	1.52	1.38

4.1.1 Resultados de correlación por parámetro

Para identificar las variables que influyen en la aparición de colgaduras se calculó el coeficiente de correlación (*Fórmula 16*) de los parámetros versus los valores de esfuerzos resultantes, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10: Coeficiente de Correlación del UCS con respecto a los esfuerzos inducidos.

	UCS - before caving			UCS - open 5 extraction points				UCS - open 10 extraction points				UCS - after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	0.91	0.60	0.92	-0.88	0.94	0.43	0.89	-0.88	0.73	-0.25	-0.60	-0.86	-0.86	-0.89
rajo 748m	0.89	0.70	0.90	-0.87	0.89	0.70	0.84	-0.88	0.53	0.31	-0.77	-0.84	-0.84	-0.89
rajo 948m	0.92	0.86	0.92	-0.80	0.97	0.85	0.96	-0.86	0.76	0.58	-0.69	-0.75	-0.85	-0.88

Tabla 11: Coeficiente de Correlación del GSI con respecto a los esfuerzos inducidos.

	GSI - before caving			GSI- open 5 extraction points				GSI - open 10 extraction points				GSI - after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	0.90	0.33	0.85	-0.93	0.78	0.10	0.62	-0.87	0.54	-0.64	-0.72	-0.92	-0.92	-0.88
rajo 748m	0.89	0.62	0.88	-0.93	0.79	0.56	0.62	-0.89	0.43	0.00	-0.83	-0.92	-0.93	-0.90
rajo 948m	0.87	0.78	0.88	-0.96	0.82	0.80	0.74	-0.94	0.58	0.48	-0.91	-0.91	-0.92	-0.90

Tabla 12: Correlación del coeficiente de Poisson con respecto a los esfuerzos inducidos.

	Poisson's coef - before caving			Poisson's coef - open 5 extraction points				Poisson's coef - open 10 extraction points				Poisson's coef - after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	0.48	0.22	0.46	-0.46	0.23	0.10	0.07	-0.42	0.31	-0.31	-0.31	-0.49	-0.45	-0.41
rajo 748m	0.49	0.57	0.49	-0.45	0.48	0.49	0.47	-0.41	0.29	0.09	-0.33	-0.53	-0.50	-0.47
rajo 948m	0.35	0.34	0.39	-0.43	0.41	0.42	0.39	-0.46	0.18	0.39	-0.52	-0.42	-0.39	-0.40

Tabla 13: Coeficiente de Correlación de la densidad con respecto a los esfuerzos inducidos.

	Densidad - before caving			Densidad - open 5 extraction points				Densidad - open 10 extraction points				Densidad - after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	-0.03	-0.22	-0.08	0.08	-0.07	-0.22	-0.07	0.13	-0.21	-0.18	0.01	-0.08	0.06	0.00
rajo 748m	-0.02	-0.18	-0.05	0.09	-0.13	-0.11	-0.15	0.00	-0.14	-0.15	-0.07	-0.03	-0.01	-0.02
rajo 948m	0.07	-0.06	-0.01	0.13	-0.04	-0.10	-0.02	0.15	-0.17	-0.11	0.09	0.27	0.13	0.16

Tabla 14: Coeficiente de Correlación del mi con respecto a los esfuerzos inducidos.

	mi - before caving			mi- open 5 extraction points				mi - open 10 extraction points				mi - after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	0.86	0.25	0.80	-0.85	0.81	0.05	0.72	-0.79	0.63	-0.55	-0.55	-0.86	-0.81	-0.77
rajo 748m	0.87	0.48	0.82	-0.81	0.73	0.45	0.63	-0.80	0.45	0.04	-0.71	-0.79	-0.79	-0.79
rajo 948m	0.89	0.80	0.90	-0.77	0.83	0.77	0.80	-0.82	0.68	0.41	-0.68	-0.79	-0.82	-0.81

Tabla 15: Coeficiente de Correlación del Módulo de Young con respecto a los esfuerzos inducidos.

	Mod Young - before caving			Mod Young- open 5 extraction points				Mod Young - open 10 extraction points				Mod Young - after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	0.71	0.27	0.67	-0.72	0.61	0.11	0.50	-0.64	0.35	-0.49	-0.56	-0.72	-0.71	-0.66
rajo 748m	0.71	0.51	0.70	-0.72	0.62	0.38	0.49	-0.69	0.50	-0.06	-0.56	-0.78	-0.73	-0.70
rajo 948m	0.67	0.63	0.68	-0.75	0.64	0.61	0.58	-0.73	0.50	0.35	-0.68	-0.68	-0.65	-0.67

Mediante un análisis preliminar, se puede distinguir una nula correlación de la densidad en la *Tabla 13*, por este motivo se descartará de inmediato este parámetro y se seguirá con el estudio del resto. Para tener un resultado representativo, se promedió el coeficiente de correlación de los tres rajos, los que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 16: Resumen de coeficientes de correlación por parámetro.

	before caving			open 5 extraction points				open 10 extraction points				after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
UCS	0.91	0.72	0.91	-0.85	0.93	0.66	0.90	-0.87	0.67	0.21	-0.69	-0.81	-0.85	-0.89
GSI	0.89	0.58	0.87	-0.94	0.79	0.49	0.66	-0.90	0.52	-0.05	-0.82	-0.92	-0.92	-0.89
Poisson coef	0.44	0.38	0.45	-0.45	0.38	0.34	0.31	-0.43	0.26	0.06	-0.39	-0.48	-0.44	-0.43
mi	0.87	0.51	0.84	-0.81	0.79	0.42	0.71	-0.80	0.59	-0.04	-0.65	-0.81	-0.81	-0.79
Mod Young	0.70	0.47	0.68	-0.73	0.62	0.37	0.52	-0.68	0.45	-0.07	-0.60	-0.73	-0.69	-0.68

Para todos los parámetros litológicos se muestra una correlación positiva en las zonas que siguen cerradas, mientras que las zonas abiertas van tomando un valor negativo. El nivel de correlación se graficó por etapa de excavación, con el fin de identificar los parámetros con mayor facilidad.

Con el fin de hacer un análisis general y otro particular, se definieron dos zonas de evaluación, las que serían nombradas como: "zona representativa" en el caso general y "bordes de excavación" en el caso particular. Al realizar esta separación se podrá visualizar un porcentaje de incremento general, además de un porcentaje de incremento en los bordes por cada etapa.

Por su parte, se definió la zona "bordes de excavación" como el promedio de la zona cerrada, la que fue representada por columnas amarillas para facilitar su visualización. Está zona se utilizará como referencia de los bordes o laterales de la zona excavada, entendiendo este lugar como un punto conflictivo y de gran importancia.

Por otro lado, la zona representativa toma el promedio de la zona que represente mejor la etapa de excavación, por ejemplo, con 5 puntos abiertos el caving está mayormente cerrado, por lo tanto, se tomará el promedio de la zona cerrada. De esta manera se definió la zona representativa para cada etapa, la que fue demarcada como línea segmentada de color morado en los gráficos que se muestran a continuación:

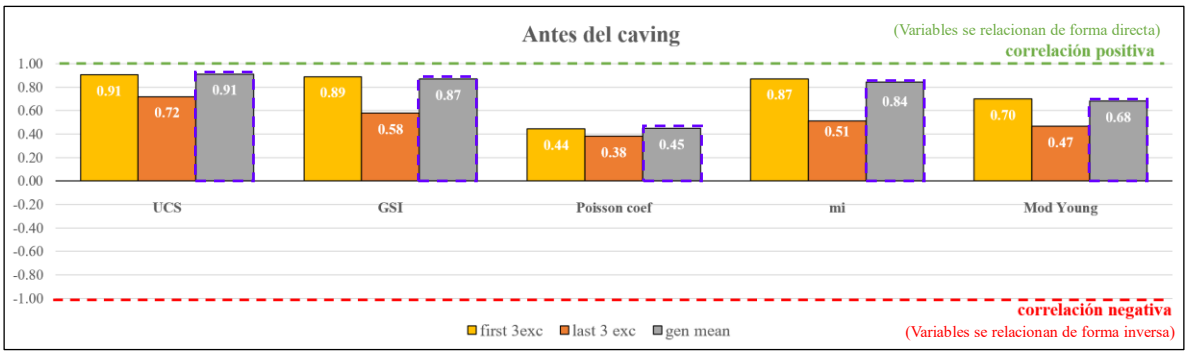


Gráfico 2: Distribución en columnas del coeficiente de correlación antes del caving.

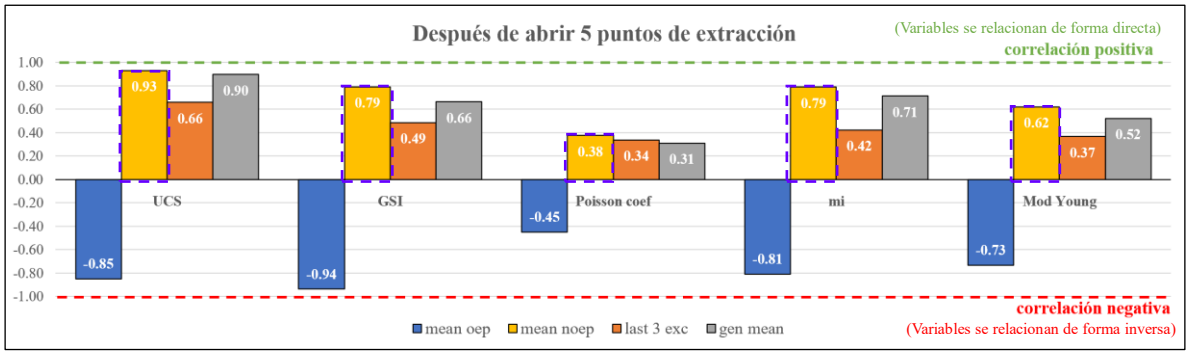


Gráfico 3: Distribución en columnas del coeficiente de correlación después de abrir 5 puntos de extracción.

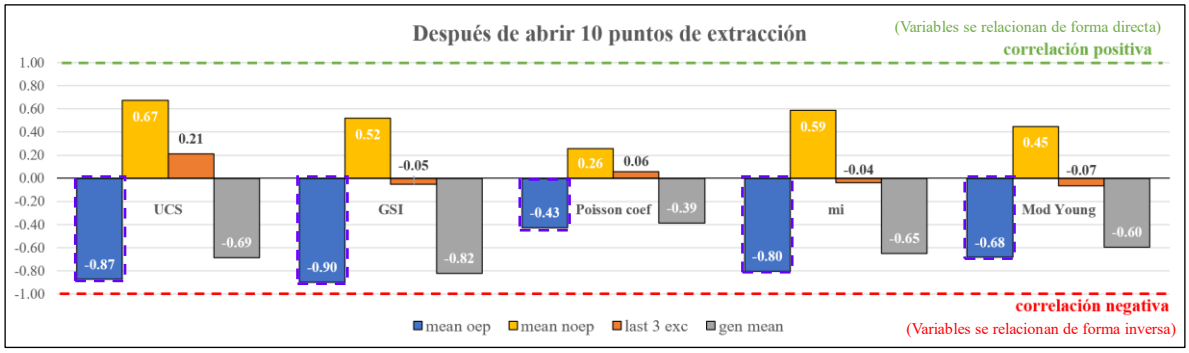


Gráfico 4: Distribución en columnas del coeficiente de correlación después de abrir 10 puntos de extracción.

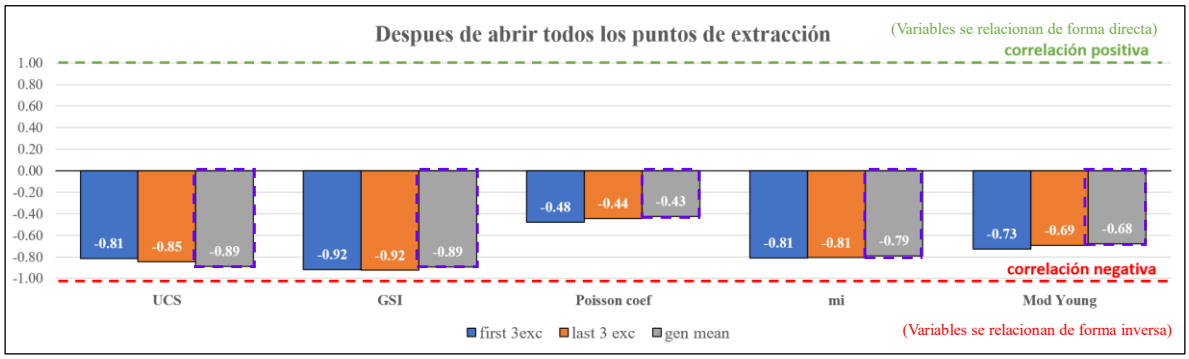


Gráfico 5: Distribución en columnas del coeficiente de correlación después del caving.

4.1.2 Cálculo del porcentaje de influencia por zona

<u>Zona representativa</u>

A partir de los gráficos expuestos anteriormente, se puede inferir una correlación muy alta del UCS y del GSI con respecto al ratio de esfuerzos, manteniéndose cercano a valores ±0,9

en las zonas representativas. Esto quiere decir que son los parámetros con mayor influencia en los esfuerzos inducidos.

Siguiendo la misma lógica de evaluación, se distingue una correlación de alta a muy alta del mi, donde se obtuvo valores de ±0,8 en esta zona. Por otra parte, el módulo de Young adquiere valores de correlación de ±0,7 aproximadamente, situándose en el rango de correlación alta. Finalmente, se tiene una correlación moderada a baja en el caso del coeficiente de Poisson, alcanzando valores aproximados de ±0,4.

Bordes de excavación (Promedio de la zona cerrada)

Según los gráficos, se nota una disminución significativa de la correlación a medida que se iban abriendo los bloques. Este comportamiento se repitió en todos los parámetros, llegando a una caída de la correlación del 42% para el GSI y el coeficiente de Poisson, según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17: Porcentaje de disminución de la correlación en los bordes de excavación.

	After 5 exc.	After 10 exc.
UCS	3%	-26%
GSI	-11%	-42%
Poisson coef	-15%	-42%
mi	-9%	-33%
Mod Young	-11%	-36%

Es correcto afirmar que, a medida que avance el caving se tendrá una menor influencia en los bordes de excavación, siendo más probable la aparición de colgaduras durante las primeras etapas de la secuencia.

Porcentaje de influencia por parámetro

Con la identificación de parámetros lista, se buscó estimar el porcentaje de influencia que tenía cada uno en los resultados finales, mediante el uso del coeficiente de determinación (*Fórmula 17*).

Para partir, se graficó el porcentaje de influencia de cada parámetro en la zona representativa, entendiendo este valor como un porcentaje de influencia general. El gráfico radial se muestra a continuación:

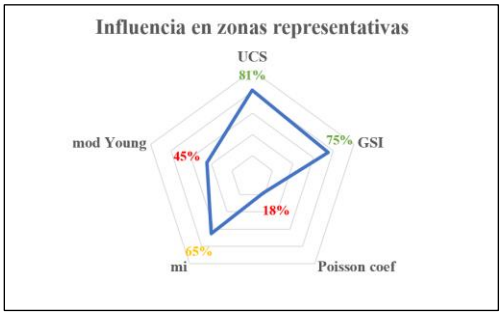
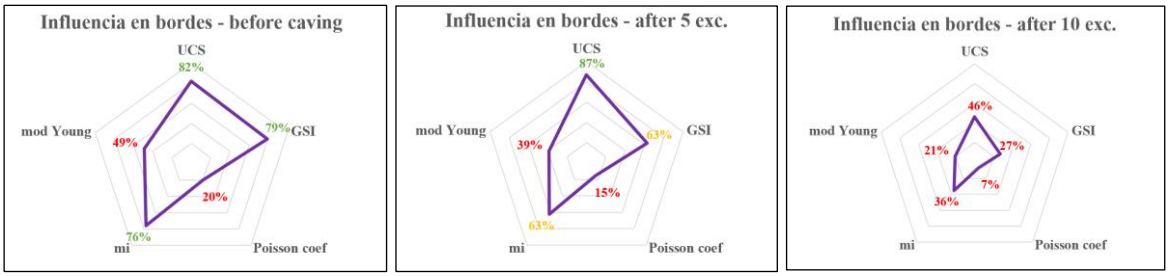


Gráfico 6: Porcentaje de influencia por parámetro en zona representativa.

Siguiendo con la evaluación de los bordes, se realizaron los gráficos de influencia para cada etapa de excavación, para apreciar de mejor manera como va decreciendo la influencia a medida que se avanza en el caving:



Gráficos 7, 8 y 9: Porcentaje de influencia por parámetro en bordes de excavación.

4.1.3 Comparación de resultados en RS2 – Parámetros geomecánicos

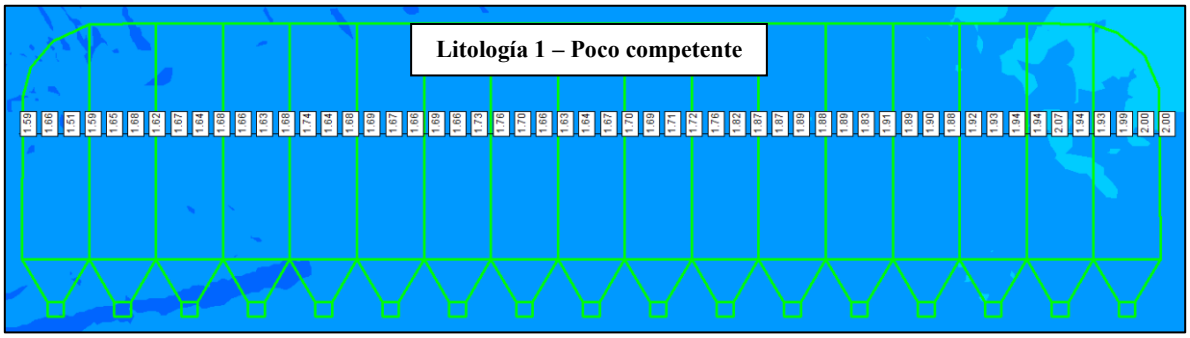
Buscando reforzar los resultados sobre la influencia de estos parámetros en los bordes, se hará un contraste de las simulaciones en RS2, ya que en todo momento fueron utilizados los promedios de las zonas, omitiendo valores extremos que pueden ser de interés.

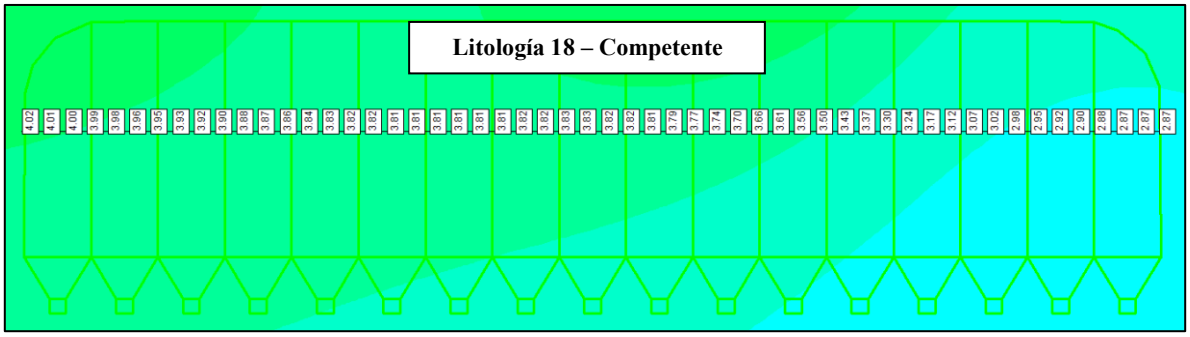
A fin de completar la tarea de confirmación de resultados, se utilizará una litología poco competente frente a otra competente, específicamente las litologías que se muestran a continuación:

Tabla 18: Litologías de prueba para la verificación de resultados – parámetros geotécnicos.

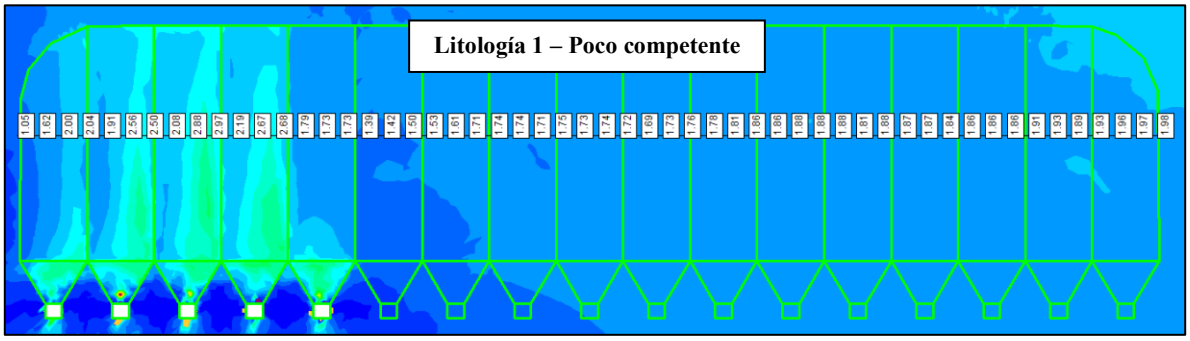
Lithology	Densidad	Poisson's coefficient	UCS	GSI	GSI residual	mi	Young'modulus
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000

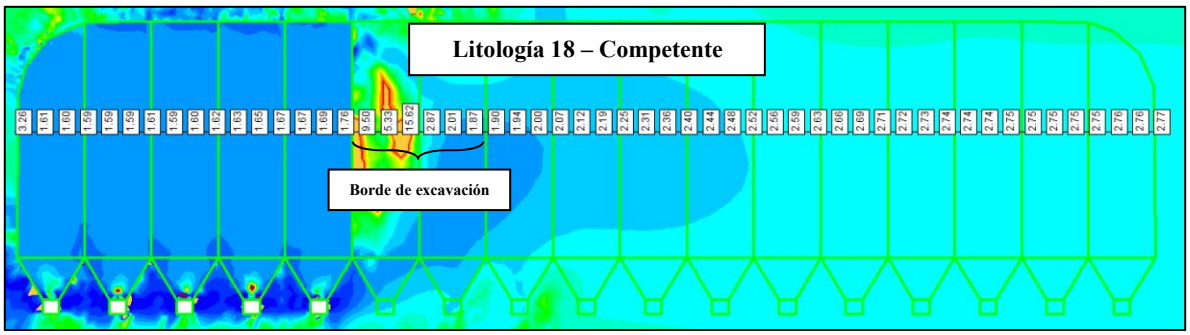
El contraste por etapa de ambas litologías se ve de la siguiente manera:



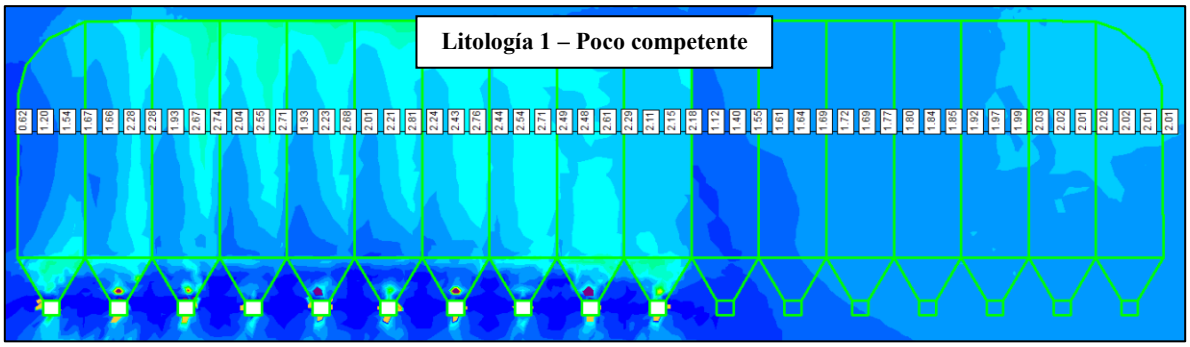


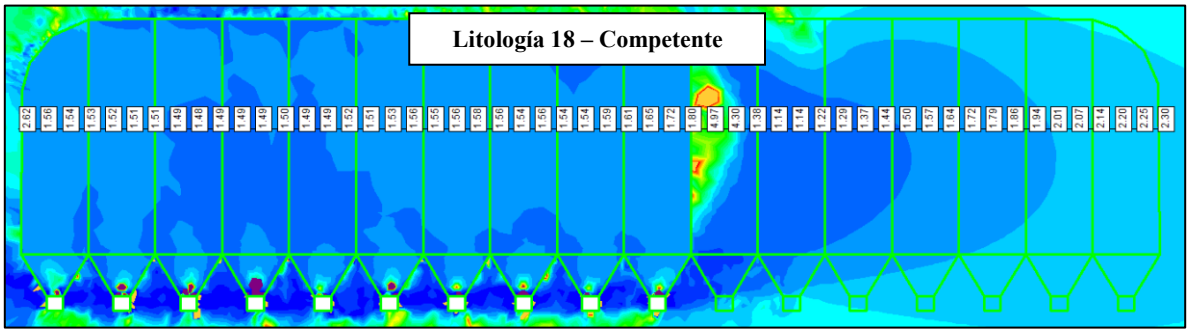
Ilustraciones 17 y 18: Contraste antes del caving - Litología no competente vs competente - Verificación de parámetros litológicos.



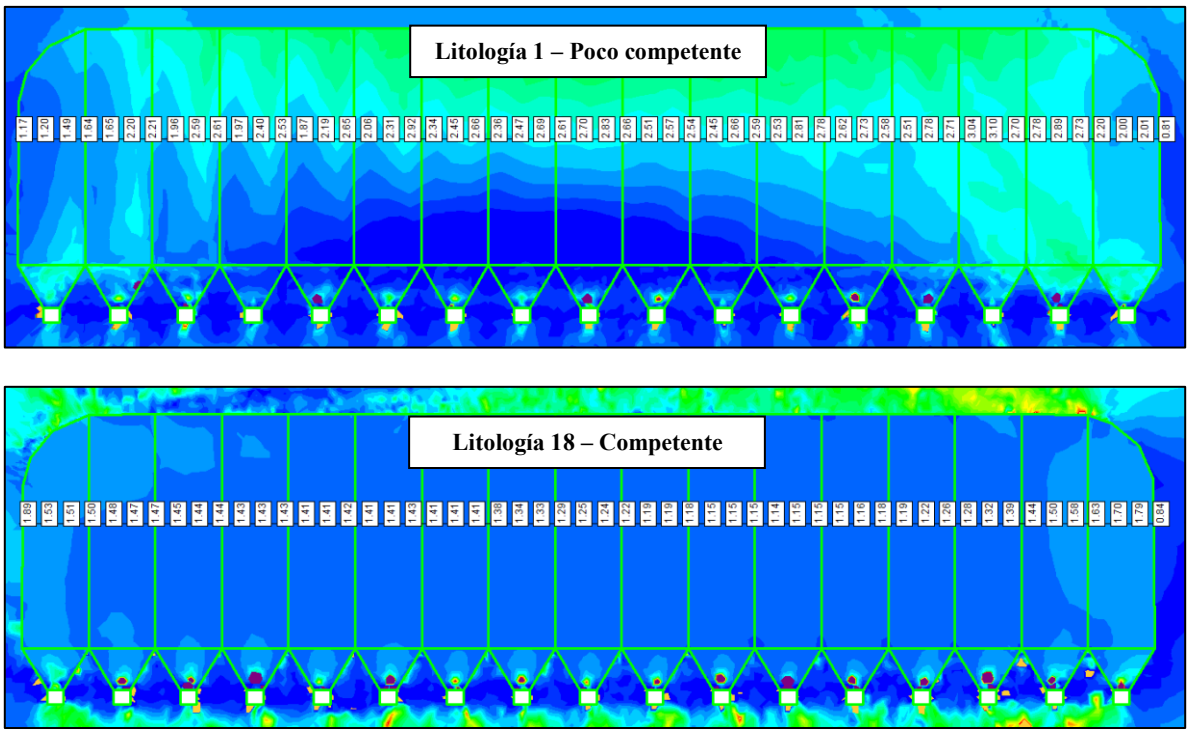


Ilustraciones 19 y 20: Contraste con 5 puntos abiertos - Litología no competente vs competente - Verificación de parámetros litológicos.





Ilustraciones 21 y 22: Contraste con 10 puntos abiertos - Litología no competente vs competente - Verificación de parámetros litológicos.



Ilustraciones 23 y 24: Contraste después de abrir todos los puntos - Litología no competente vs competente - Verificación de parámetros litológicos.

En base a la comparación de resultados de ambas litologías es correcto afirmar que, al abrir las primeras bateas se obtiene un peak de esfuerzos justo en los bordes de excavación, llegando a valores de $K_i \geq 15$ *(Ilustración 20)*, cifra que no se ve reflejada en el promedio de la zona cerrada que se estimó en la *Tabla 7*. Por otro lado, se visualiza un comportamiento decreciente a medida que se avanza en el caving, confirmando el análisis de resultados expuesto anteriormente.

4.3 Influencia de la Dimensión del rajo y ratio K_s

Para evaluar los efectos que tiene la dimensión en los esfuerzos inducidos, se plantea comparar los resultados de los casos con y sin open pit, buscando hallar el porcentaje de incremento que se tiene para cada rajo. Además, se analizaron estos escenarios para los distintos valores de K_s, tratando de observar el comportamiento de los esfuerzos a medida que se iba variando el estado tensional in situ.

4.3.1 Porcentaje de influencia de la dimensión del rajo con respecto al ratio K_s

Como el efecto de la secuencia de excavación será evaluada aparte, se realizará el análisis solo considerando las simulaciones de izquierda a derecha, con el fin de enfocarse en el incremento de esfuerzos que hay en cada rajo. Antes de realizar cualquier evaluación numérica ya se podía percibir una gran diferencia en los esfuerzos sin open pit versus con open pit, este contraste se muestra en el siguiente ejemplo:

Tabla 18: Resultado de esfuerzos sin open pit, de izquierda a derecha, con 5 puntos abiertos y con K_s=0,5 - Evaluación de la dimensión del rajo y ratio K_s.

Without open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.19	0.63	0.67	0.80	1.54	0.62	0.66	0.89	1.75	0.61	0.62	0.95
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.32	0.63	0.68	0.83	1.74	0.64	0.65	0.96	1.94	0.62	0.63	1.01
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.09	0.63	0.67	0.76	1.42	0.61	0.65	0.85	1.58	0.66	0.68	0.93
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.19	0.64	0.70	0.80	1.58	0.62	0.66	0.90	1.71	0.63	0.63	0.95
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.71	0.56	0.60	0.60	0.82	0.57	0.61	0.64	0.92	0.59	0.62	0.69
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.59	0.48	0.53	0.51	0.66	0.50	0.53	0.54	0.73	0.53	0.56	0.59
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.55	0.50	0.53	0.51	0.58	0.48	0.52	0.51	0.59	0.48	0.52	0.51
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.79	0.59	0.64	0.65	0.97	0.60	0.63	0.71	1.08	0.61	0.64	0.75
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.66	0.58	0.63	0.61	0.80	0.60	0.64	0.66	0.85	0.61	0.65	0.68
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.36	0.66	0.74	0.87	1.74	0.64	0.69	0.97	1.93	0.65	0.65	1.02
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	0.52	0.50
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.50
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51	0.52	0.51
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51

Tabla 19: Resultado de esfuerzos con open pit, de izquierda a derecha, con 5 puntos abiertos y con K_s=0,5 - Evaluación de la dimensión del rajo y ratio K_s.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	Poisson's coefficient	UCS	GSI	GSI residual	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.05	1.22	1.61	1.17	1.44	1.44	1.72	1.44	1.77	1.66	1.89	1.69
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.23	1.31	1.67	1.29	1.73	1.56	1.78	1.61	1.95	1.73	1.94	1.80
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	0.94	1.18	1.60	1.11	1.34	1.43	1.67	1.40	1.65	1.62	1.90	1.63
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.03	1.26	1.66	1.19	1.45	1.38	1.69	1.40	1.73	1.65	1.93	1.68
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.71	1.13	1.34	1.00	0.86	1.37	1.70	1.22	1.24	1.80	2.27	1.63
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.65	1.04	1.20	0.92	0.73	1.26	1.48	1.11	0.91	1.59	1.92	1.39
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.78	1.04	1.12	0.97	0.70	1.14	1.32	1.01	0.80	1.35	1.59	1.19
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.77	1.19	1.46	1.07	1.01	1.47	1.88	1.33	1.39	1.72	1.98	1.62
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.62	1.14	1.42	0.99	0.72	1.32	1.71	1.14	0.96	1.55	1.99	1.38
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.33	1.37	1.78	1.36	1.77	1.45	1.62	1.54	2.21	1.79	1.92	1.91
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.89	1.04	0.78	0.53	1.02	1.18	0.88	0.56	1.18	1.35	0.99
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.51	0.89	1.04	0.78	0.52	1.02	1.18	0.87	0.55	1.17	1.34	0.99
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.53	0.89	1.04	0.79	0.55	1.03	1.18	0.89	0.58	1.18	1.35	1.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.87	1.02	0.77	0.53	0.99	1.15	0.85	0.55	1.13	1.31	0.96
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.52	0.87	1.02	0.77	0.53	1.00	1.16	0.86	0.55	1.14	1.32	0.96
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.52	0.87	1.02	0.77	0.53	1.00	1.17	0.86	0.55	1.16	1.37	0.98
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.52	0.87	1.01	0.77	0.53	1.00	1.16	0.86	0.55	1.15	1.35	0.98
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.51	0.86	1.01	0.76	0.52	0.99	1.15	0.85	0.53	1.12	1.31	0.95
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.53	0.88	1.02	0.77	0.55	1.01	1.16	0.87	0.58	1.15	1.33	0.98
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.89	1.04	0.78	0.53	1.02	1.18	0.88	0.56	1.18	1.36	1.00

En las tablas anteriores ya se puede notar un crecimiento de los esfuerzos a medida que aumenta el tamaño del pit, donde también se percibe la gran diferencia que hay con la presencia del rajo. El resto de las tablas se encuentran en el apartado de *Anexo B*.

Al igual que en el estudio anterior, la prioridad fue evaluar los bordes de excavación, los que también serán representados por columnas amarillas al momento de graficar. Para calcular el porcentaje de incremento de esfuerzos se utilizó la *Fórmula 18*, teniendo los siguientes resultados:

Tabla 20: Porcentaje de incremento de esfuerzos para ratio K_s = 0,5.

Ks = 0.5	before caving			open 5 extraction points				open 10 extraction points				after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	70%	123%	100%	1%	87%	114%	57%	-5%	67%	96%	17%	-7%	16%	-5%
rajo 748m	113%	162%	143%	3%	117%	146%	74%	-6%	90%	126%	22%	-8%	11%	-7%
rajo 948m	158%	199%	184%	13%	152%	186%	98%	0%	121%	169%	33%	-6%	26%	1%

Tabla 21: Porcentaje de incremento de esfuerzos para ratio K_s = 1.

Ks = 1	before caving			open 5 extraction points				open 10 extraction points				after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	78%	88%	87%	5%	83%	81%	55%	-2%	73%	71%	19%	-7%	9%	-9%
rajo 748m	99%	106%	107%	6%	94%	94%	61%	-4%	78%	83%	16%	-7%	6%	-11%
rajo 948m	125%	123%	129%	13%	109%	114%	70%	-3%	98%	109%	22%	-5%	13%	-8%

Tabla 23: Porcentaje de incremento de esfuerzos para ratio K_s = 1,5.

Ks = 1.5	before caving			open 5 extraction points				open 10 extraction points				after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	56%	43%	53%	0%	49%	41%	32%	-6%	50%	34%	11%	-11%	-3%	-14%
rajo 748m	72%	64%	68%	0%	52%	60%	33%	-8%	49%	47%	7%	-13%	-5%	-19%
rajo 948m	76%	91%	79%	-1%	67%	84%	40%	-12%	60%	72%	6%	-13%	-2%	-17%

Tabla 24: Porcentaje de incremento de esfuerzos para ratio K_s = 2.

Ks = 2	before caving			open 5 extraction points				open 10 extraction points				after caving		
	first 3exc	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	first 3exc	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	49%	36%	44%	-4%	33%	33%	18%	-7%	27%	25%	2%	-16%	-15%	-23%
rajo 748m	50%	56%	51%	-5%	36%	45%	19%	-9%	34%	36%	1%	-18%	-17%	-26%
rajo 948m	38%	64%	50%	-6%	44%	61%	22%	-14%	40%	55%	-2%	-20%	-16%	-27%

Se puede observar un incremento significativo de los esfuerzos para valores de K_s más bajos, siendo menor este incremento para valores más altos. Por otro lado, se distingue un aumento del porcentaje a medida que se va ampliando el rajo, lo que implica una influencia directa de pit en los esfuerzos.

Con el fin de estimar el incremento de esfuerzos por cada rajo, se graficaron los porcentajes antes mencionados, utilizando la pendiente de la estimación lineal para indicar el incremento que se tenía por cada pit en los bordes de excavación.

Ratio K_s = 0,5

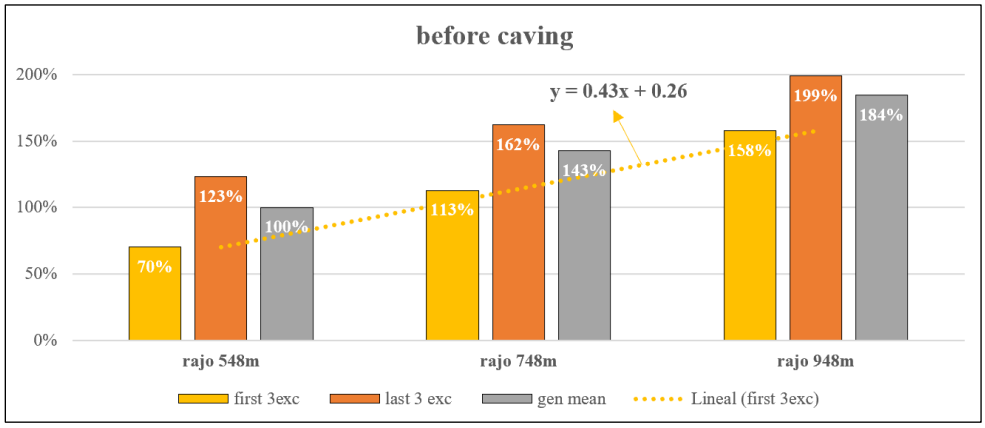


Gráfico 10: Porcentaje de incremento por rajo antes del hundimiento - K_s = 0,5 - Gráfico de columnas.

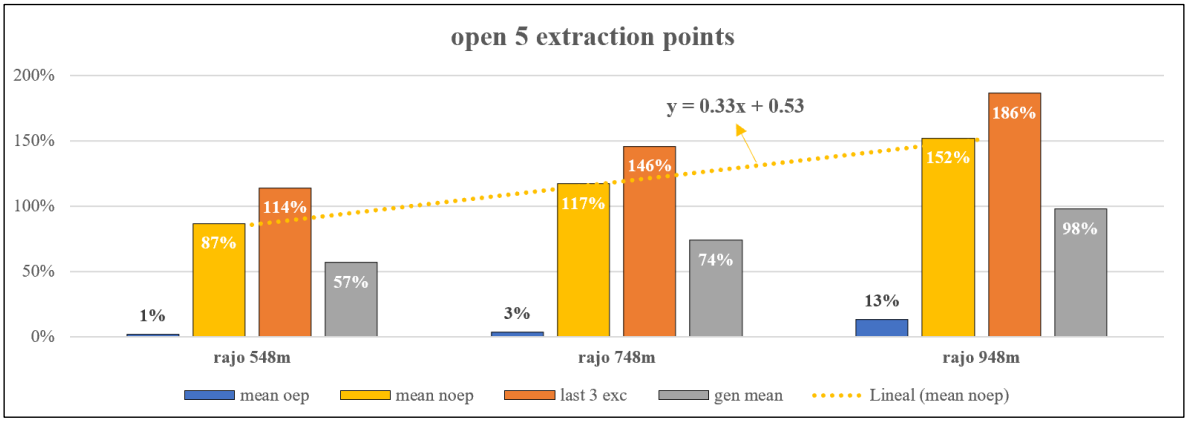


Gráfico 11: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 5 puntos de extracción - K_s= 0,5 - Gráfico de columnas.

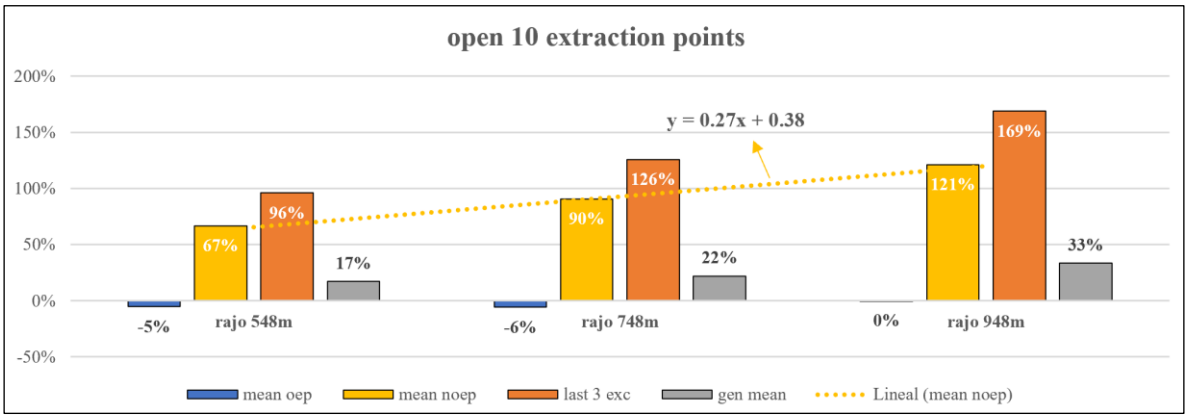


Gráfico 12: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 10 puntos de extracción - K_s= 0,5 - Gráfico de columnas.

A partir de los gráficos, se puede apreciar una disminución en el porcentaje de incremento a medida que se avanzaba en la secuencia de excavación, partiendo con un 43% de incremento por rajo hasta llegar a 27% de incremento después de 10 puntos de extracción.

Ratio $K_s = 1$

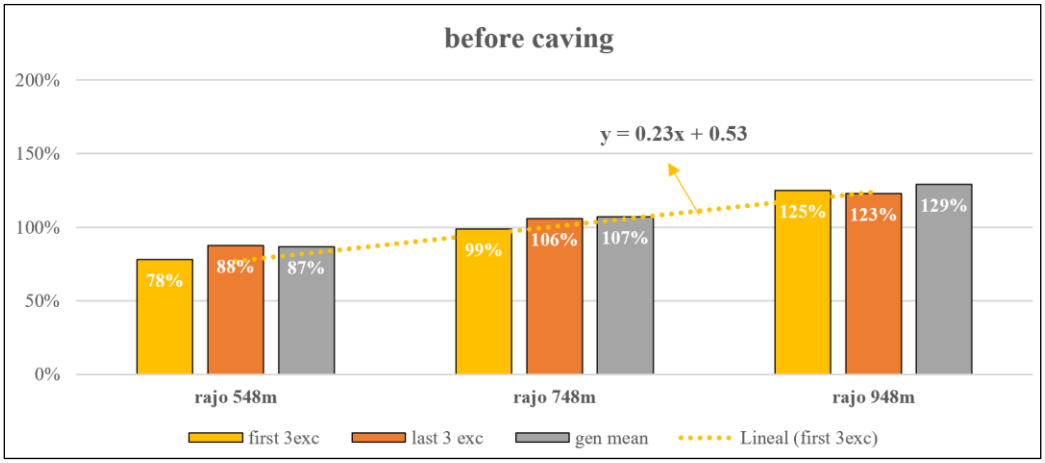


Gráfico 13: Porcentaje de incremento por rajo antes del hundimiento - K_s=1 - Gráfico de columnas.

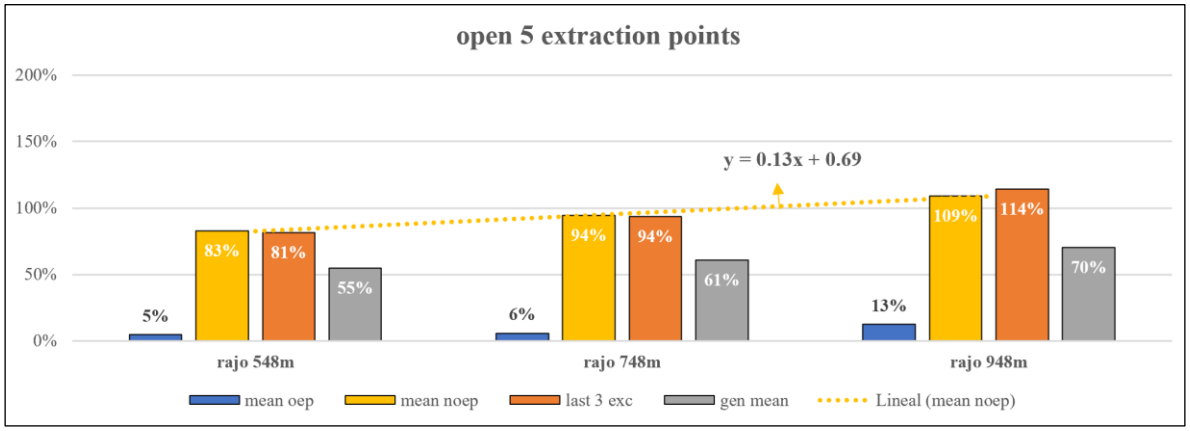


Gráfico 14: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 5 puntos de extracción - K_s=1 - Gráfico de columnas.

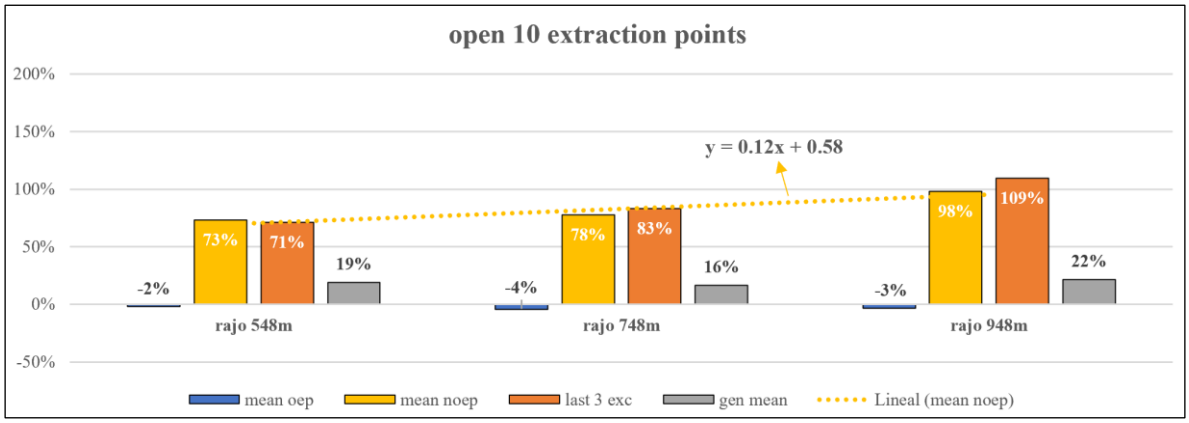


Gráfico 15: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 10 puntos de extracción - K_s = 1 - Gráfico de columnas.

En este caso se presentan porcentajes más bajos que en el apartado anterior, pero se tiene el mismo comportamiento de bajar el incremento a medida que se avanza en las excavaciones.

Ratio K_s = 1,5

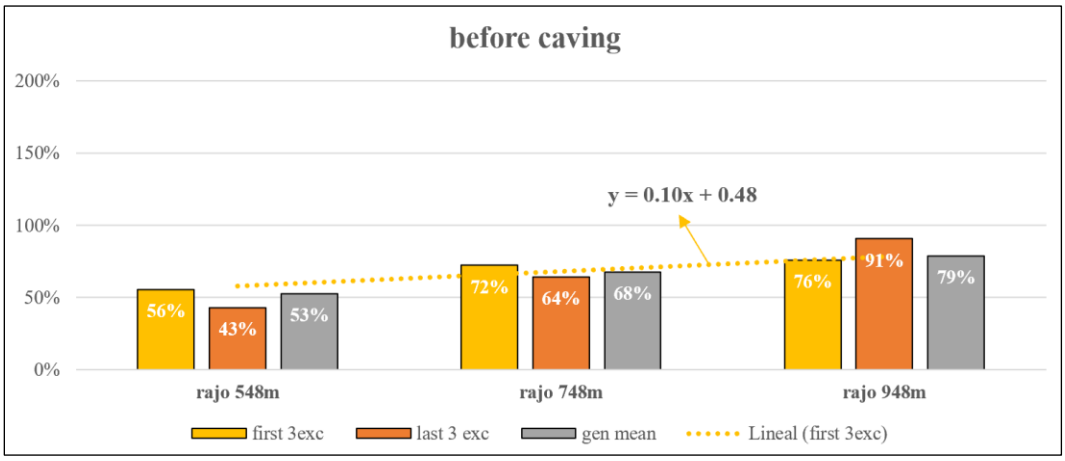


Gráfico 16: Porcentaje de incremento por rajo antes del hundimiento - K_s = 1,5 - Gráfico de columnas.

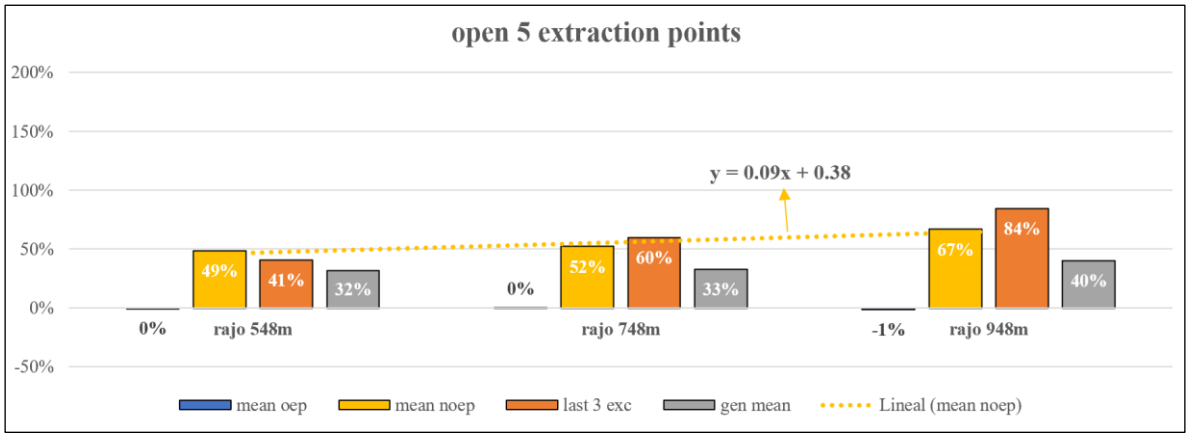


Gráfico 17: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 5 puntos de extracción - K_s= 1,5 - Gráfico de columnas.

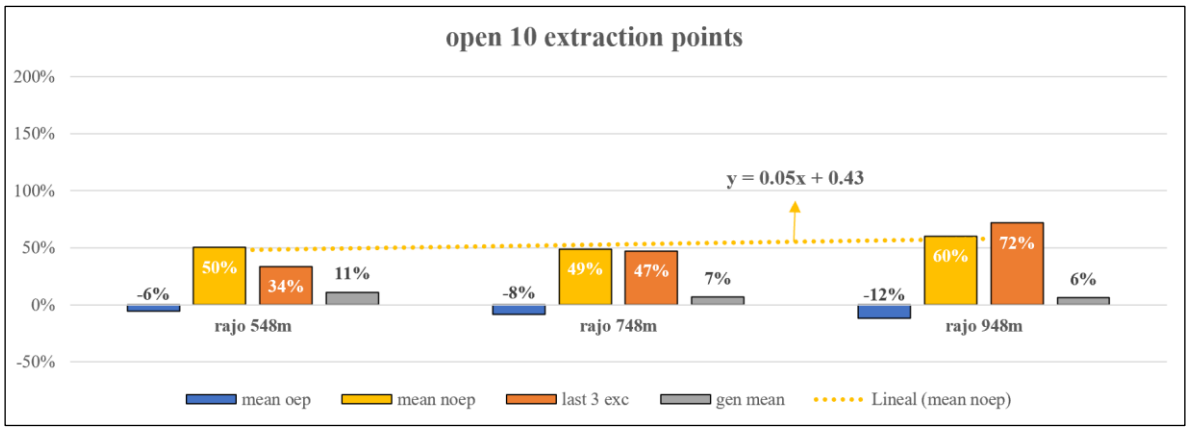


Gráfico 18: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 10 puntos de extracción - K_s= 1,5 - Gráfico de columnas.

.

Con valores de K_s=1,5 no se presenta una gran diferencia en el incremento de esfuerzos por rajo, adquiriendo valores de 10% a 5% en el avance de la secuencia. A medida que se aumentan los valores de K_s, va disminuyendo la pendiente de crecimiento porcentual, donde se espera que para valores más altos de K_s exista una mínima influencia del tamaño del rajo en los esfuerzos inducidos.

Ratio K_s = 2

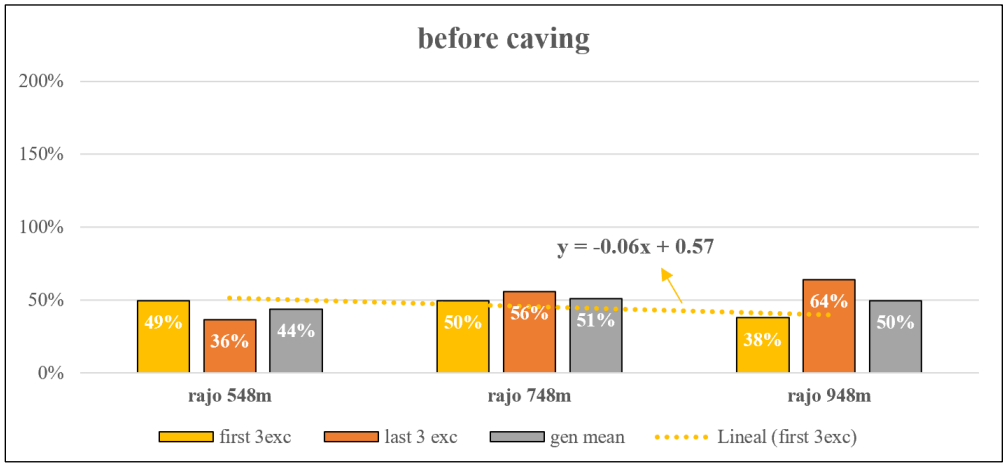


Gráfico 19: Porcentaje de incremento por rajo antes del hundimiento - K_s=2 - Gráfico de columnas.

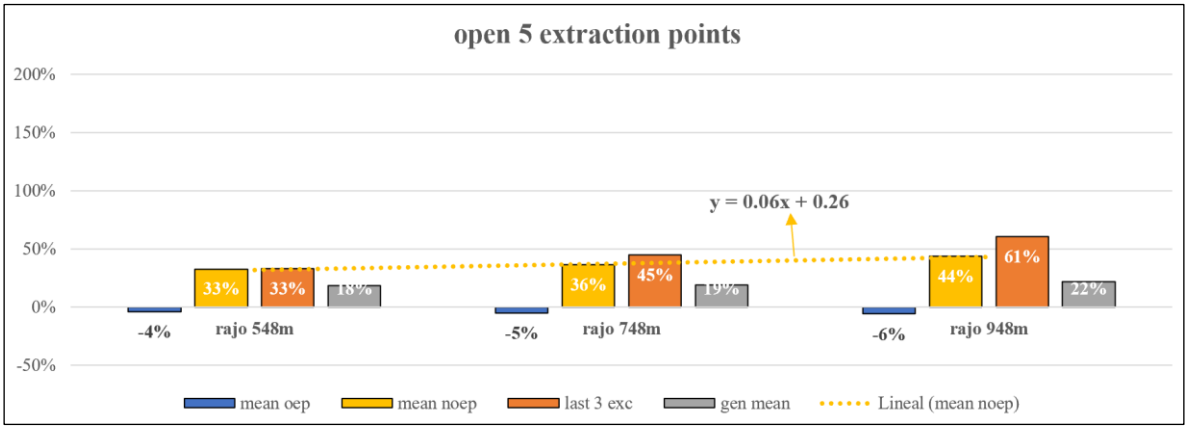


Gráfico 20: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 5 puntos de extracción - K_s=2 - Gráfico de columnas.

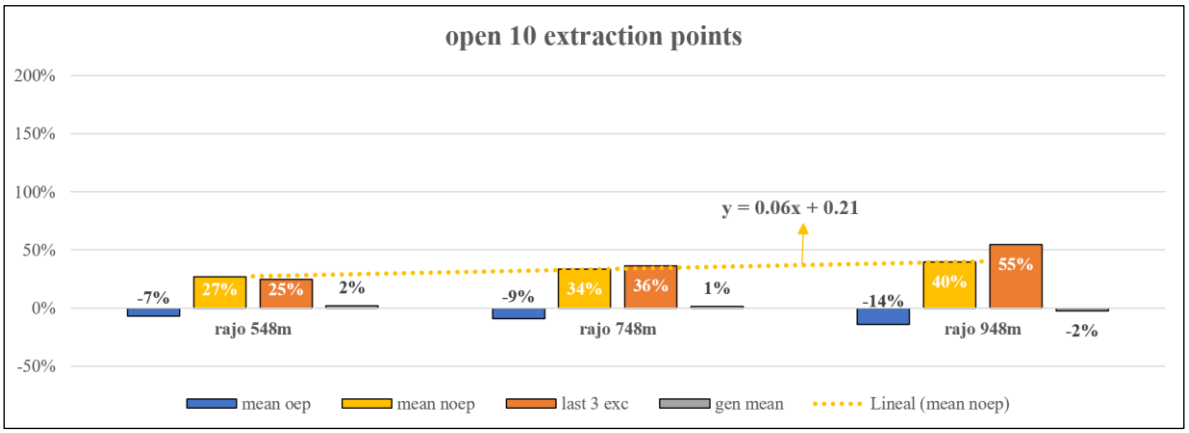


Gráfico 21: Porcentaje de incremento por rajo después de abrir 10 puntos de extracción - K_s=2 - Gráfico de columnas.

Como se esperaba, en este punto el tamaño del rajo influye en apenas un 6%, manteniéndose constante después de abrir 5 puntos de extracción.

Según los resultados, la influencia del tamaño de rajo se da en las etapas iniciales de excavación con un $K_s \leq 1$, volviendo a la teoría que se planteó en los parámetros geomecánicos, donde era más probable la presencia de colgaduras en los primeros bloques de hundimiento.

4.3.2 Comparación de resultados en RS2 – Dimensión del rajo y ratio K_s

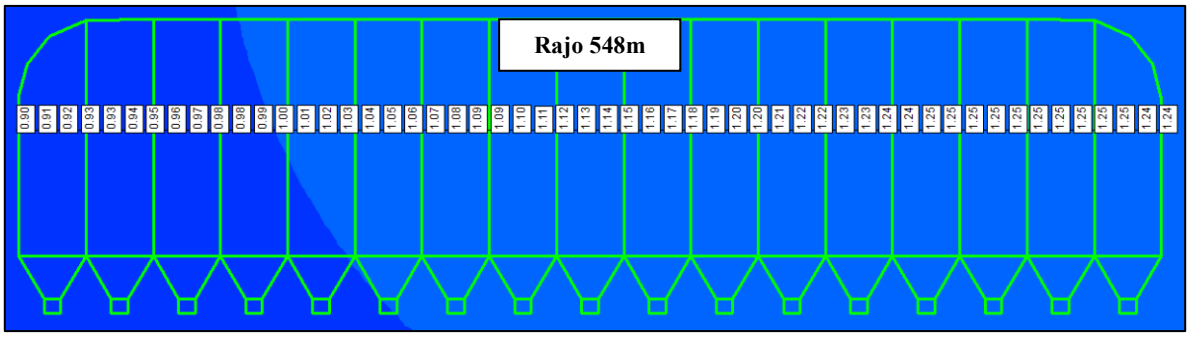
La comprobación de resultados se llevará a cabo para ambos extremos, comparando la influencia del tamaño del rajo para un $K_s = 0{,}5$ y un $K_s = 2$, manteniendo la misma litología para todos los casos. Además, el contraste será realizado para todas las etapas, con el fin de reforzar la teoría planteada que los esfuerzos son mayores en la primera fase de excavación. Las demostraciones se harán con la litología 6, la que cuenta con parámetros cercanos a la media general, según se ve en la siguiente tabla:

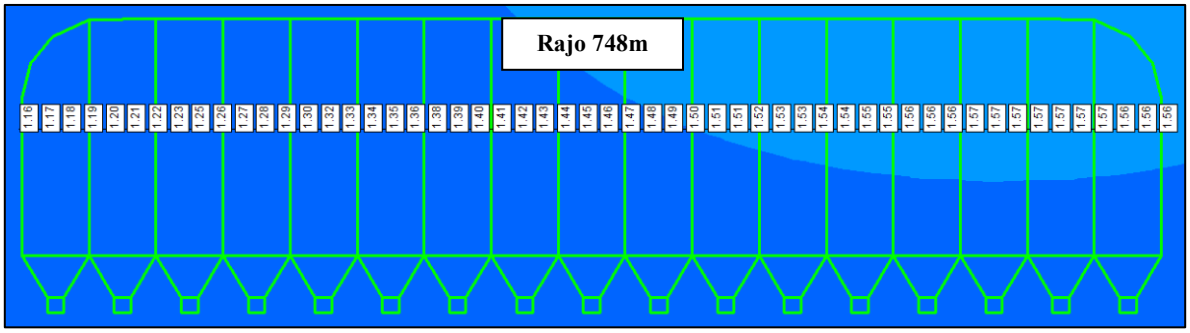
Tabla 25: Litología de prueba para la verificación de resultados – Tamaño del rajo y ratio K in situ.

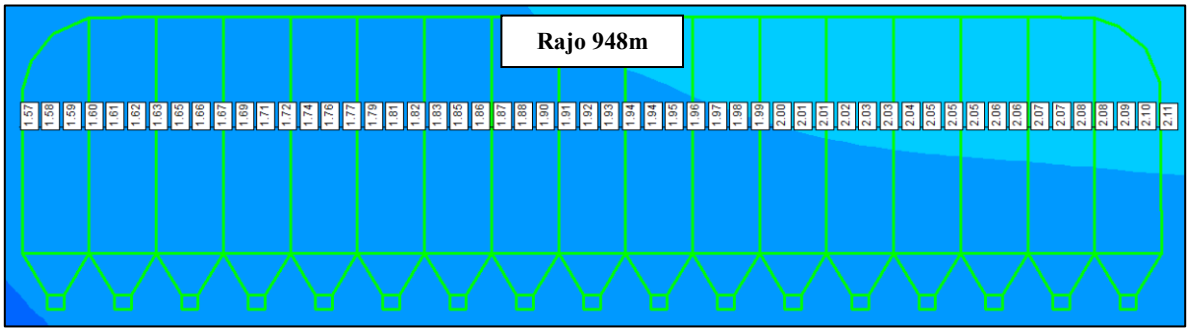
Lithology	Densidad	Poisson's coefficient	UCS	GSI	GSI residual	mi	Young'modulus
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000

El contraste de los rajos separados por etapa se muestra a continuación:

- Contraste antes del caving con $K_s = 0{,}5$:

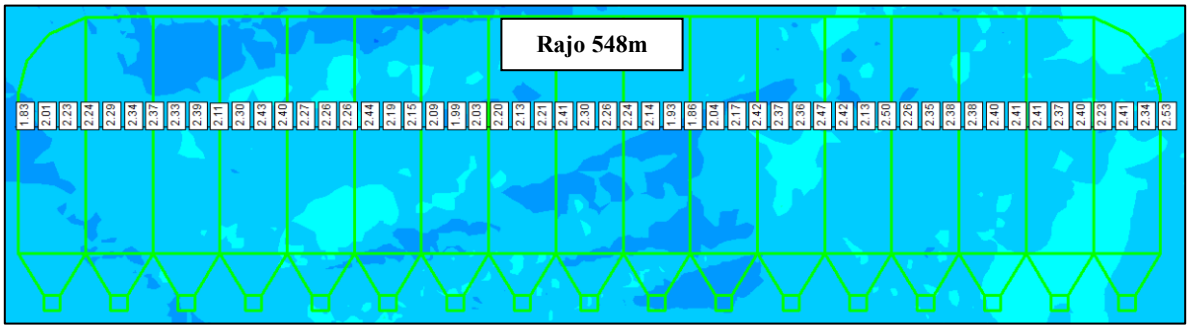


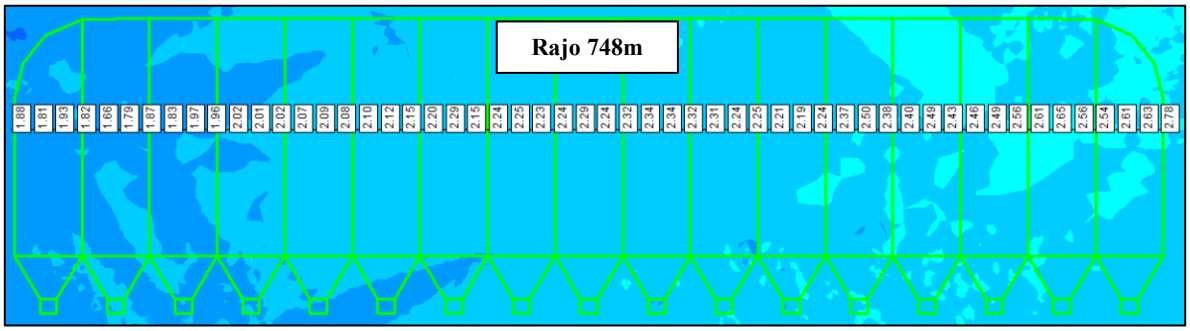


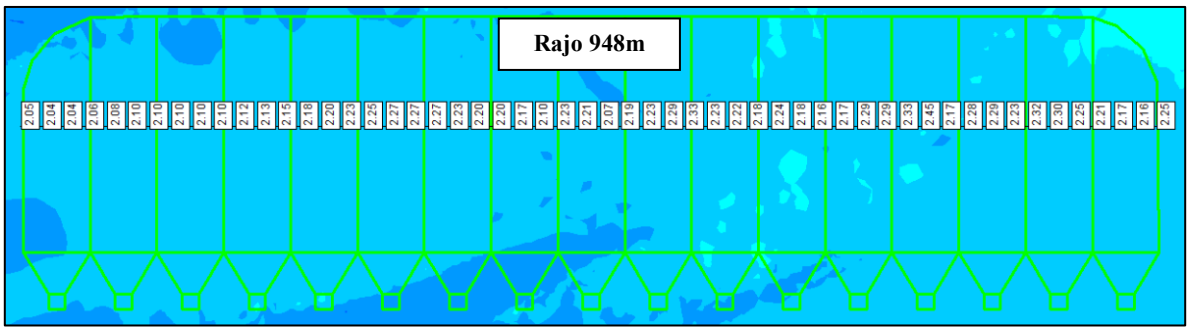


Ilustraciones 25, 26 y 27: Contraste antes del caving con $K_s = 0{,}5$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio K_s.

- Contraste antes del caving con $K_s = 2$:



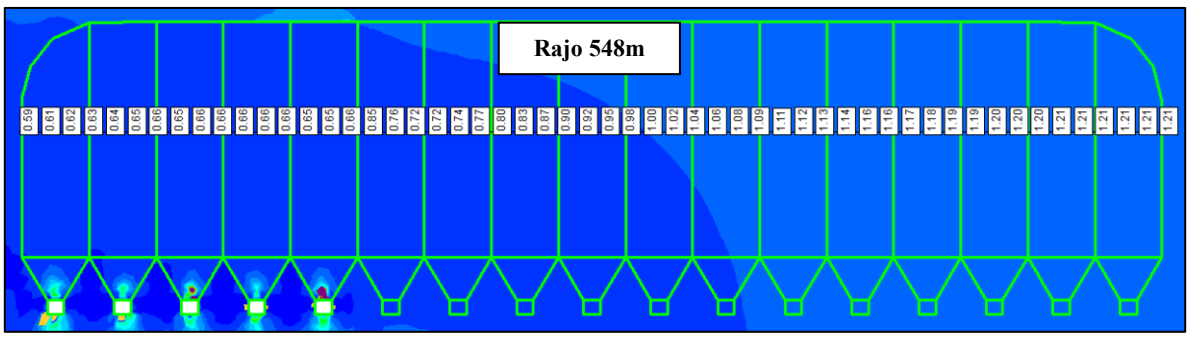


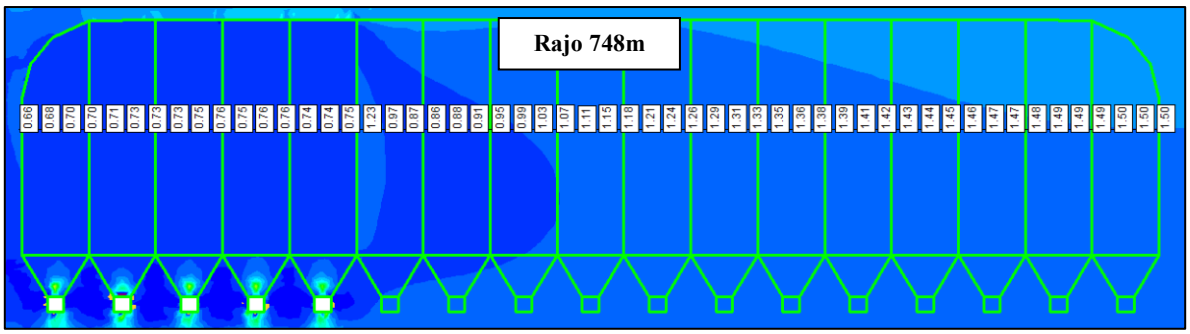


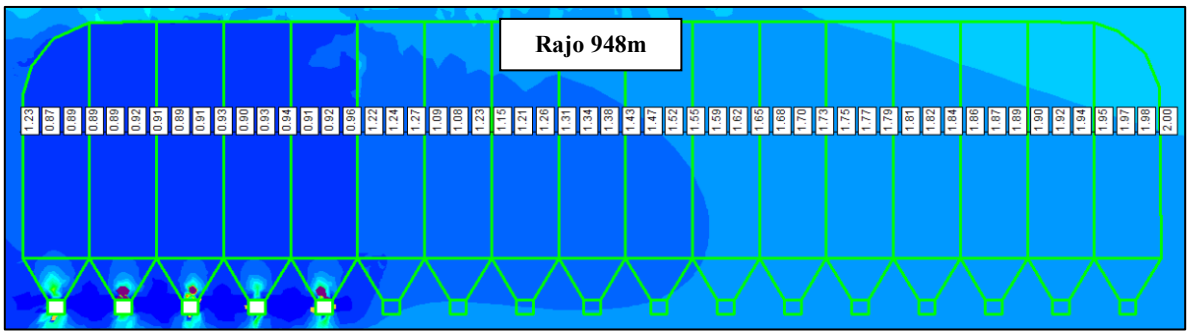
Ilustraciones 28, 29 y 30: Contraste antes del caving con $K_s = 2$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio K_s.

Hasta este punto, se verifica lo planteado en los resultados, incrementando de gran manera los esfuerzos a medida que aumenta el tamaño del rajo, situándose en el caso antes del caving con un $K_s < 1$. También, se visualizan esfuerzos prácticamente constantes en todos los rajos para un $K_s = 2$, validando momentáneamente la teoría planteada, donde se dice que con ratios k in situ más altos, el tamaño del rajo influye cada vez menos.

- Contraste después de abrir 5 puntos con $K_s = 0{,}5$:

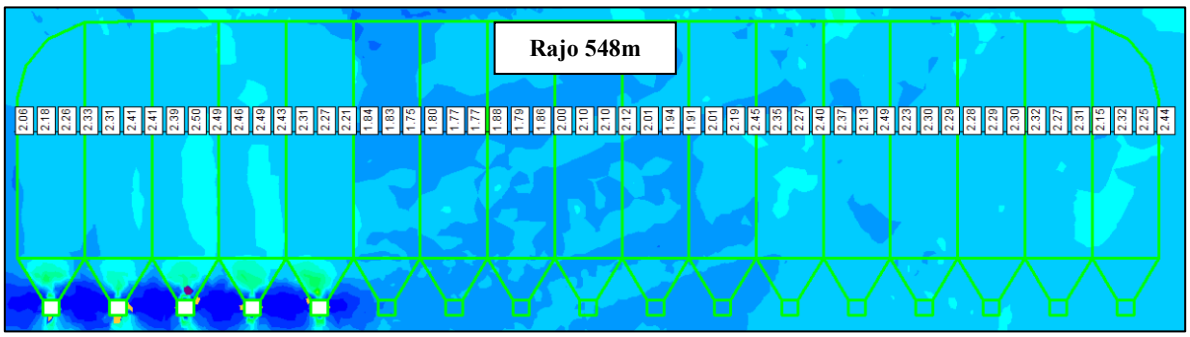


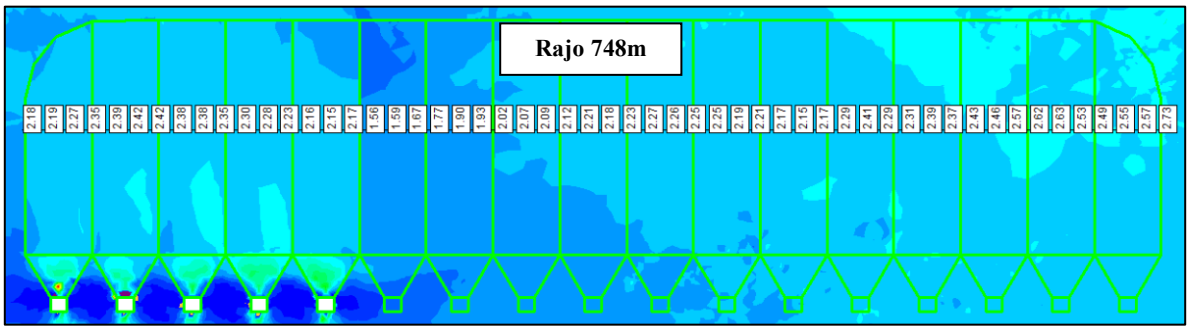


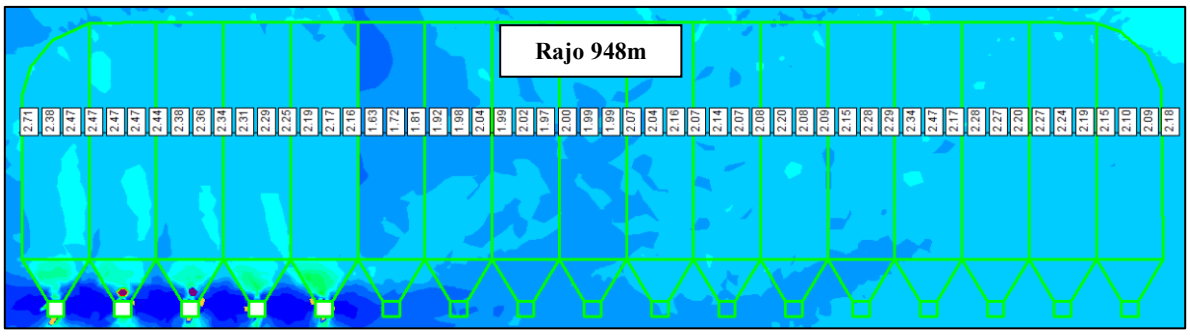


Ilustraciones 31, 32 y 33: Contraste después de abrir 5 puntos con $K_s = 0{,}5$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio K_s.

- Contraste después de abrir 5 puntos con $K_s = 2$:



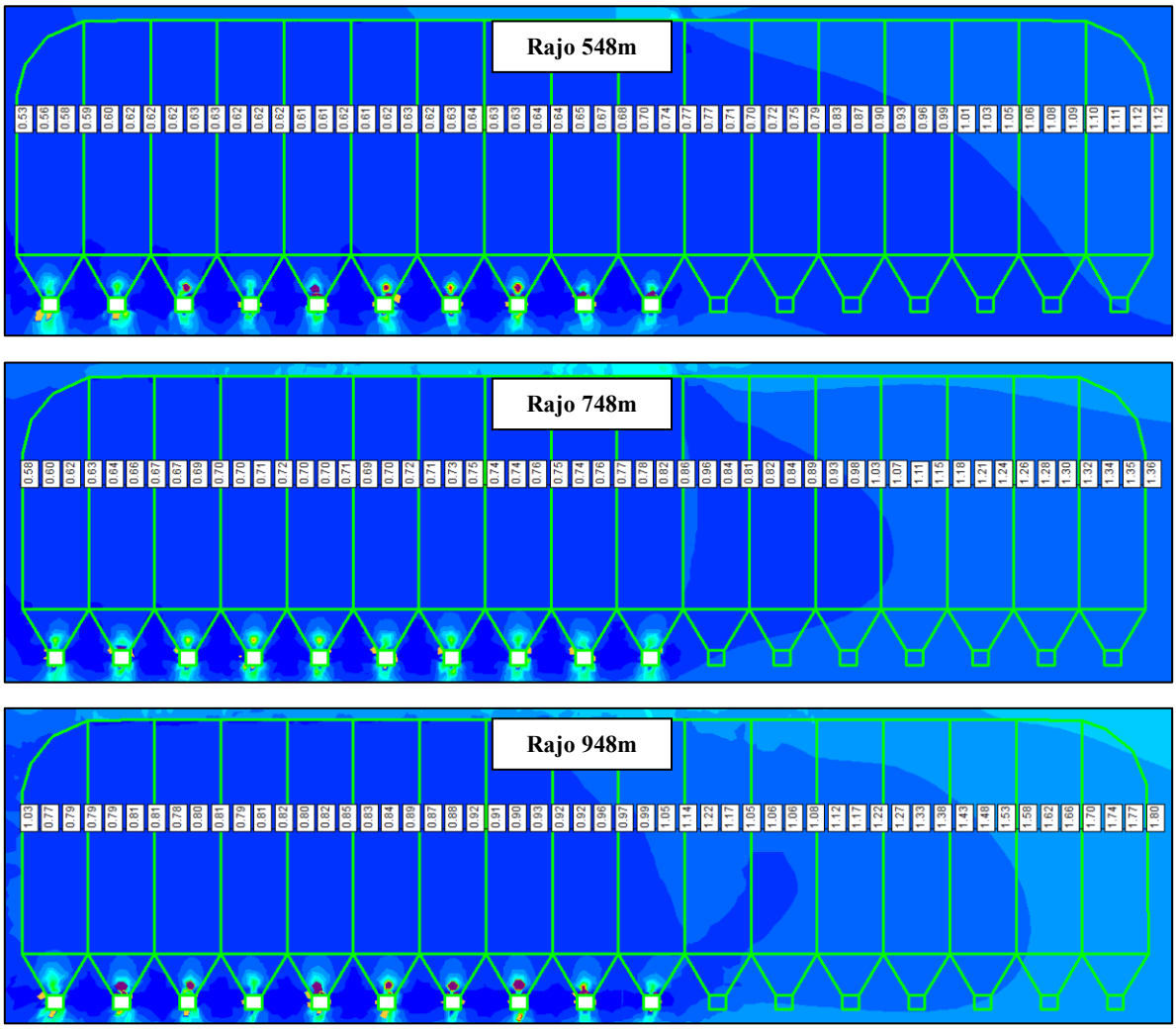




Ilustraciones 34, 35 y 36: Contraste después de abrir 5 puntos con $K_s = 2$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio K_s.

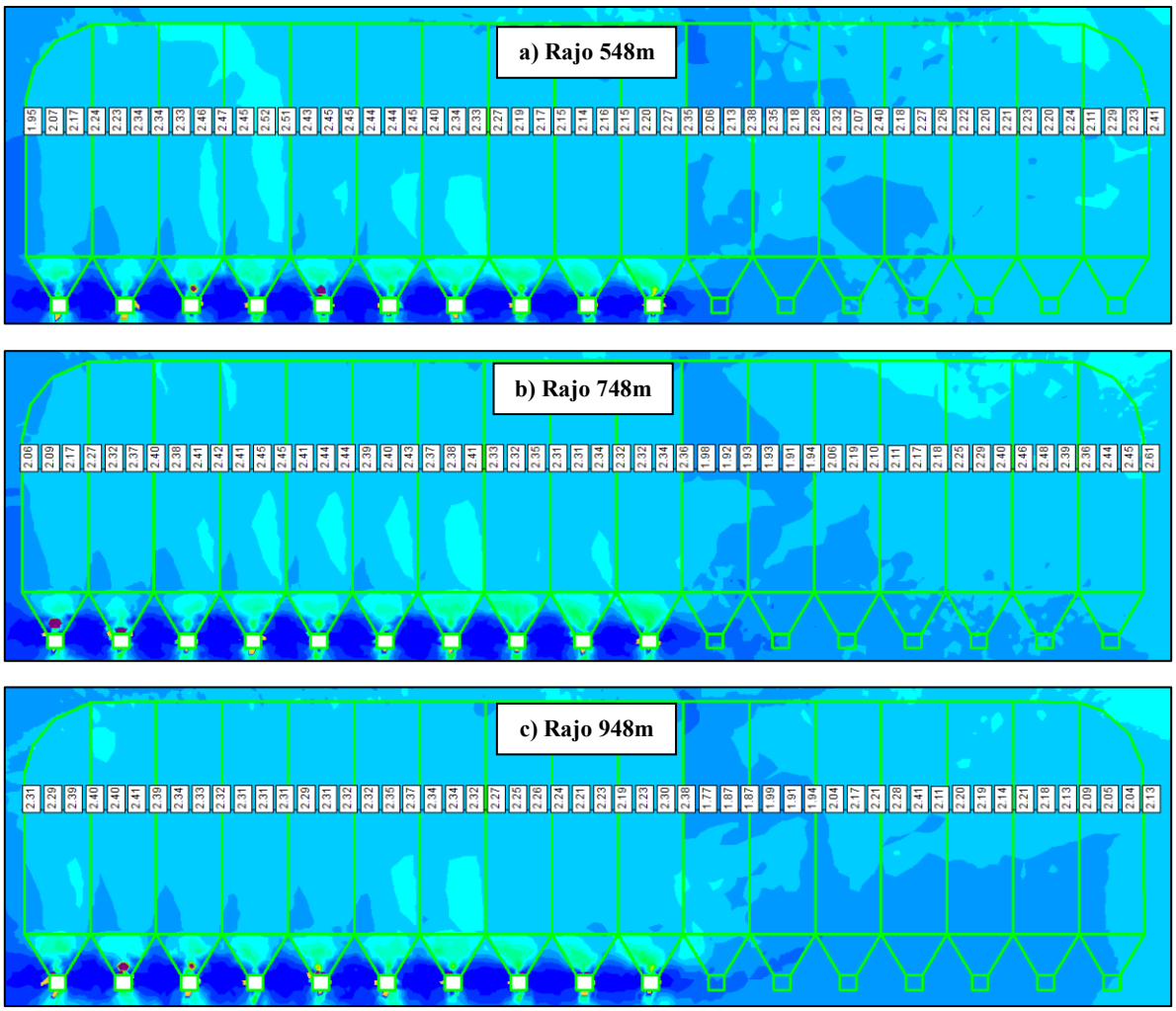
En esta etapa aún se distingue una gran influencia del rajo considerando un $K_s = 0{,}5$, teniendo un mayor aumento en la zona cerrada y algo más leve en la zona abierta. Con respecto al $K_s = 2$ se siguen manteniendo los valores relativamente constantes, variando un poco en el borde de excavación.

- Contraste después de abrir 10 puntos con $K_s = 0{,}5$:



Ilustraciones 37, 38 y 39: Contraste después de abrir 10 puntos con $K_s = 0{,}5$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio K_s.

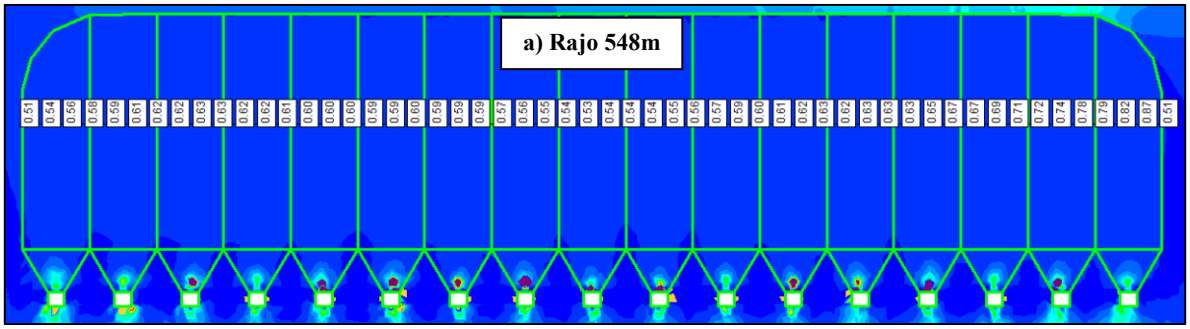
- Contraste después de abrir 10 puntos con $K_s = 2$:

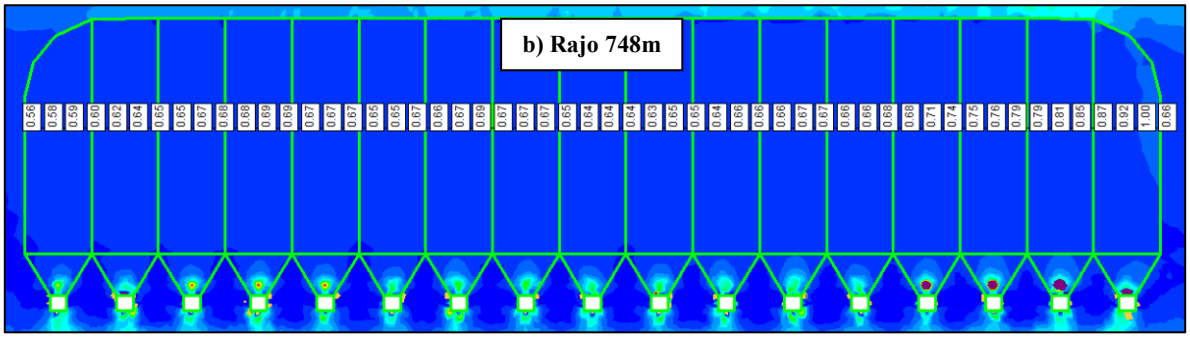


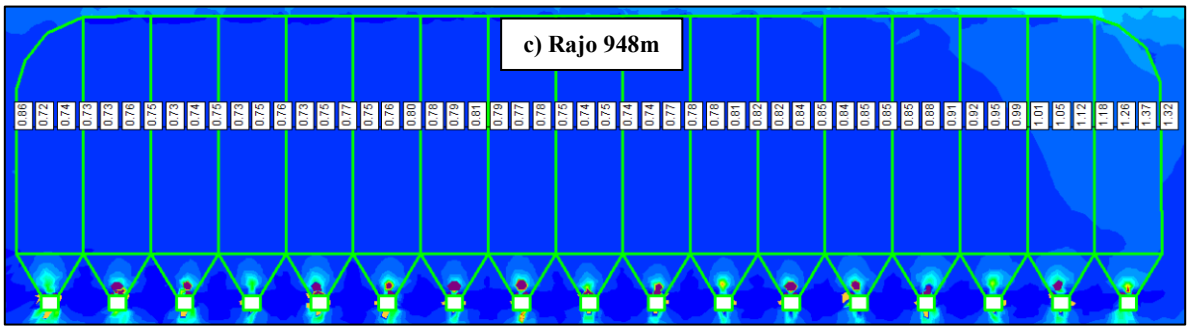
Ilustraciones 40, 41 y 42: Contraste después de abrir 10 puntos con $K_s = 2$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio K_s.

Ya teniendo este avance, el aumento del K_i es bastante menor, teniendo una diferencia aproximada de 0,08 por cada rajo para un $K_s = 0{,}5$, siendo menos relevante el tamaño del pit a medida que se avanza en el caving. Mientras, el tamaaño del rajo sigue siendo una variable irrelevante para un $K_s = 2$.

- Contraste después de abrir todos los puntos con un $K_s = 0{,}5$:

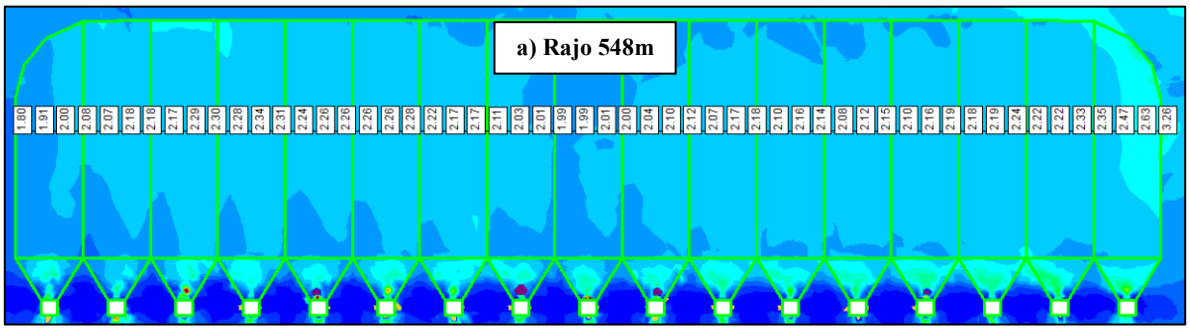


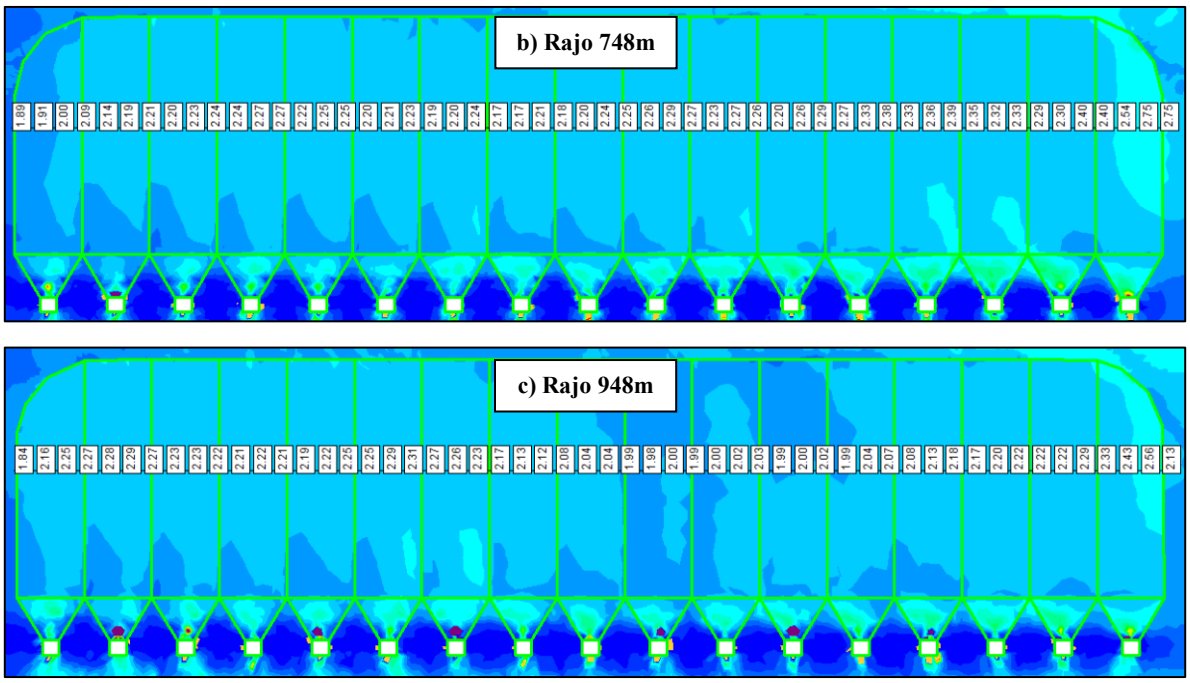




Ilustraciones 43, 44 y 45: Contraste después de abrir todos los puntos con $K_s = 0{,}5$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio K_s.

- Contraste después de abrir todos los puntos con un $K_s = 2$:





Ilustraciones 46, 47 y 48: Contraste después de abrir todos los puntos con $K_s = 2$ – Verificación de dimensión del rajo y ratio K_s.

Según las ilustraciones, la influencia del rajo en los esfuerzos es mínima para el $K_s = 0{,}5$, mientras que en el $K_s = 2$ sigue siendo irrelevante.

Finalmente, se confirma la influencia del open pit para $K_s \leq 1$, disminuyendo su relevancia a medida que se va abriendo el caving. Según estos resultados, la probabilidad de colgaduras aumenta en las primeras fases de excavación, tal como se había planteado para los parámetros geotécnicos.

4.4 Influencia de la dirección de excavación

4.4.1 Cálculo porcentual de la variación de esfuerzos al cambiar la dirección de excavación

Como se quiere evaluar la dirección de excavación con la existencia de un pit, se debe hacer un contraste con respecto al modelo sin open pit, buscando cumplir con el objetivo general de analizar la presencia del rajo en labores subterráneas. La diferencia de esfuerzos inducidos con open pit para ambas direcciones de excavación se puede apreciar de mejor manera en los siguientes resultados:

Tabla 26: Resultado de esfuerzos con open pit, de izquierda a derecha, con 5 puntos abiertos y con K_s=0,5 - Evaluación de la dirección de excavación.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	Poisson's coefficient	UCS	GSI	GSI residual	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.05	1.22	1.61	1.17	1.44	1.44	1.72	1.44	1.77	1.66	1.89	1.69
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.23	1.31	1.67	1.29	1.73	1.56	1.78	1.61	1.95	1.73	1.94	1.80
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	0.94	1.18	1.60	1.11	1.34	1.43	1.67	1.40	1.65	1.62	1.90	1.63
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.03	1.26	1.66	1.19	1.45	1.38	1.69	1.40	1.73	1.65	1.93	1.68
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.71	1.13	1.34	1.00	0.86	1.37	1.70	1.22	1.24	1.80	2.27	1.63
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.65	1.04	1.20	0.92	0.73	1.26	1.48	1.11	0.91	1.59	1.92	1.39
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.78	1.04	1.12	0.97	0.70	1.14	1.32	1.01	0.80	1.35	1.59	1.19
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.77	1.19	1.46	1.07	1.01	1.47	1.88	1.33	1.39	1.72	1.98	1.62
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.62	1.14	1.42	0.99	0.72	1.32	1.71	1.14	0.96	1.55	1.99	1.38
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.33	1.37	1.78	1.36	1.77	1.45	1.62	1.54	2.21	1.79	1.92	1.91
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.89	1.04	0.78	0.53	1.02	1.18	0.88	0.56	1.18	1.35	0.99
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.51	0.89	1.04	0.78	0.52	1.02	1.18	0.87	0.55	1.17	1.34	0.99
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.53	0.89	1.04	0.79	0.55	1.03	1.18	0.89	0.58	1.18	1.35	1.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.87	1.02	0.77	0.53	0.99	1.15	0.85	0.55	1.13	1.31	0.96
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.52	0.87	1.02	0.77	0.53	1.00	1.16	0.86	0.55	1.14	1.32	0.96
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.52	0.87	1.02	0.77	0.53	1.00	1.17	0.86	0.55	1.16	1.37	0.98
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.52	0.87	1.01	0.77	0.53	1.00	1.16	0.86	0.55	1.15	1.35	0.98
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.51	0.86	1.01	0.76	0.52	0.99	1.15	0.85	0.53	1.12	1.31	0.95
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.53	0.88	1.02	0.77	0.55	1.01	1.16	0.87	0.58	1.15	1.33	0.98
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.89	1.04	0.78	0.53	1.02	1.18	0.88	0.56	1.18	1.36	1.00

Tabla 27: Resultado de esfuerzos con open pit, de derecha a izquierda, con 5 puntos abiertos y con K_s=0,5 - Evaluación de la dirección de excavación.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.40	0.96	0.98	1.09	1.95	1.09	1.08	1.34	2.54	1.48	1.45	1.79
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.78	1.11	1.08	1.31	2.28	1.31	1.17	1.59	2.65	1.52	1.45	1.85
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.20	0.90	0.96	0.99	1.72	1.10	1.09	1.29	2.43	1.42	1.41	1.72
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.42	1.02	1.04	1.14	1.94	1.13	1.17	1.37	2.58	1.48	1.44	1.80
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.90	0.92	0.96	0.91	1.19	1.12	1.18	1.14	1.62	1.26	1.40	1.37
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.82	0.84	0.88	0.83	0.97	1.04	1.11	1.02	1.30	1.28	1.37	1.29
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.77	0.77	0.82	0.77	0.90	0.94	1.03	0.93	1.07	1.13	1.26	1.11
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.03	0.98	1.02	0.99	1.43	1.15	1.21	1.23	1.95	1.43	1.40	1.58
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.72	0.89	0.99	0.84	0.90	1.01	1.17	0.97	1.27	1.04	1.25	1.11
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.74	1.06	1.08	1.26	2.18	1.28	1.24	1.54	2.83	1.57	1.58	1.94
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.55	0.71	0.81	0.66	0.57	0.86	1.02	0.78	0.61	1.03	1.26	0.90
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.54	0.71	0.81	0.66	0.55	0.86	1.02	0.77	0.58	1.02	1.26	0.89
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.58	0.72	0.81	0.68	0.61	0.88	1.03	0.80	0.66	1.04	1.26	0.93
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.55	0.69	0.78	0.65	0.57	0.82	0.97	0.75	0.59	0.97	1.18	0.86
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.55	0.69	0.78	0.65	0.57	0.82	0.97	0.75	0.59	0.97	1.17	0.86
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.55	0.68	0.78	0.64	0.57	0.82	0.96	0.75	0.60	0.96	1.15	0.85
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.55	0.68	0.78	0.64	0.57	0.82	0.96	0.75	0.60	0.97	1.16	0.86
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.53	0.68	0.78	0.64	0.54	0.82	0.96	0.74	0.56	0.96	1.17	0.84
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.58	0.70	0.78	0.66	0.61	0.84	0.97	0.77	0.66	0.99	1.17	0.89
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.55	0.71	0.81	0.66	0.57	0.87	1.02	0.78	0.61	1.02	1.25	0.90

Se puede apreciar en el ejemplo una disminución general de los esfuerzos cuando se excava de derecha a izquierda, excepto en las zonas abiertas, donde aumenta significativamente el valor del K_i. Para ver la diferencia, se hizo la misma comparación, pero sin open pit, llegando a los siguientes resultados:

Tabla 28: Resultado de esfuerzos sin open pit, de izquierda a derecha, con 5 puntos abiertos y con K_s=0,5 - Evaluación de la dirección de excavación.

Without open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.19	0.63	0.67	0.80	1.54	0.62	0.66	0.89	1.75	0.61	0.62	0.95
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.32	0.63	0.68	0.83	1.74	0.64	0.65	0.96	1.94	0.62	0.63	1.01
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.09	0.63	0.67	0.76	1.42	0.61	0.65	0.85	1.58	0.66	0.68	0.93
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.19	0.64	0.70	0.80	1.58	0.62	0.66	0.90	1.71	0.63	0.63	0.95
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.71	0.56	0.60	0.60	0.82	0.57	0.61	0.64	0.92	0.59	0.62	0.69
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.59	0.48	0.53	0.51	0.66	0.50	0.53	0.54	0.73	0.53	0.56	0.59
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.55	0.50	0.53	0.51	0.58	0.48	0.52	0.51	0.59	0.48	0.52	0.51
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.79	0.59	0.64	0.65	0.97	0.60	0.63	0.71	1.08	0.61	0.64	0.75
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.66	0.58	0.63	0.61	0.80	0.60	0.64	0.66	0.85	0.61	0.65	0.68
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.36	0.66	0.74	0.87	1.74	0.64	0.69	0.97	1.93	0.65	0.65	1.02
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	0.52	0.50
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.50
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51	0.52	0.51
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51

Tabla 29: Resultado de esfuerzos sin open pit, de derecha a izquierda, con 5 puntos abiertos y con K_s=0,5 - Evaluación de la dirección de excavación.

Without open pit. After opening 5 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidadon's coeff		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.18	0.65	0.66	0.80	1.56	0.66	0.67	0.92	1.63	0.66	0.67	0.95
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.31	0.66	0.68	0.85	1.73	0.67	0.68	0.98	1.88	0.68	0.67	1.03
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.07	0.64	0.66	0.77	1.39	0.65	0.68	0.87	1.49	0.66	0.67	0.91
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.17	0.66	0.69	0.81	1.51	0.68	0.70	0.92	1.67	0.67	0.67	0.96
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.68	0.56	0.59	0.60	0.85	0.58	0.61	0.66	0.91	0.61	0.62	0.70
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.58	0.49	0.52	0.51	0.66	0.51	0.53	0.55	0.69	0.53	0.56	0.58
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.54	0.50	0.52	0.51	0.58	0.48	0.52	0.51	0.58	0.48	0.52	0.51
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.78	0.59	0.63	0.65	0.97	0.60	0.62	0.71	1.04	0.63	0.64	0.75
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.67	0.60	0.61	0.62	0.79	0.60	0.63	0.66	0.84	0.62	0.64	0.69
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.34	0.70	0.76	0.89	1.72	0.71	0.75	1.00	1.83	0.71	0.73	1.04
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.51
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50

En este caso, se aprecia valores de esfuerzo similares en ambas direcciones, siendo irrelevante la secuencia de excavación para un modelo sin open pit. El resto de las tablas de resultados se encuentran en el apartado de *Anexos B*.

Para hacer el análisis cuantitativo se calculará el porcentaje de disminución de esfuerzos, haciendo la comparación si se excava de derecha a izquierda con respecto a los esfuerzos de izquierda a derecha, utilizando la *Fórmula 19*. Los porcentajes obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 30: Porcentaje de incremento de esfuerzos de derecha a izquierda con respecto a los esfuerzos de derecha a izquierda con 5 y 10 puntos abiertos - K_s=0,5.

K = 0.5	open 5 extraction points				open 10 extraction points			
	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	17%	-21%	-28%	-12%	4%	-26%	-29%	-10%
rajo 748m	20%	-18%	-23%	-9%	8%	-25%	-25%	-6%
rajo 948m	24%	-16%	-19%	-7%	12%	-23%	-23%	-4%

Tabla 31: Porcentaje de incremento de esfuerzos de derecha a izquierda con respecto a los esfuerzos de izquierda a derecha con 5 y 10 puntos abiertos - K_s=1.

K = 1	open 5 extraction points				open 10 extraction points			
	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	6%	-22%	-12%	-15%	-2%	-27%	-17%	-13%
rajo 748m	9%	-16%	-10%	-10%	1%	-21%	-14%	-7%
rajo 948m	9%	-14%	-9%	-7%	5%	-23%	-15%	-6%

Tabla 32: Porcentaje de incremento de esfuerzos de derecha a izquierda con respecto a los esfuerzos de izquierda a derecha con 5 y 10 puntos abiertos - K_s=1,5.

K = 1.5	open 5 extraction points				open 10 extraction points			
	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	-1%	-18%	-4%	-13%	-6%	-28%	-10%	-15%
rajo 748m	0%	-18%	-13%	-13%	-4%	-26%	-18%	-13%
rajo 948m	7%	-24%	-24%	-16%	0%	-30%	-28%	-12%

Tabla 33: Porcentaje de incremento de esfuerzos de derecha a izquierda con respecto a los esfuerzos de izquierda a derecha con 5 y 10 puntos abiertos - K_s=2.

K = 2	open 5 extraction points				open 10 extraction points			
	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean	mean oep	mean noep	last 3 exc	gen mean
rajo 548m	-7%	-17%	-6%	-14%	-9%	-21%	-12%	-13%
rajo 748m	-2%	-19%	-17%	-14%	-6%	-28%	-22%	-14%
rajo 948m	3%	-23%	-28%	-15%	-1%	-31%	-32%	-13%

En las tablas anteriores se observa una reducción de esfuerzos de un 20% en la zona cerrada considerando los primeros 5 puntos de extracción, mientras que, al abrir 10 puntos, se tiene una reducción de un 25% en la misma zona.

Por otro lado, se puede visualizar una conducta lineal de la disminución de esfuerzos a medida que va cambiando el tamaño del rajo, donde se distingue un comportamiento creciente para un $K_s \leq 1$ y decreciente para un $K_s > 1$, tal como se representa en los siguientes gráficos:

K_s= 0,5

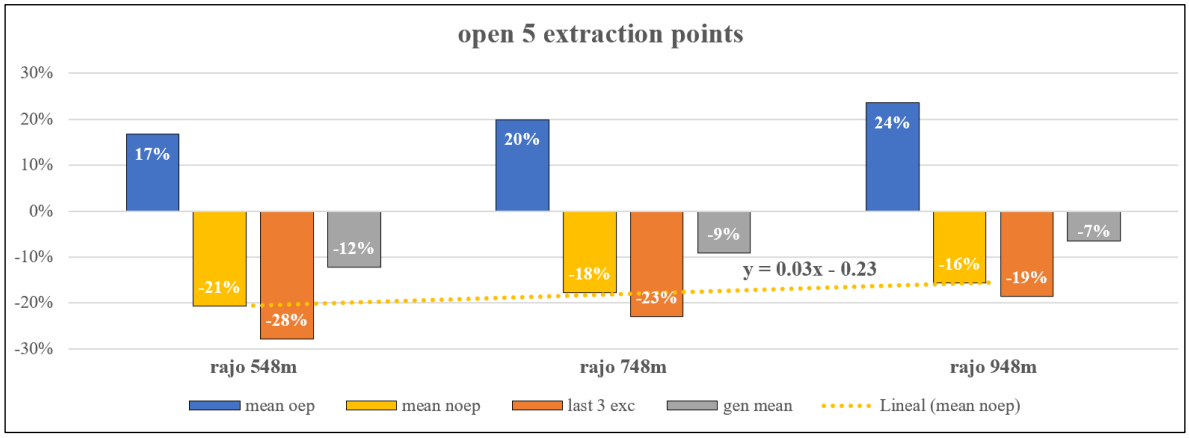


Gráfico 22: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 5 puntos abiertos - right to left vs left to right - K_s= 0,5 - Gráfico de columnas.

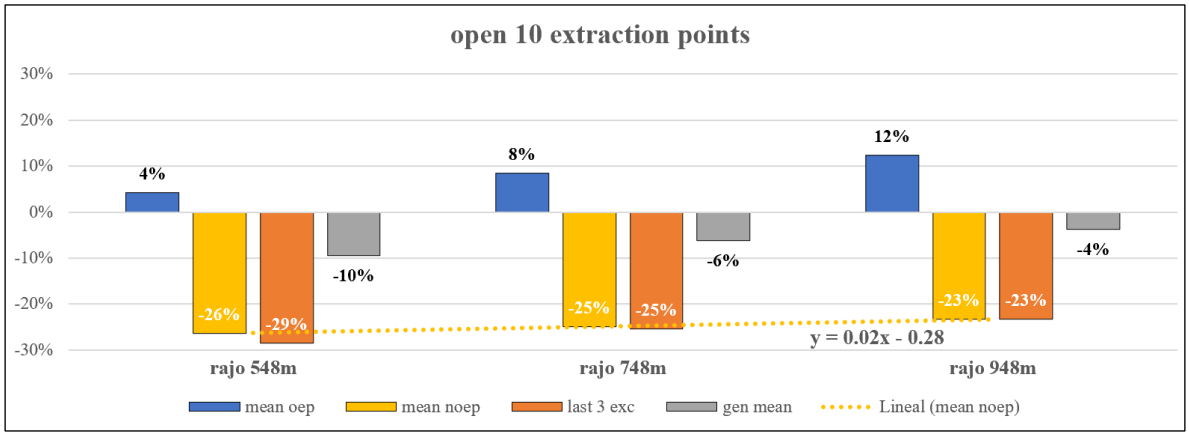


Gráfico 23: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 10 puntos abiertos - right to left vs left to right - K_s= 0,5 - Gráfico de columnas.

$\underline{K_s = 0{,}5}$

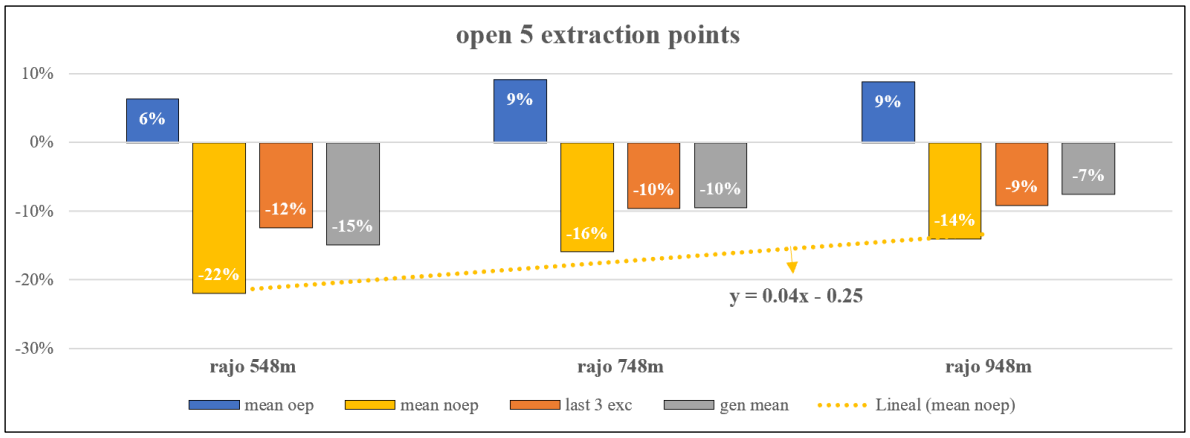


Gráfico 24: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 5 puntos abiertos - right to left vs left to right - K_s=1 - Gráfico de columnas.

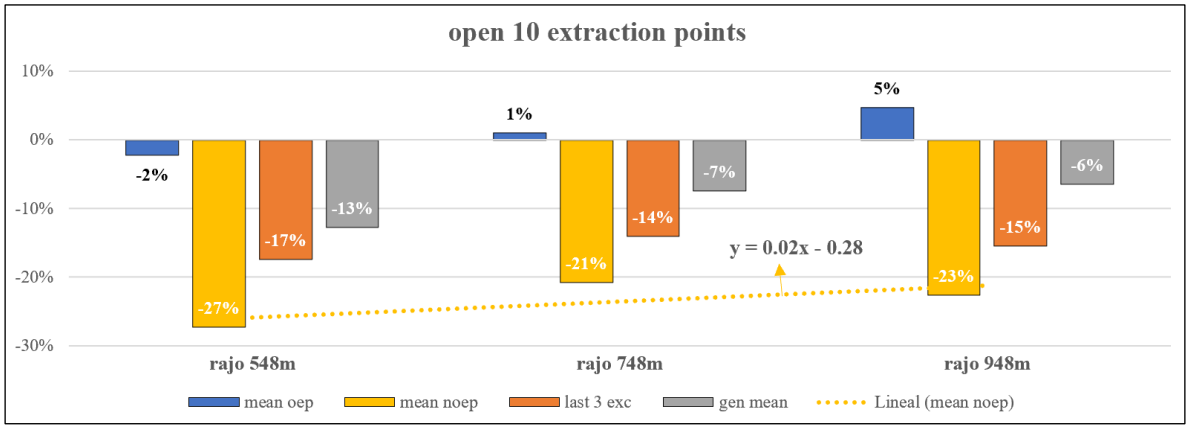


Gráfico 25: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 10 puntos abiertos - right to left vs left to right - K_s=1 - Gráfico de columnas.

$\underline{K_s = 1{,}5}$

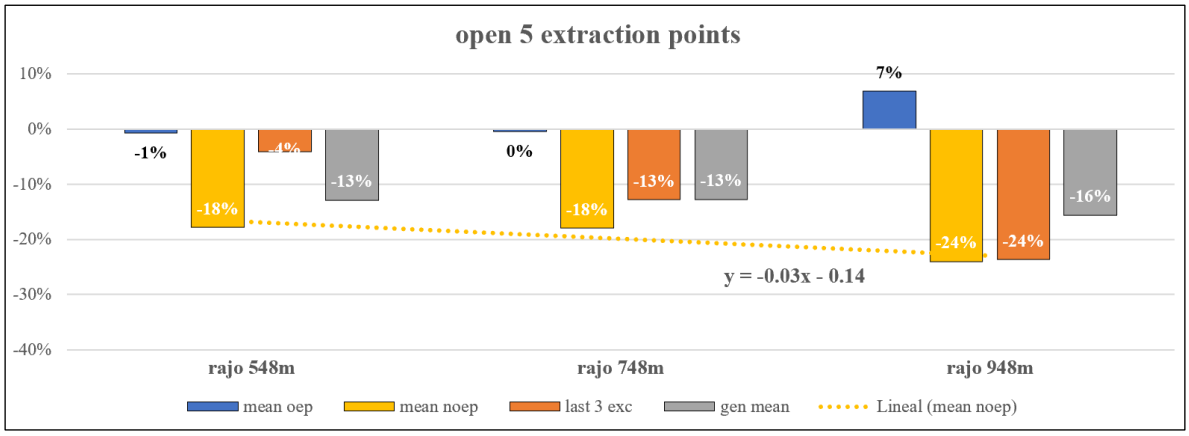


Gráfico 26: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 5 puntos abiertos - right to left vs left to right - K_s=1,5 - Gráfico de columnas.

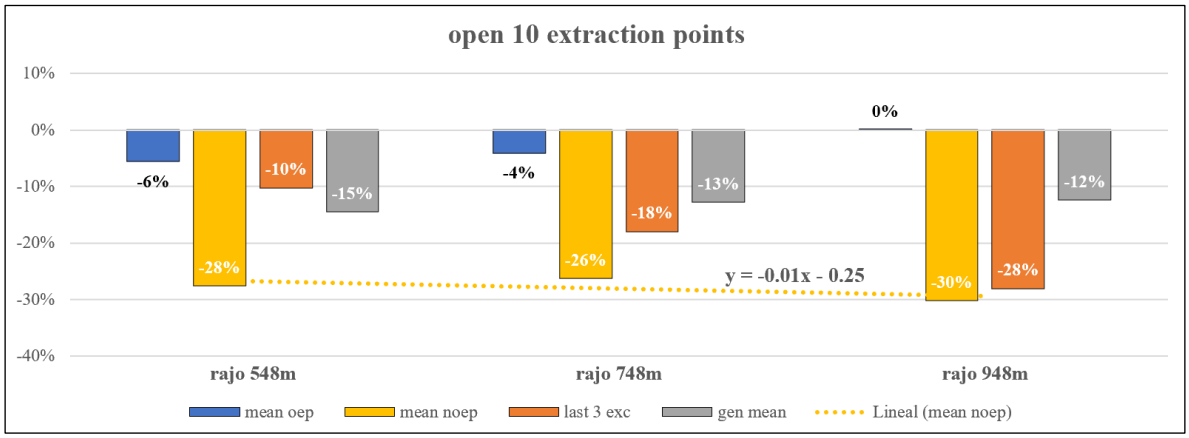


Gráfico 27: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 10 puntos abiertos - right to left vs left to right - K_s=1,5 - Gráfico de columnas.

K_s= 2

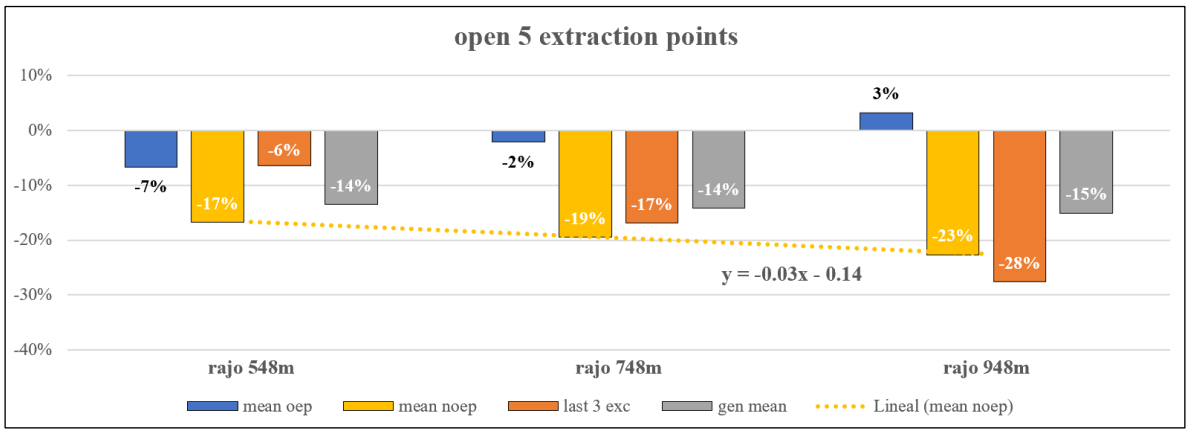


Gráfico 28: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 5 puntos abiertos - right to left vs left to right - K_s=1,5 - Gráfico de columnas.

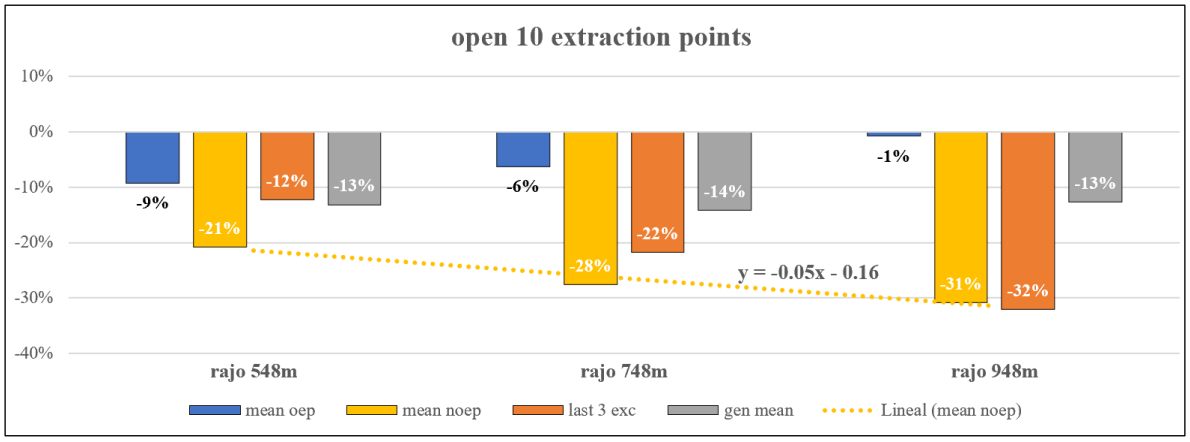


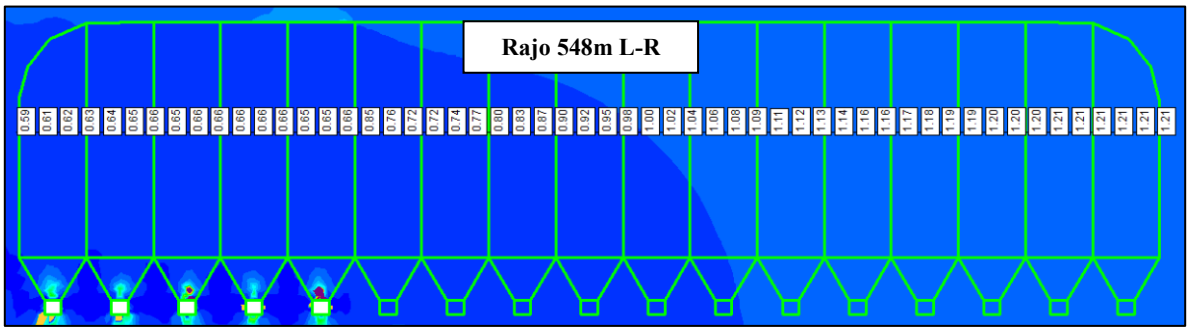
Gráfico 29: Disminución de esfuerzos según dirección de excavación con 10 puntos abiertos - right to left vs left to right - K_s=1,5 - Gráfico de columnas.

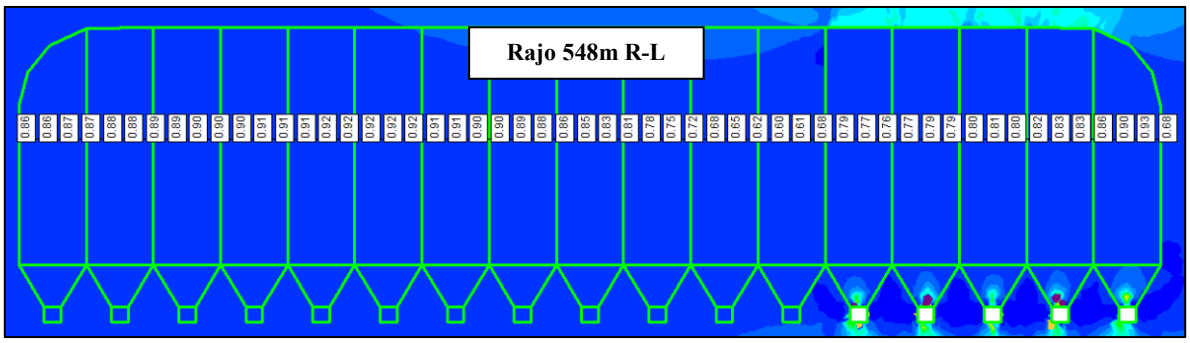
Dentro de los gráficos se incluyó la estimación lineal de la zona cerrada, con el fin de poder tener una ecuación general que permita calcular la reducción de esfuerzos aproximada para cualquier tamaño de pit.

4.4.2 Comparación de resultados en RS2 – Dirección de excavación

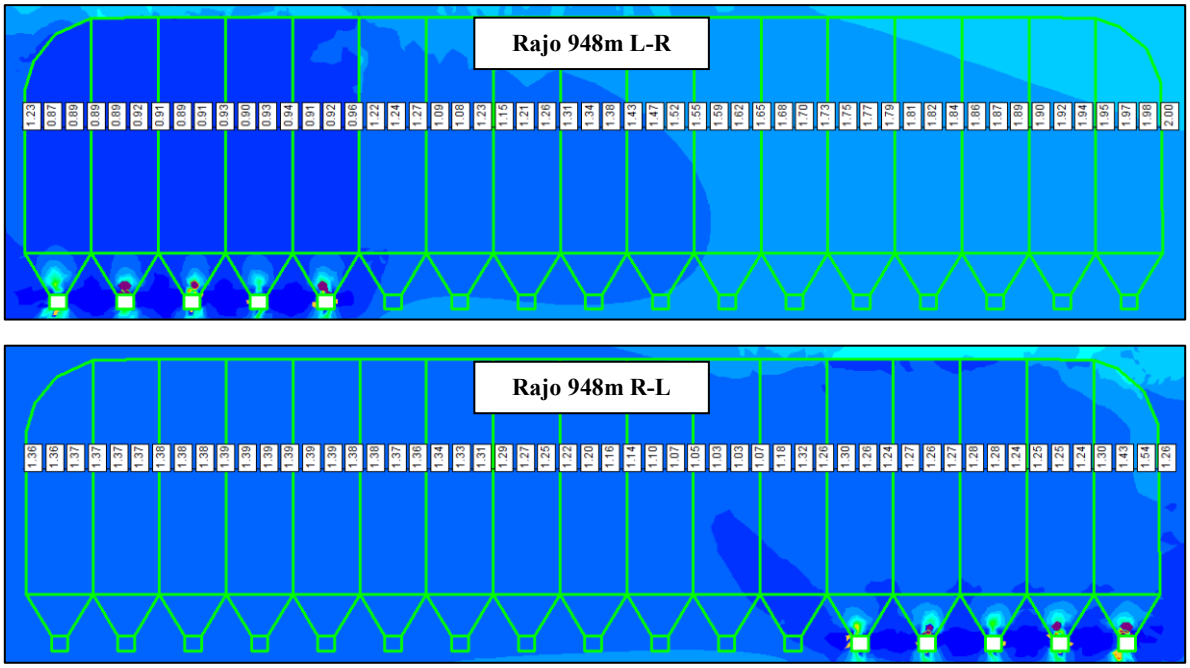
Con el fin de reafirmar los resultados, se tomarán los extremos al igual que en la verificación anterior, incluyendo las simulaciones con $K_s = 0{,}5$ y $K_s = 2$. Utilizando el mismo criterio se evaluará el rajo más pequeño y el más grande, buscando comprobar si se satisface la estimación lineal hecha en los gráficos. En este caso también se utilizará la litología 6 mencionada en la *Tabla 25*, obteniendo lo siguiente:

- Contraste después de abrir 5 puntos con $K_s = 0{,}5$:





Ilustraciones 49 y 50: Contraste después de abrir 5 puntos con rajo de 548m - $K_s = 0{,}5$ - Verificación de dirección de excavación.



Ilustraciones 51 y 52: Contraste después de abrir 5 puntos con rajo de 948m - $K_s = 0{,}5$ - Verificación de dirección de excavación.

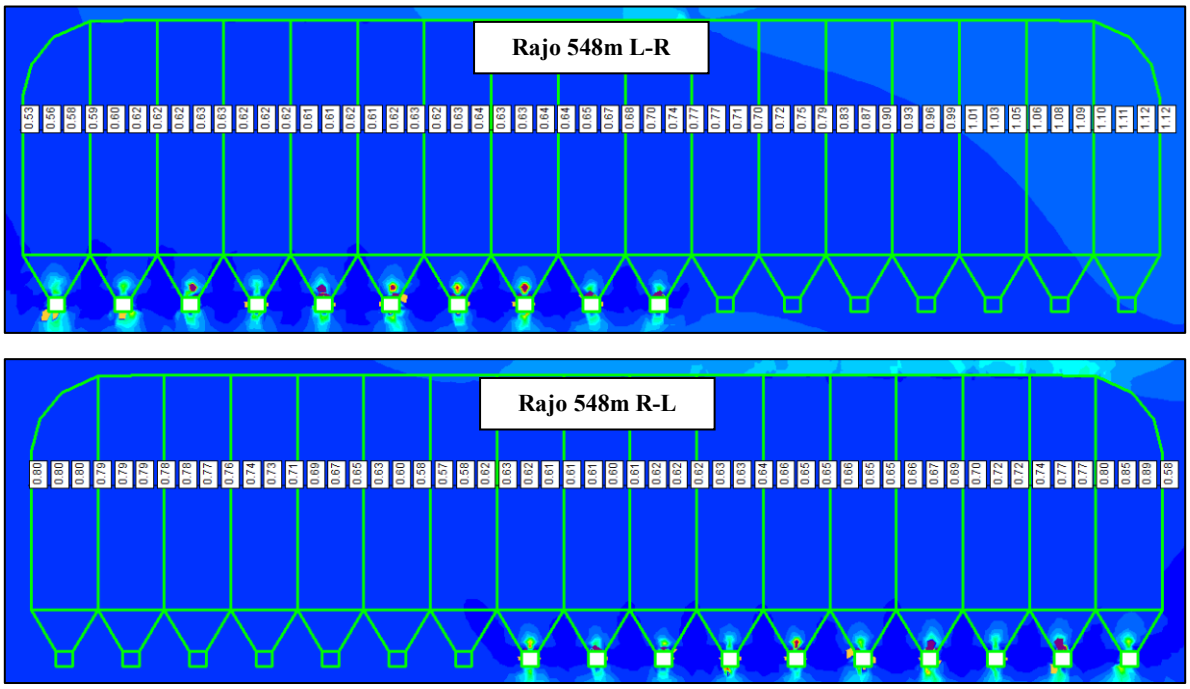
En las ilustraciones anteriores se percibe una reducción de esfuerzos en los bordes cuando cambia la dirección de excavación, pero esta es menor a la estimada en los gráficos, ya que se calculó la media de la zona cerrada, la que se ve alterada por los esfuerzos al final del caving.

Comparando los rajos, se ve una reducción de esfuerzos mayor en el pit más pequeño, teniendo en cuenta solo los 2 bloques siguientes en los bordes de la zona abierta. En el rajo pequeño se tiene una reducción de esfuerzos aproximada de un 16%, mientras que en el rajo más grande la reducción es solo de un 5%.

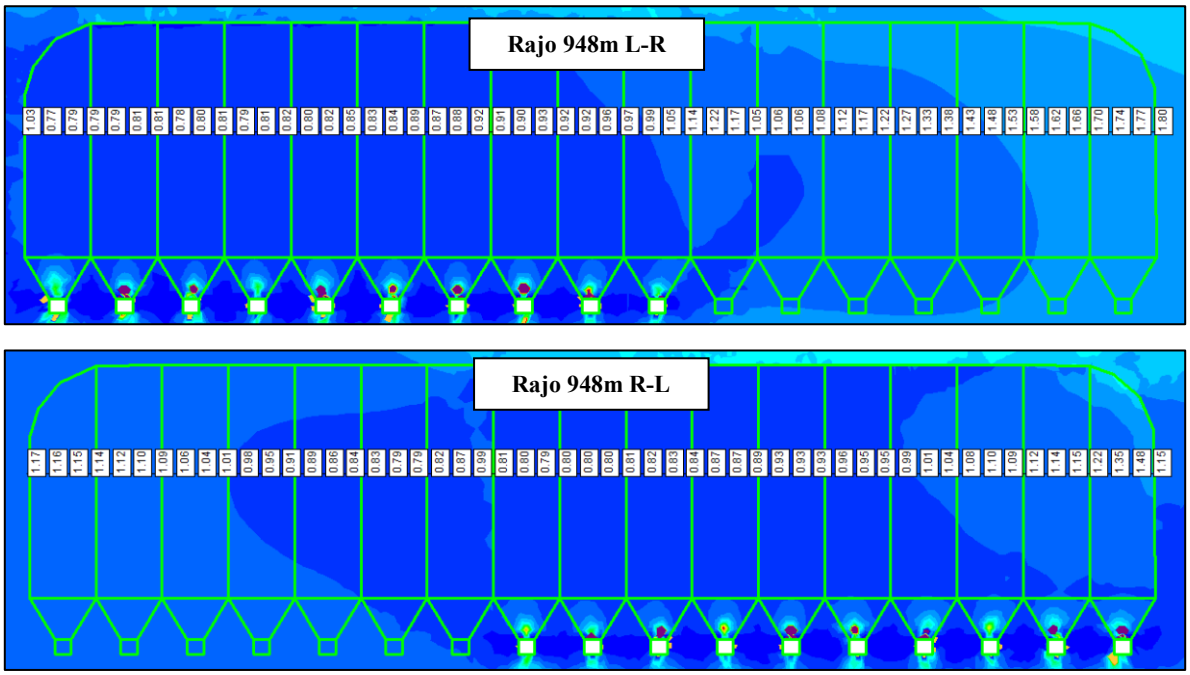
Si bien se tiene un comportamiento similar al calculado en los gráficos, se sobrestimaron los esfuerzos de la zona cerrada cuando se excavaba de izquierda a derecha, ya que el rajo

aumentaba los esfuerzos en los últimos bloques de la zona cerrada, aumentando el promedio de dicha zona.

- Contraste después de abrir 10 puntos con $K_s = 0{,}5$.



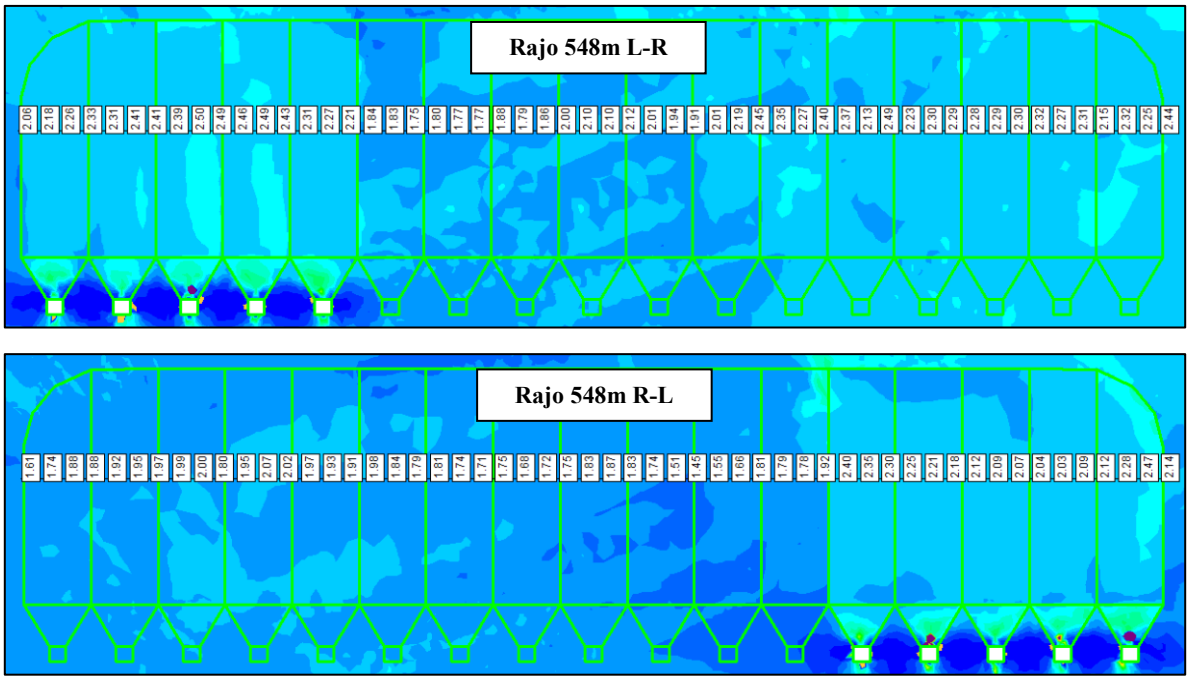
Ilustraciones 53 y 54: Contraste después de abrir 10 puntos con rajo de 548m - $K_s = 0{,}5$ - Verificación de dirección de excavación.



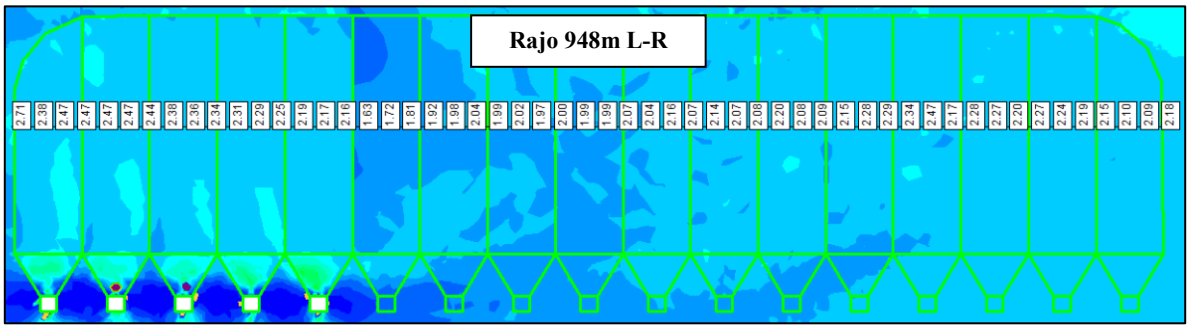
Ilustraciones 55 y 56: Contraste después de abrir 10 puntos con rajo de 948m - $K_s = 0{,}5$ - Verificación de dirección de excavación.

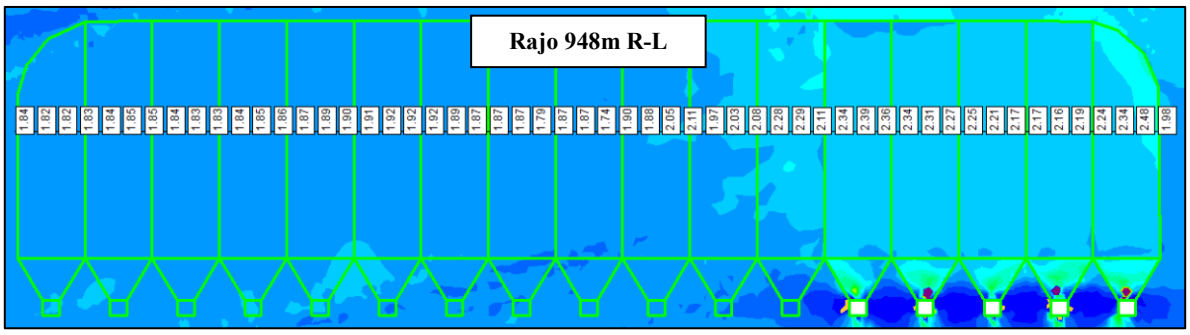
En este caso, si se refleja la gran reducción de esfuerzos estimada en los gráficos que fue sobre un 20%, aunque los esfuerzos siguen siendo crecientes hacia el final del caving cuando se excava de izquierda a derecha.

- Contraste después de abrir 5 puntos con $K_s = 2$:



Ilustraciones 57 y 58: Contraste después de abrir 5 puntos con rajo de 548m - $K_s = 2$ – Verificación de dirección de excavación.



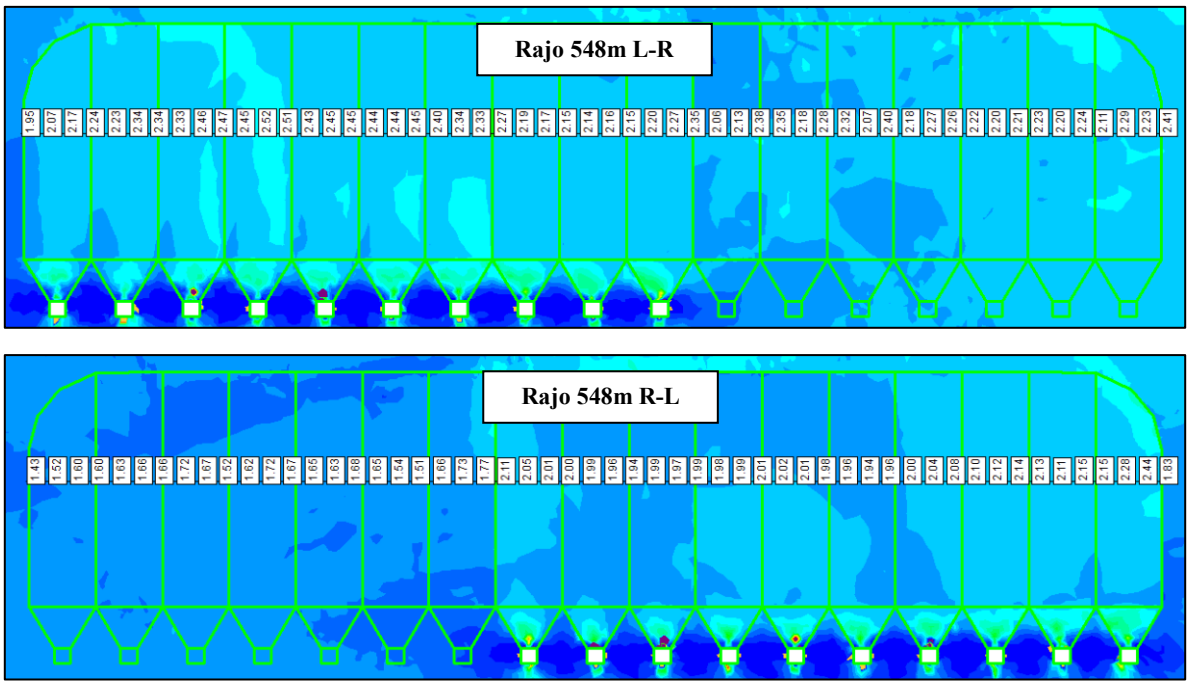


Ilustraciones 59 y 60: Contraste después de abrir 5 puntos con rajo de 948m - $K_s = 2$ – Verificación de dirección de excavación.

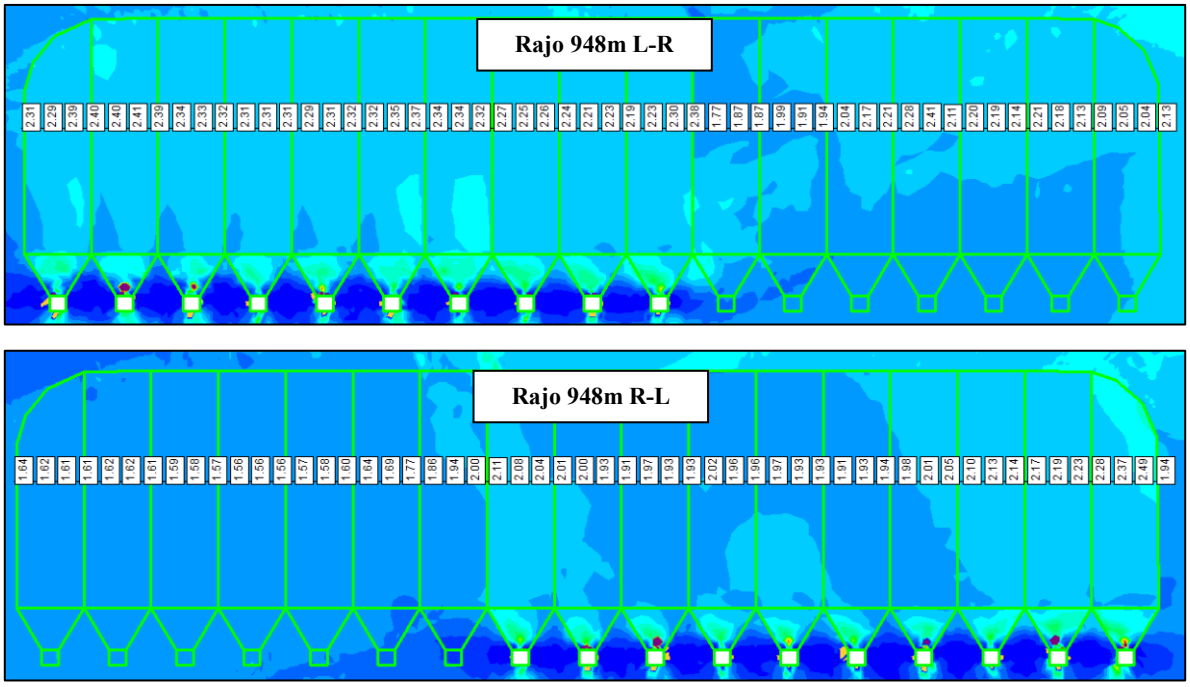
Con un ratio K_s= 2 se percibe una reducción de esfuerzos mínima con un rajo de 548 metros, la que es menor a la expuesta en el *Gráfico 28*. Por otro lado, para el rajo grande se muestra un aumento de esfuerzos al cambiar la dirección de excavación, al contrario de como se había calculado en el gráfico antes mencionado, donde se obtuvo una reducción de esfuerzos sobre el 30%.

Las grandes diferencias de los gráficos y las simulaciones radican, nuevamente, en los esfuerzos inducidos por el pit, específicamente en los bloques finales de la zona cerrada. Con los datos contrastados es posible deducir una sobreestimación de la reducción de esfuerzos, ya que la zona abierta si presenta una reducción, aunque con cifras más bajas.

- Contraste después de abrir 10 puntos con $K_s = 2$:



Ilustraciones 61 y 62: Contraste después de abrir 10 puntos con rajo de 548m - $K_s = 2$ – Verificación de dirección de excavación.



Ilustraciones 63 y 64: Contraste después de abrir 10 puntos con rajo de 948m - $K_s = 2$ - Verificación de dirección de excavación.

Finalmente, la reducción de esfuerzos después de abrir 10 puntos si concuerda con la estimada en los gráficos, confirmando la influencia de la secuencia de excavación mayormente con más de la mitad de los puntos abiertos.

4.5 Resumen de resultados

Para cumplir con el objetivo general de evaluar la influencia de un rajo en los esfuerzos inducidos, se enfocó el análisis en la pared lateral de la "zona abierta", ya que los sobreesfuerzos originados por la transición superficie-subterránea se verían reflejados en ese lugar. Siendo específicos, se evaluó el "promedio de la zona cerrada" descrito en las *Ilustraciones 14 y 15.*

4.5.1 Parámetros geotécnicos

Utilizando el coeficiente de determinación R^2, se estimó el porcentaje de influencia de cada variable según la etapa de excavación en la que se encontraba. Los resultados se muestran a continuación de forma resumida:

Tabla 34: Resumen de resultados – Porcentaje de influencia de parámetros geotécnicos por etapa.

	before caving	open 5 exc	open 10 exc
UCS	82%	87%	46%
GSI	79%	63%	27%
Poisson coef	20%	15%	7%
mi	76%	63%	36%
mod Young	49%	39%	21%

4.5.2 Dimensión del rajo y ratio Ks

En este caso, se calculó el aumento de esfuerzos que se tiene en un modelo con open pit con respecto a uno sin open pit, utilizando la *Fórmula 18*. El resumen de los incrementos obtenidos se muestra en las siguientes tablas:

Tablas 35 y 36: Resumen de resultados – Porcentaje de incremento de esfuerzos con respecto a la dimensión del rajo y ratio Ks.

	Ks = 0.5			Ks = 1		
	before caving	**open 5 exc**	**open 10 exc**	**before caving**	**open 5 exc**	**open 10 exc**
548m	70%	87%	67%	78%	83%	73%
748m	113%	117%	90%	99%	94%	78%
948m	158%	152%	121%	125%	114%	98%

	Ks = 1.5			Ks = 2		
	before caving	**open 5 exc**	**open 10 exc**	**before caving**	**open 5 exc**	**open 10 exc**
548m	56%	49%	50%	49%	33%	27%
748m	72%	52%	49%	50%	36%	34%
948m	76%	67%	60%	38%	44%	40%

4.5.3 Dirección de excavación

Con el fin de calcular la influencia de la dirección de excavación, se contrastaron los resultados obtenidos en ambas direcciones, estimando cuanto varían los esfuerzos en una secuencia de excavación de este a oeste (derecha a izquierda) con respecto a una de oeste a este (izquierda a derecha), según se indica en la *Fórmula 19*. Al excavar de derecha a izquierda se observó una reducción de esfuerzos de forma general, según se resume en las siguientes tablas:

Tablas 37 y 38: Resumen de resultados – Porcentaje de reducción de esfuerzos al cambiar la dirección de excavación.

	Ks = 0.5		Ks = 1	
	open 5 exc	**open 10 exc**	**open 5 exc**	**open 10 exc**
548m	21%	26%	22%	27%
748m	18%	25%	16%	21%
948m	16%	23%	14%	23%

	Ks = 1.5		Ks = 2	
	open 5 exc	**open 10 exc**	**open 5 exc**	**open 10 exc**
548m	18%	28%	17%	21%
748m	18%	26%	19%	28%
948m	24%	30%	23%	31%

5 ANÁLISIS, DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

5.1 Parámetros geotécnicos

En cuanto a la identificación de parámetros que influyen en la aparición de colgaduras, se estimó que el UCS, GSI y mi, son las variables de mayor influencia general, llegando a tener un 81%, 75% y 65% respectivamente, según se puede apreciar en el *Gráfico 6.* Con respecto a la densidad se obtuvo una influencia nula según lo señalado en la *Tabla 13*.

Al separar por etapas la evaluación, se percibe una influencia decreciente en los bordes a medida que se avanza en la secuencia de excavación, llegando a ser menor al 50% para todas las variables cuando se abre el caving en su totalidad (*Gráficos 7, 8 y 9*).

Con la ayuda de la verificación de resultados, se distingue un peak de esfuerzos notable en el "borde de excavación" descrito en la *Ilustración 20*, alcanzando un aumento mayor a 1000% en el bloque siguiente a la zona abierta, advirtiendo una subestimación de esfuerzos justo en el borde y una sobreestimación en el resto de la zona cerrada, según lo calculado en la *Tabla 7*. Debido a lo anterior, se infiere que la influencia en los bordes puede ser aún mayor a la calculada en los *Gráficos 7, 8 y 9*, donde incluso se podría llegar a valores mayores al 95% para las variables antes mencionadas.

Utilizando el contraste de la verificación de resultados, se confirma que la influencia de parámetros decrece a medida que avanza la secuencia, pero con porcentajes más altos en los bordes. Siguiendo la misma idea, los valores de los *Gráficos 7, 8 y 9*, se debiesen tomar como una base, entendiendo que estos serían el porcentaje mínimo de influencia que tendrían los parámetros.

Finalmente, se recomienda para futuras experimentaciones evaluar por separado los bloques contiguos a la zona abierta, ya que el comportamiento cambia a partir de la tercera batea de la zona cerrada.

5.2 Dimensión del rajo y ratio K_s

Para este análisis se estimó que el efecto de la dimensión del rajo iba disminuyendo a medida que aumentaban los esfuerzos in situ, teniendo un incremento por rajo antes del caving de 43% con un K_s= 0,5 (*Gráfico 10*) y de -6% para un K_s= 2 (*Gráfico 19*). En base a los datos anteriores se infiere una influencia significativa del tamaño del pit (≥ 10%) cuando el $K_s < 1{,}5$, mientras que para un $K_s \geq 1{,}5$ el efecto de la dimensión del rajo es mínimo.

Con respecto a la verificación de resultados, se muestran valores consistentes a los calculados, teniendo un aumento significativo en los esfuerzos para un K_s= 0,5 (*Ilustraciones 31, 32 y 33*) y una influencia nula del tamaño del pit para un K_s= 2, según se muestra en las *Ilustraciones 34, 35 y 36*. En ambos casos se distingue un incremento del K_i al final de la zona cerrada (debajo del rajo), provocando un incremento de la media de dicha zona, al igual que en el estudio de parámetros geotécnicos.

Como medida de aplicación se dispuso de una estimación lineal en la zona cerrada (G*ráficos 10 a 21)*, buscando facilitar el uso de esta experimentación en la industria, reemplazando la profundidad del rajo en el lugar de "x" con el fin saber el incremento de los esfuerzos para cualquier tamaño de pit.

Teniendo en cuenta el objetivo general, se distingue un aumento de los esfuerzos cuando hay un rajo en superficie, esto ocurre en todos los casos, tal como se puede apreciar en las *Tablas 20, 21, 22, 23 y 24*. La presencia del pit llegó a aumentar los esfuerzos en un 200% (*Gráfico 10*), confirmando la influencia de un rajo en obras subterráneas.

5.3 Dirección de excavación

Según la evaluación realizada, se percibe una influencia significativa de la dirección de excavación, obteniendo una reducción de esfuerzos sobre el 20% en algunos casos, como se muestra en las *Tablas 30, 31, 32 y 33*. Teniendo en cuenta que la base del rajo se encuentra por encima del borde derecho de la zona de caving (*Ilustración 7*), se recomendaría comenzar con la secuencia de excavación lo más cercano a la base del pit (por la derecha).

Al analizar por tamaño de rajo, se tiene un comportamiento decreciente de la reducción de esfuerzos para valores de $K_s < 1{,}5$ (*Tablas 30 y 31*), y un comportamiento creciente para un $K_s \geq 1{,}5$ (*Tablas 32 y 33*). Como el porcentaje de reducción de esfuerzos actuaba de forma lineal cuando se comparan los tamaños de pit, se estableció una ecuación generalizada para cada uno de los casos, ocupando la misma estimación lineal empleada en el punto *5.2* para facilitar su uso, según se muestra en los *Gráficos 22 a 29*.

Pasando a la verificación de resultados, se observa el mismo comportamiento de los puntos *5.1* y *5.2*, donde aumentan los esfuerzos en dirección a la base del pit, causando un incremento y sobreestimación de la zona cerrada. Este problema de sobreestimación influye en mayor medida en el rajo más grande, por ejemplo, con un K_s= 0,5 se calculó una reducción de esfuerzos de 16% en los bordes (*Tabla 30*), pero al realizar la verificación solo se alcanza una reducción de un 5% (*Ilustraciones 51 y 52*).

La mayor diferencia entre lo calculado y la verificación se produce con un ks=2 en el rajo de mayor tamaño, obteniendo una reducción de 23% en los cálculos (*Tabla 33*), pero al verificar se estimó un aumento de los esfuerzos en un 15% (*Ilustraciones 57 y 58*). Lo planteado anteriormente deja una interrogante de los cálculos realizados, siendo imposible afirmar con seguridad una reducción de esfuerzos al cambiar la dirección de excavación para valores de K_s altos.

5.4 Discusiones y conclusión general

En todos los análisis realizados se produjo un error de estimación al considerar el promedio de la zona cerrada como borde de excavación, ya que los dos bloques que se encontraban al costado de la zona abierta tenían un comportamiento distinto al resto de la zona cerrada.

Si bien este problema cambia en cierta medida algunos resultados, solo varia el porcentaje de influencia, pero aun así se confirma la influencia los parámetros geotécnicos y el efecto del tamaño del pit. Por su parte, se visualiza un cambio al modificar la dirección de excavación, pero al momento de analizar según el K_s no se puede confirmar si se reducen o aumentan los esfuerzos para un $K_s \geq 1{,}5$, esto debido a la gran diferencia que se tiene entre la zona cerrada y los dos bloques al costado de la zona abierta.

Como medida de corrección al momento de analizar, se recomienda evaluar por separado la zona cerrada y los bloques situados en los bordes de excavación, con el fin de obtener resultados más precisos y acotar la investigación a una zona en específico.

En el estudio, se distingue una gran influencia de la constante mi, alcanzando un valor de 76% al inicio del caving y de 63% en las primeras excavaciones (*Gráficos 7 y 8*). No se esperaba un resultado tan alto de esta variable, especialmente por la poca consideración que se le da en su estimación, donde muchas veces el ingeniero a cargo se guía por los valores indicados en la *Tabla A2 de Anexos*. La gran influencia de este parámetro se debe a que describe la rigidez y resistencia de la roca sin discontinuidades ni fallas (Hoek & Brown, s. f.), afectando directamente en como el macizo rocoso recibe los esfuerzos inducidos por el rajo.

Por su parte, el estudio de la densidad arrojó valores de influencia prácticamente nulos, no mostrando ninguna diferencia en las distintas etapas (*Tabla 13*). Esto se debe al poco rango de evaluación aplicado a este parámetro, ya que solamente varía en la *"lito 20"* según se muestra en la *Tabla 3*, donde no es posible separar un patrón de comportamiento solo teniendo 2 puntos.

Un dato que no fue evaluado y que sería de gran interés en la industria, son las últimas tres excavaciones, ya que en caso de colgaduras se puede plantear como solución comenzar a excavar desde el otro lado, adquiriendo una mayor importancia con respecto a las condiciones de esfuerzos al final de la zona cerrada.

En caso de continuar la investigación, quedaron algunas variables sin evaluar que pueden ser de gran importancia en la transición de muchas mineras, tratando cubrir la mayor cantidad de escenarios posibles. Factores como la distancia entre labores, ángulo de talud y posición relativa de la zona de caving, son variables que no fueron estudiadas y ayudarían a generalizar los resultados de este estudio.

Finalmente, se concluye una influencia directa del rajo en minería subterránea, la que se ve reflejada en variables como: Los parámetros geotécnicos, el tamaño del open pit, el ratio K in situ y la dirección de excavación, donde cada variable infiere en cierto porcentaje según lo resumido en el punto *4.5*.

6 ANEXOS

6.1 Anexo A: Tabulación de parámetros

Tabla A1: Valor de GSI según condiciones del macizo. Extraída de (Hoek & Brown, 2019).

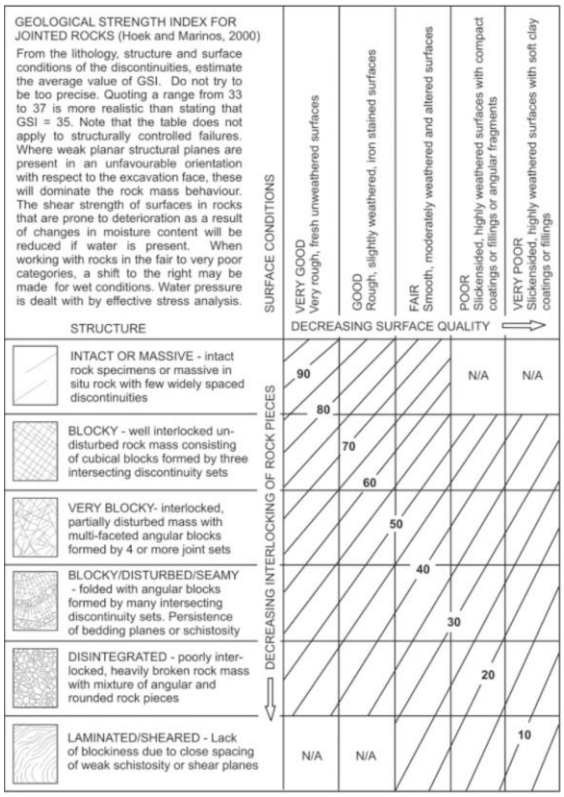


Tabla A2: Valor del mi según tipo de roca. Extraída de (Carranza-Torres & Fairhurst, 2000).

Rock type	Class	Group	Texture		
			Coarse	Medium	Fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerate (22)	Sandstone (19)	Siltstone (9)
	Non-clastic	Organic	..... Coal (8~21)		
		Carbonate	Breccia (20)	..... Limestone ..... (8~10)	
METAMORPHIC	Non-foliated		Marble (9)	Hornfels (19)	Quartzite (24)
	Slightly foliated		Migmatite (30)	Amphibolite (25~31)	Mylonites (6)
	Foliated		Gneiss (33)	Schists (4~8)	Phyllites (10)
IGNEOUS	Light		Granite (33)		Rhyolite (16)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)
	Dark		Gabbro (27)	Dolerite (19)	Basalt (17)
	Extrusive pyroclastic		Agglomerate (20)	Breccia (18)	Tuff (15)

Tabla A3: Factor D según estado del macizo. Extraída de Hoek et al., (2002).

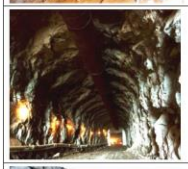
Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	$D = 0$
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	$D = 0.8$
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	$D = 0.7$ Good blasting $D = 1.0$ Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	$D = 1.0$ Production blasting $D = 0.7$ Mechanical excavation

Tabla A4: Clasificación de la roca matriz. Extraída de (Rodríguez, 2007).

Clase	Descripción (ISRM)	Resistencia a la compresión simple (MPa)		Resistencia (Bieniawski)	Valores del ensayo PLT (MPa)	
R_0	Extremadamente blanda	< 1		Muy baja	No aplicable	≈ Suelos
R_1	Muy blanda	1 – 5				Rocas blandas
R_2	Blanda	5 – 25				
R_3	Moderadamente dura	25 – 50		Baja	1- 2	
R_4	Dura	50 – 100		Media	2 – 4	Rocas duras
R_5	Muy dura	100 – 250		Alta	4 – 8	
R_6	Extremadamente dura	> 250		(>200) Muy alta	> 10	

6.2 Anexo B: Tablas de resultados

I. Sin open pit

1. ratio K_s= 0,5

a. Izquierda a derecha

Tabla B1: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 antes del caving, de izquierda derecha, sin open pit.

Without open pit. Before the block caving mine								Stress Ratio K - K in situ = 0.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidadon's coeff		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	0.65	0.68	0.66	0.67	0.70	0.68	0.67	0.69	0.68
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	0.68	0.71	0.69	0.67	0.69	0.68	0.67	0.69	0.68
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	0.65	0.68	0.67	0.68	0.70	0.69	0.67	0.69	0.68
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	0.70	0.72	0.71	0.70	0.72	0.71	0.68	0.69	0.68
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.59	0.61	0.60	0.60	0.61	0.60	0.60	0.61	0.61
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.53	0.53	0.53	0.52	0.53	0.53	0.55	0.55	0.55
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.52	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.63	0.65	0.64	0.62	0.63	0.62	0.63	0.64	0.64
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.62	0.64	0.63	0.63	0.64	0.63	0.64	0.65	0.65
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	0.78	0.81	0.80	0.77	0.79	0.78	0.75	0.77	0.76
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.52	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.52	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.52	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.52	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.52	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.52	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.52	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52

Tabla B2: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5								
								Pit 550 meters				Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidadon's coeff		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.19	0.63	0.67	0.80	1.54	0.62	0.66	0.89	1.75	0.61	0.62	0.95
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.32	0.63	0.68	0.83	1.74	0.64	0.65	0.96	1.94	0.62	0.63	1.01
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.09	0.63	0.67	0.76	1.42	0.61	0.65	0.85	1.58	0.66	0.68	0.93
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.19	0.64	0.70	0.80	1.58	0.62	0.66	0.90	1.71	0.63	0.63	0.95
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.71	0.56	0.60	0.60	0.82	0.57	0.61	0.64	0.92	0.59	0.62	0.69
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.59	0.48	0.53	0.51	0.66	0.50	0.53	0.54	0.73	0.53	0.56	0.59
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.55	0.50	0.53	0.51	0.58	0.48	0.52	0.51	0.59	0.48	0.52	0.51
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.79	0.59	0.64	0.65	0.97	0.60	0.63	0.71	1.08	0.61	0.64	0.75
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.66	0.58	0.63	0.61	0.80	0.60	0.64	0.66	0.85	0.61	0.65	0.68
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.36	0.66	0.74	0.87	1.74	0.64	0.69	0.97	1.93	0.65	0.65	1.02
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	0.52	0.50
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.50
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51	0.52	0.51
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51

Tabla B3: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 con 10 puntos abiertos, de izquierda derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening 10 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5								
								Pit 550 meters				Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidadon's coeff		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.61	0.61	0.58	1.20	1.98	0.61	0.56	1.42	2.20	0.61	0.53	1.54
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.81	0.61	0.59	1.32	2.28	0.60	0.55	1.59	2.37	0.64	0.58	1.66
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.48	0.61	0.57	1.12	1.81	0.60	0.54	1.31	2.00	0.63	0.58	1.44
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.60	0.61	0.58	1.20	2.09	0.59	0.51	1.47	2.19	0.63	0.56	1.55
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.89	0.52	0.59	0.74	1.11	0.55	0.57	0.88	1.21	0.58	0.58	0.95
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.65	0.47	0.53	0.57	0.84	0.50	0.55	0.70	0.93	0.52	0.55	0.76
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.57	0.47	0.52	0.53	0.64	0.46	0.52	0.57	0.67	0.48	0.53	0.59
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.03	0.55	0.60	0.84	1.34	0.57	0.58	1.02	1.44	0.61	0.60	1.10
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.86	0.55	0.60	0.74	1.11	0.56	0.55	0.89	1.14	0.59	0.54	0.91
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.79	0.62	0.57	1.31	2.21	0.62	0.56	1.55	2.32	0.65	0.58	1.63
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.50	0.51	0.52	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.50	0.51	0.52	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.51	0.49	0.51	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.50	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50

Tabla B4: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 después del caving, de izquierda derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening all extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.53	1.34	1.80	1.92	1.60	2.02	2.23	1.84	2.23
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.58	1.49	1.96	2.19	1.93	2.36	2.38	2.06	2.42
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.41	1.19	1.60	1.77	1.38	1.83	2.04	1.65	2.01
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.46	1.35	1.75	1.90	1.63	2.04	2.17	1.83	2.18
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.84	0.83	0.99	0.99	1.02	1.30	1.12	1.07	1.33
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.64	0.62	0.69	0.73	0.80	0.95	0.84	0.88	1.00
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.55	0.52	0.57	0.58	0.63	0.70	0.66	0.71	0.73
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.96	0.93	1.15	1.18	1.16	1.51	1.34	1.21	1.57
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.77	0.78	0.95	0.94	0.92	1.24	1.04	0.93	1.22
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.68	1.55	1.88	1.98	1.72	2.03	2.25	1.98	2.21
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.50
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.50
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50

b. Derecha a izquierda

Tabla B5: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening 5 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.18	0.65	0.66	0.80	1.56	0.66	0.67	0.92	1.63	0.66	0.67	0.95
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.31	0.66	0.68	0.85	1.73	0.67	0.68	0.98	1.88	0.68	0.67	1.03
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.07	0.64	0.66	0.77	1.39	0.65	0.68	0.87	1.49	0.66	0.67	0.91
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.17	0.66	0.69	0.81	1.51	0.68	0.70	0.92	1.67	0.67	0.67	0.96
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.68	0.56	0.59	0.60	0.85	0.58	0.61	0.66	0.91	0.61	0.62	0.70
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.58	0.49	0.52	0.51	0.66	0.51	0.53	0.55	0.69	0.53	0.56	0.58
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.54	0.50	0.52	0.51	0.58	0.48	0.52	0.51	0.58	0.48	0.52	0.51
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.78	0.59	0.63	0.65	0.97	0.60	0.62	0.71	1.04	0.63	0.64	0.75
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.67	0.60	0.61	0.62	0.79	0.60	0.63	0.66	0.84	0.62	0.64	0.69
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.34	0.70	0.76	0.89	1.72	0.71	0.75	1.00	1.83	0.71	0.73	1.04
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.51
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50

Tabla B6: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening 10 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.63	0.61	0.58	1.21	2.03	0.63	0.58	1.45	2.09	0.64	0.57	1.49
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.86	0.62	0.60	1.35	2.26	0.63	0.58	1.59	2.36	0.65	0.58	1.66
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.50	0.59	0.55	1.12	1.76	0.60	0.55	1.28	1.86	0.64	0.59	1.36
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.62	0.61	0.58	1.21	2.03	0.64	0.60	1.46	2.10	0.64	0.56	1.50
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.87	0.55	0.59	0.74	1.15	0.58	0.60	0.92	1.18	0.59	0.58	0.93
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.64	0.48	0.53	0.57	0.82	0.51	0.55	0.69	0.86	0.55	0.57	0.73
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.55	0.47	0.51	0.52	0.62	0.45	0.51	0.55	0.62	0.46	0.52	0.56
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.03	0.57	0.62	0.84	1.34	0.59	0.60	1.03	1.38	0.59	0.57	1.05
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.87	0.56	0.60	0.74	1.11	0.59	0.60	0.90	1.10	0.62	0.60	0.90
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.80	0.63	0.59	1.32	2.14	0.65	0.59	1.52	2.22	0.66	0.59	1.58
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.51	0.49	0.51	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.51	0.49	0.51	0.50	0.51	0.49	0.51	0.50
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50

Tabla B7: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening all extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.47	1.37	1.80	1.87	1.74	2.18	2.08	1.79	2.24
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.63	1.50	2.05	2.05	1.92	2.42	2.33	2.18	2.59
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.34	1.19	1.58	1.65	1.36	1.85	1.86	1.53	1.97
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.47	1.35	1.79	1.84	1.60	2.08	2.09	1.93	2.30
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.73	0.88	0.99	0.95	1.03	1.35	1.04	1.14	1.38
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.58	0.66	0.69	0.73	0.79	0.97	0.77	0.90	0.99
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.52	0.52	0.55	0.59	0.61	0.70	0.62	0.67	0.69
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.86	0.97	1.18	1.14	1.13	1.54	1.27	1.25	1.59
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.71	0.82	0.97	0.88	0.87	1.23	0.97	0.96	1.25
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.65	1.54	1.95	1.93	1.70	2.13	2.19	1.91	2.25
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.52	0.53	0.52	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.51	0.52	0.51	0.51
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

2. ratio K_s= 1

a. Izquierda a derecha

Tabla B8: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. Before the block caving mine								Stress Ratio K - K in situ = 1								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.05	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.05	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	1.03
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	1.03
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	1.03
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	1.03
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	1.03
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	1.03
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	1.03
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.05	1.06	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.04	1.04

Tabla B9: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.97	0.92	0.99	1.23	2.16	0.87	0.93	1.25	2.36	0.86	0.90	1.30
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.11	0.92	0.99	1.27	2.30	0.89	0.94	1.31	2.46	0.87	0.91	1.34
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.88	0.92	0.99	1.20	2.15	0.86	0.93	1.24	2.28	0.84	0.90	1.26
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.97	0.91	0.99	1.22	2.25	0.87	0.93	1.28	2.37	0.85	0.89	1.29
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.43	0.95	1.03	1.09	1.59	0.93	1.01	1.12	1.69	0.91	1.00	1.14
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.25	0.98	1.04	1.06	1.37	0.95	1.02	1.07	1.45	0.94	1.01	1.09
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.12	1.00	1.04	1.04	1.24	0.97	1.03	1.05	1.29	0.96	1.02	1.06
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.55	0.94	1.02	1.12	1.75	0.92	1.00	1.16	1.87	0.91	0.98	1.19
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.40	0.94	1.02	1.07	1.59	0.91	1.00	1.11	1.73	0.89	0.98	1.14
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.10	0.90	0.97	1.25	2.39	0.85	0.91	1.30	2.45	0.83	0.86	1.30
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.03	1.05	1.02	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.01	1.03	1.05	1.02	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.01	1.03	1.05	1.02	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.03	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.01	1.03	1.01
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.01	1.03	1.01
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.01	1.03	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.01	1.03	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.03	1.05	1.02	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01

Tabla B10: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 con 10 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit

Without open pit. After opening 10 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.49	0.78	0.80	1.79	2.66	0.75	0.72	1.88	2.78	0.75	0.68	1.94
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.54	0.79	0.81	1.82	2.77	0.74	0.73	1.93	2.80	0.75	0.71	1.96
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.43	0.77	0.79	1.74	2.68	0.73	0.70	1.88	2.67	0.73	0.67	1.87
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.50	0.77	0.80	1.79	2.74	0.74	0.71	1.92	2.82	0.74	0.68	1.96
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.78	0.82	0.93	1.38	2.13	0.79	0.89	1.58	2.24	0.78	0.88	1.64
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.42	0.87	0.97	1.20	1.72	0.82	0.93	1.35	1.82	0.80	0.91	1.40
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.18	0.95	1.00	1.08	1.43	0.86	0.96	1.19	1.50	0.85	0.95	1.23
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.00	0.79	0.91	1.51	2.33	0.78	0.85	1.69	2.39	0.78	0.82	1.72
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.86	0.79	0.91	1.42	2.27	0.77	0.87	1.65	2.31	0.78	0.82	1.68
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.59	0.76	0.76	1.84	2.80	0.74	0.68	1.95	2.87	0.73	0.66	1.99
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.01	1.01	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.03	1.01	1.01	1.00	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.00	1.01	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.01	1.01	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01

Tabla B11: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening all extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1									
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.13	1.92	2.48	2.17	2.15	2.70	2.52	2.32	2.72
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.30	1.98	2.64	2.24	2.25	2.72	2.63	2.34	2.71
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.09	1.82	2.52	2.28	2.15	2.73	2.45	2.15	2.65
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.18	1.94	2.58	2.33	2.21	2.76	2.53	2.38	2.77
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.53	1.36	1.88	1.73	1.64	2.37	1.92	1.73	2.28
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.34	1.20	1.51	1.44	1.38	1.90	1.56	1.43	1.88
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.18	1.06	1.21	1.26	1.21	1.54	1.36	1.26	1.52
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.70	1.47	2.14	1.94	1.80	2.54	2.22	1.91	2.52
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.60	1.39	2.02	1.82	1.64	2.45	2.07	1.75	2.45
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.23	1.95	2.53	2.38	2.23	2.67	2.54	2.38	2.66
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.00	1.01	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

b. Derecha a izquierda

Tabla B12: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening 5 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.86	0.92	0.99	1.19	2.26	0.87	0.93	1.28	2.27	0.86	0.90	1.28
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.97	0.93	0.99	1.23	2.37	0.88	0.94	1.32	2.38	0.88	0.92	1.32
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.80	0.91	0.98	1.17	2.05	0.87	0.93	1.22	2.14	0.85	0.90	1.23
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.88	0.91	0.98	1.20	2.18	0.87	0.93	1.25	2.26	0.86	0.90	1.27
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.36	0.96	1.02	1.08	1.55	0.93	1.00	1.11	1.61	0.92	1.00	1.12
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.21	0.98	1.03	1.05	1.38	0.95	1.01	1.08	1.39	0.94	1.01	1.07
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.10	1.00	1.03	1.03	1.25	0.97	1.02	1.05	1.25	0.96	1.01	1.05
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.45	0.95	1.02	1.09	1.71	0.92	0.99	1.15	1.75	0.91	0.98	1.16
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.35	0.94	1.02	1.06	1.60	0.91	0.99	1.11	1.61	0.92	0.99	1.12
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.99	0.91	0.97	1.23	2.29	0.85	0.90	1.27	2.39	0.84	0.87	1.30
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.02	1.04	1.02	1.01	1.02	1.03	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01

Tabla B13: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening 10 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidadon's coeff		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.42	0.76	0.80	1.74	2.67	0.75	0.72	1.88	2.69	0.76	0.69	1.89
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.49	0.78	0.81	1.78	2.82	0.73	0.72	1.96	2.76	0.77	0.72	1.94
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.38	0.76	0.79	1.72	2.63	0.74	0.72	1.85	2.57	0.75	0.70	1.82
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.42	0.76	0.79	1.74	2.67	0.76	0.72	1.88	2.74	0.74	0.69	1.92
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.70	0.82	0.92	1.34	2.06	0.78	0.88	1.54	2.05	0.81	0.88	1.54
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.39	0.87	0.96	1.17	1.74	0.81	0.92	1.36	1.69	0.81	0.91	1.33
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.16	0.95	0.99	1.07	1.43	0.86	0.95	1.20	1.40	0.86	0.94	1.18
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.89	0.80	0.90	1.44	2.24	0.77	0.85	1.63	2.23	0.80	0.83	1.64
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.85	0.79	0.90	1.41	2.26	0.77	0.85	1.64	2.17	0.77	0.84	1.59
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.52	0.76	0.76	1.80	2.70	0.73	0.68	1.89	2.78	0.76	0.68	1.95
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.00
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.00	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.00
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.00
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.00
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.00	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00

Tabla B14: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening all extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidadon's coeff		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean		First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean		First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.00	1.96	2.51		2.34	2.19	2.76		2.33	2.40	2.70	
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.07	2.06	2.61		2.45	2.20	2.73		2.41	2.49	2.82	
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.93	1.92	2.52		2.13	2.11	2.69		2.30	2.33	2.70	
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.98	1.98	2.55		2.19	2.23	2.75		2.28	2.47	2.75	
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.38	1.41	1.86		1.64	1.61	2.35		1.73	1.78	2.30	
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.24	1.24	1.49		1.41	1.36	1.93		1.44	1.48	1.88	
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.11	1.09	1.20		1.25	1.19	1.54		1.29	1.29	1.51	
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.49	1.54	2.12		1.84	1.76	2.53		1.95	1.92	2.48	
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.45	1.48	2.03		1.73	1.61	2.50		1.82	1.79	2.43	
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.05	2.08	2.56		2.18	2.25	2.65		2.36	2.51	2.70	
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.00		1.01	1.00	1.01		1.01	1.01	1.01	
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.01	1.00	1.00		1.01	1.00	1.01		1.01	1.01	1.01	
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.01	1.01	1.01		1.01	1.01	1.01		1.01	1.01	1.01	
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.00		1.01	1.00	1.01		1.01	1.01	1.01	
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.01		1.01	1.01	1.01		1.01	1.01	1.01	
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.01		1.01	1.01	1.01		1.01	1.01	1.01	
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.01	1.01	1.01		1.01	1.01	1.01		1.01	1.01	1.01	
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.01	1.00	1.00		1.01	1.00	1.01		1.01	1.00	1.00	
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.01	1.01	1.01		1.01	1.01	1.01		1.01	1.01	1.01	
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.01	1.01	1.01		1.01	1.00	1.01		1.01	1.01	1.01	

3. ratio K_s= 1,5

a. Izquierda a derecha

Tabla B15: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. Before the block caving mine								Stress Ratio K - K in situ = 1.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.52	1.54	1.53	1.48	1.49	1.48	1.47	1.49	1.48
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.50	1.52	1.51	1.47	1.49	1.48	1.46	1.47	1.46
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.49	1.51	1.50	1.49	1.50	1.49	1.49	1.50	1.50
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.52	1.54	1.53	1.49	1.51	1.50	1.47	1.49	1.48
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.47	1.50	1.48	1.47	1.50	1.48	1.47	1.49	1.48
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.57	1.58	1.58	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55

Tabla B16: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.72	1.31	1.34	1.73	2.93	1.22	1.23	1.72	3.02	1.14	1.19	1.69
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.81	1.31	1.33	1.75	2.97	1.23	1.24	1.74	3.04	1.17	1.18	1.72
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.67	1.28	1.31	1.69	2.83	1.23	1.25	1.70	2.99	1.15	1.20	1.69
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.77	1.31	1.33	1.74	2.93	1.22	1.25	1.73	3.02	1.14	1.20	1.69
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.14	1.45	1.51	1.65	2.37	1.41	1.46	1.69	2.46	1.37	1.42	1.69
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.91	1.47	1.54	1.60	2.09	1.44	1.50	1.63	2.20	1.42	1.48	1.65
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.70	1.51	1.55	1.57	1.83	1.47	1.53	1.58	1.94	1.45	1.51	1.59
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.27	1.43	1.48	1.67	2.56	1.37	1.42	1.72	2.64	1.34	1.37	1.72
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.12	1.41	1.48	1.62	2.36	1.35	1.41	1.65	2.51	1.31	1.36	1.66
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.89	1.24	1.26	1.72	3.01	1.18	1.23	1.72	3.03	1.10	1.14	1.67
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.54	1.57	1.53	1.51	1.53	1.55	1.53	1.51	1.52	1.54	1.52
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.51	1.54	1.57	1.53	1.51	1.53	1.55	1.53	1.51	1.52	1.54	1.52
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.51	1.54	1.57	1.53	1.51	1.53	1.55	1.53	1.52	1.52	1.54	1.52
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.54	1.56	1.53	1.51	1.53	1.55	1.52	1.51	1.52	1.54	1.52
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.51	1.54	1.56	1.53	1.51	1.53	1.55	1.52	1.52	1.52	1.54	1.52
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.51	1.54	1.56	1.53	1.52	1.53	1.55	1.52	1.52	1.52	1.53	1.52
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.51	1.54	1.56	1.53	1.52	1.53	1.55	1.52	1.52	1.51	1.53	1.52
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.51	1.54	1.56	1.53	1.51	1.53	1.55	1.52	1.51	1.52	1.54	1.52
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.52	1.54	1.56	1.53	1.51	1.53	1.55	1.53	1.52	1.52	1.54	1.52
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.54	1.57	1.53	1.51	1.53	1.55	1.52	1.51	1.52	1.54	1.52

Tabla B17: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening 10 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	3.24	1.10	1.14	2.36	3.25	1.03	1.04	2.33	3.24	0.94	0.95	2.30
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	3.19	1.12	1.14	2.34	3.22	1.03	1.05	2.32	3.14	0.98	0.99	2.25
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	3.21	1.08	1.11	2.33	3.26	1.01	1.03	2.33	3.23	0.95	0.96	2.29
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	3.26	1.09	1.10	2.37	3.22	1.02	1.03	2.31	3.24	0.93	0.94	2.29
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.70	1.24	1.34	2.10	3.00	1.19	1.26	2.25	3.03	1.19	1.21	2.27
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.21	1.32	1.43	1.84	2.60	1.26	1.35	2.05	2.81	1.21	1.30	2.15
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.83	1.41	1.48	1.66	2.14	1.32	1.42	1.80	2.26	1.30	1.40	1.87
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.93	1.22	1.29	2.23	3.11	1.16	1.19	2.31	3.13	1.16	1.19	2.32
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.73	1.22	1.29	2.11	3.04	1.13	1.17	2.25	3.11	1.13	1.16	2.29
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	3.17	1.08	1.09	2.31	3.30	0.98	0.98	2.34	3.16	0.92	0.91	2.24
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.53	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.51	1.53	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.51	1.53	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.52	1.54	1.52	1.51	1.52	1.52	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.51	1.52	1.54	1.52	1.51	1.51	1.52	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.51	1.52	1.53	1.52	1.52	1.51	1.52	1.51	1.52	1.50	1.51	1.51
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.51	1.52	1.53	1.52	1.52	1.51	1.51	1.51	1.52	1.50	1.51	1.51
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.51	1.52	1.54	1.51	1.51	1.52	1.53	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.51	1.52	1.54	1.52	1.52	1.51	1.52	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.52	1.54	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51

Tabla B18: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening all extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.64	2.56	3.22	2.79	2.74	3.24	2.68	2.68	3.03
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.69	2.61	3.16	2.71	2.67	3.09	2.59	2.75	2.96
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.83	2.56	3.31	2.82	2.68	3.29	2.97	2.71	3.17
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.76	2.64	3.29	2.73	2.71	3.21	2.66	2.85	3.14
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.50	2.23	2.98	2.53	2.30	3.04	2.78	2.53	3.09
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.08	1.83	2.35	2.34	2.19	2.93	2.58	2.32	2.99
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.84	1.63	1.88	1.94	1.83	2.32	2.11	1.91	2.36
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.62	2.37	3.15	2.64	2.48	3.28	2.72	2.66	3.21
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.55	2.21	3.01	2.54	2.45	3.29	2.86	2.66	3.34
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.82	2.62	3.22	2.77	2.66	3.13	2.57	2.76	2.93
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51	1.51
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51	1.51
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.52	1.52	1.52	1.52
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.53	1.53	1.52	1.52
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.52	1.52	1.51	1.51
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51

b. Derecha a izquierda

Tabla B19: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening 5 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.64	1.31	1.35	1.70	2.78	1.23	1.26	1.68	2.90	1.19	1.23	1.69
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.69	1.31	1.33	1.72	2.96	1.21	1.22	1.73	2.96	1.19	1.23	1.71
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.54	1.28	1.33	1.65	2.71	1.23	1.26	1.67	2.80	1.19	1.26	1.66
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.63	1.31	1.34	1.70	2.79	1.23	1.27	1.69	2.90	1.17	1.22	1.68
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.07	1.45	1.51	1.63	2.31	1.40	1.46	1.67	2.33	1.39	1.43	1.67
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.86	1.48	1.53	1.59	2.05	1.44	1.50	1.62	2.12	1.42	1.48	1.63
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.68	1.51	1.54	1.56	1.83	1.47	1.52	1.58	1.86	1.46	1.51	1.58
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.21	1.43	1.48	1.66	2.41	1.39	1.42	1.69	2.49	1.36	1.39	1.69
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.07	1.42	1.49	1.61	2.29	1.37	1.41	1.64	2.36	1.33	1.38	1.63
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.73	1.25	1.29	1.69	2.91	1.19	1.24	1.70	2.87	1.20	1.25	1.69
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.54	1.56	1.53	1.51	1.53	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.52
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.51	1.54	1.55	1.53	1.51	1.53	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.52
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.51	1.54	1.56	1.53	1.51	1.53	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.52
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.53	1.55	1.53	1.51	1.53	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.52
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.51	1.53	1.55	1.53	1.51	1.53	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.52
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.51	1.53	1.55	1.53	1.52	1.52	1.54	1.52	1.52	1.52	1.53	1.52
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.51	1.53	1.55	1.53	1.52	1.52	1.54	1.52	1.52	1.51	1.53	1.52
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.51	1.53	1.55	1.53	1.51	1.53	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.52
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.51	1.53	1.55	1.53	1.52	1.53	1.54	1.52	1.52	1.52	1.53	1.52
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.54	1.55	1.53	1.51	1.53	1.54	1.52	1.51	1.52	1.53	1.52

Tabla B20: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening 10 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	3.11	1.14	1.16	2.30	3.15	1.04	1.06	2.28	3.22	1.00	1.02	2.31
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	3.15	1.11	1.10	2.31	3.09	1.02	1.05	2.24	3.16	1.02	1.03	2.28
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	3.14	1.08	1.08	2.29	3.14	1.04	1.06	2.27	3.19	1.02	1.03	2.30
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	3.14	1.09	1.11	2.29	3.18	1.03	1.04	2.30	3.21	0.98	0.98	2.29
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.60	1.25	1.34	2.05	2.89	1.21	1.27	2.20	2.88	1.21	1.24	2.19
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.16	1.32	1.41	1.81	2.59	1.25	1.35	2.04	2.61	1.25	1.32	2.05
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.79	1.41	1.47	1.63	2.11	1.33	1.42	1.79	2.10	1.32	1.41	1.78
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.79	1.23	1.28	2.15	2.94	1.19	1.23	2.22	3.03	1.18	1.20	2.26
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.68	1.20	1.27	2.07	3.03	1.14	1.19	2.25	2.96	1.15	1.17	2.21
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	3.09	1.11	1.11	2.27	3.18	1.02	1.03	2.29	3.16	1.03	1.03	2.29
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.52	1.53	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.51	1.52	1.53	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.51	1.52	1.53	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.52	1.52	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.51	1.52	1.52	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.50	1.50	1.51
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.52	1.51	1.52	1.50	1.50	1.51	1.51	1.50	1.50	1.51
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.51	1.51	1.52	1.51	1.52	1.50	1.50	1.51	1.52	1.50	1.50	1.51
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.51	1.52	1.52	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.51	1.52	1.52	1.51	1.52	1.51	1.51	1.51	1.51	1.50	1.51	1.51
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.52	1.52	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.50	1.51	1.51

Tabla B21: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening all extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.52	2.65	3.27	2.65	2.64	3.20	2.76	2.88	3.18
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.49	2.58	3.11	2.65	2.73	3.09	2.61	2.67	2.93
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.52	2.71	3.39	2.65	2.66	3.28	2.87	2.87	3.25
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.49	2.64	3.27	2.66	2.72	3.21	2.70	2.93	3.21
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.26	2.32	2.95	2.41	2.61	3.31	2.58	2.56	3.13
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.92	1.93	2.36	2.25	2.14	2.89	2.31	2.46	2.90
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.71	1.67	1.85	1.92	1.80	2.33	1.97	1.97	2.34
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.34	2.52	3.11	2.53	2.46	3.24	2.71	2.72	3.28
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.22	2.23	2.94	2.38	2.40	3.25	2.55	2.65	3.22
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.60	2.74	3.25	2.65	2.80	3.16	2.82	2.98	3.14
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51	1.52	1.52	1.52	1.52
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51	1.52	1.52	1.52	1.52
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.52	1.51	1.52	1.52	1.51	1.51
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51

4. ratio K_s= 2

a. Izquierda a derecha

Tabla B22: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. Before the block caving mine								Stress Ratio K - K in situ = 2								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.45	1.38	1.42	1.38	1.32	1.35	1.30	1.27	1.29
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.51	1.43	1.46	1.38	1.33	1.35	1.29	1.26	1.27
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.45	1.38	1.41	1.38	1.33	1.35	1.29	1.26	1.28
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.43	1.38	1.41	1.39	1.37	1.38	1.36	1.34	1.35
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.12	2.01	2.07	1.93	1.98	1.95	1.93	1.90	1.90
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.02	2.08	2.05	2.04	1.97	2.01	1.85	1.85	1.85
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.87	1.90	1.89	1.85	1.87	1.86	1.97	2.03	2.00
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.88	1.86	1.85	1.81	1.80	1.82	1.65	1.65	1.65
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.94	1.93	1.98	1.70	1.76	1.73	1.77	1.79	1.78
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.39	1.27	1.32	1.35	1.19	1.29	1.31	1.33	1.31
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.10	2.11	2.11	2.08	2.09	2.08	2.06	2.07	2.07
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	2.10	2.11	2.11	2.08	2.09	2.09	2.06	2.07	2.07
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	2.10	2.11	2.11	2.08	2.09	2.08	2.06	2.07	2.07
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	2.09	2.11	2.10	2.08	2.09	2.08	2.06	2.07	2.07
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	2.09	2.11	2.10	2.08	2.09	2.08	2.06	2.07	2.07
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	2.09	2.11	2.10	2.08	2.09	2.08	2.06	2.07	2.07
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	2.09	2.11	2.10	2.08	2.09	2.08	2.06	2.07	2.07
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	2.09	2.11	2.10	2.08	2.09	2.08	2.06	2.07	2.07
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	2.09	2.11	2.10	2.08	2.09	2.08	2.06	2.07	2.07
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.10	2.11	2.11	2.08	2.09	2.08	2.06	2.07	2.07

Tabla B23: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	3.21	1.29	1.31	1.86	3.26	1.20	1.22	1.81	3.27	1.08	1.11	1.72
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	3.16	1.40	1.39	1.92	3.25	1.19	1.22	1.79	3.20	1.10	1.14	1.72
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	3.21	1.33	1.33	1.88	3.30	1.18	1.20	1.80	3.28	1.06	1.10	1.71
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	3.21	1.28	1.30	1.85	3.27	1.17	1.22	1.79	3.19	1.11	1.12	1.72
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.71	1.87	1.84	2.12	2.91	1.81	1.82	2.14	2.94	1.69	1.70	2.06
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.53	1.99	2.01	2.15	2.68	1.91	1.90	2.14	2.78	1.75	1.73	2.05
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.24	1.83	1.86	1.95	2.46	1.77	1.80	1.97	2.57	1.92	1.94	2.11
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.84	1.79	1.78	2.10	3.08	1.71	1.72	2.11	3.11	1.54	1.57	2.00
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.73	1.69	1.72	2.00	3.05	1.62	1.61	2.04	3.19	1.57	1.57	2.04
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	3.23	1.18	1.18	1.78	3.26	1.07	1.07	1.71	3.14	1.06	1.09	1.67
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.02	2.06	2.08	2.05	2.01	2.04	2.06	2.04	2.02	2.03	2.05	2.03
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	2.01	2.06	2.08	2.04	2.01	2.04	2.06	2.03	2.02	2.03	2.05	2.03
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	2.02	2.06	2.08	2.05	2.02	2.05	2.07	2.04	2.02	2.03	2.05	2.03
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.05	2.08	2.04	2.01	2.04	2.06	2.03	2.02	2.03	2.05	2.02
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	2.02	2.05	2.08	2.04	2.02	2.04	2.06	2.03	2.02	2.02	2.04	2.02
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	2.02	2.05	2.08	2.04	2.02	2.03	2.06	2.03	2.03	2.02	2.04	2.02
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	2.02	2.05	2.08	2.04	2.03	2.03	2.05	2.03	2.04	2.02	2.04	2.02
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	2.01	2.05	2.08	2.04	2.01	2.04	2.06	2.03	2.01	2.03	2.05	2.02
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	2.02	2.05	2.08	2.04	2.02	2.04	2.06	2.04	2.02	2.03	2.05	2.03
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.02	2.05	2.08	2.04	2.02	2.04	2.06	2.03	2.02	2.03	2.05	2.02

Tabla B24: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening 10 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	3.21	1.17	1.20	2.37	3.34	1.03	1.04	2.39	3.31	0.95	0.94	2.34
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	3.09	1.20	1.26	2.31	3.10	1.05	1.06	2.26	3.25	0.94	0.93	2.30
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	3.30	1.14	1.17	2.41	3.30	1.01	0.99	2.36	3.31	0.90	0.86	2.32
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	3.36	1.09	1.13	2.42	3.29	1.03	1.02	2.36	3.30	0.95	0.94	2.33
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	3.22	1.74	1.77	2.61	3.37	1.47	1.52	2.58	3.44	1.47	1.52	2.63
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.95	1.83	1.87	2.49	3.13	1.67	1.74	2.53	3.39	1.64	1.62	2.67
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.43	1.72	1.78	2.14	2.86	1.62	1.69	2.35	3.04	1.77	1.79	2.52
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	3.43	1.60	1.66	2.68	3.28	1.44	1.51	2.52	3.38	1.30	1.34	2.53
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	3.17	1.57	1.67	2.51	3.28	1.47	1.49	2.53	3.24	1.26	1.30	2.42
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	3.38	1.01	1.02	2.40	3.36	0.93	0.91	2.36	3.25	0.96	0.93	2.31
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.04	2.05	2.02	2.02	2.03	2.03	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	2.01	2.04	2.05	2.02	2.02	2.03	2.03	2.02	2.01	2.02	2.02	2.01
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	2.02	2.04	2.05	2.03	2.02	2.03	2.03	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.04	2.04	2.02	2.02	2.02	2.03	2.02	2.02	2.01	2.02	2.01
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	2.01	2.04	2.04	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.01	2.01	2.02
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	2.02	2.03	2.04	2.02	2.03	2.01	2.02	2.02	2.03	2.00	2.01	2.02
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	2.02	2.03	2.04	2.02	2.04	2.00	2.00	2.03	2.04	2.00	2.00	2.02
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	2.01	2.04	2.04	2.02	2.01	2.03	2.03	2.02	2.01	2.01	2.02	2.01
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	2.02	2.04	2.04	2.03	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.01	2.01	2.02
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.04	2.04	2.02	2.02	2.02	2.03	2.02	2.02	2.01	2.02	2.01

Tabla B25: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

Without open pit. After opening all extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean		First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean		First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.75	2.82	3.35		2.73	2.87	3.38		2.78	2.94	3.35	
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.60	2.69	3.23		2.81	2.74	3.17		2.67	2.75	3.12	
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.91	2.89	3.51		2.82	2.91	3.48		2.77	3.04	3.48	
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.82	2.91	3.53		2.76	2.92	3.44		2.75	2.94	3.33	
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.95	2.89	3.65		2.79	2.93	3.41		2.82	3.10	3.39	
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.82	2.52	3.10		2.85	2.86	3.50		2.99	2.94	3.54	
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.43	2.16	2.53		2.60	2.42	3.12		2.87	2.58	3.11	
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.91	2.93	3.55		2.73	2.95	3.52		2.90	3.02	3.45	
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.86	2.98	3.65		2.84	3.02	3.56		3.05	3.10	3.61	
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.78	2.76	3.46		2.83	2.83	3.33		2.77	2.91	3.23	
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.01	2.01		2.01	2.02	2.02		2.02	2.02	2.01	
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	2.01	2.01	2.01		2.01	2.01	2.02		2.02	2.01	2.01	
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	2.02	2.02	2.01		2.01	2.02	2.02		2.02	2.02	2.02	
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.01	2.01		2.01	2.02	2.02		2.02	2.02	2.01	
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	2.02	2.01	2.01		2.01	2.02	2.02		2.03	2.02	2.02	
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	2.02	2.02	2.02		2.03	2.02	2.04		2.04	2.02	2.03	
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	2.02	2.02	2.02		2.02	2.02	2.06		2.05	2.03	2.03	
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	2.01	2.01	2.01		2.01	2.01	2.01		2.01	2.03	2.02	
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	2.02	2.02	2.02		2.02	2.02	2.03		2.03	2.02	2.02	
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.01	2.01		2.01	2.02	2.02		2.02	2.02	2.02	

b. Derecha a izquierda

Tabla B26: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening 5 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	3.07	1.34	1.31	1.85	3.33	1.23	1.19	1.85	3.28	1.19	1.13	1.81
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	3.04	1.38	1.34	1.87	3.33	1.21	1.17	1.83	3.20	1.18	1.14	1.77
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	3.11	1.34	1.32	1.86	3.30	1.23	1.19	1.84	3.33	1.17	1.11	1.80
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	3.11	1.32	1.28	1.84	3.26	1.25	1.23	1.84	3.27	1.23	1.19	1.83
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.66	1.98	2.06	2.18	2.95	1.77	1.82	2.12	2.89	1.73	1.79	2.07
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.45	1.97	1.96	2.11	2.65	1.86	1.89	2.09	2.70	1.75	1.77	2.03
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.20	1.83	1.85	1.94	2.46	1.77	1.80	1.97	2.53	1.90	1.91	2.09
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.68	1.76	1.76	2.03	2.87	1.66	1.68	2.01	2.97	1.53	1.51	1.95
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.66	1.79	1.75	2.05	2.93	1.62	1.63	2.01	2.99	1.57	1.61	1.99
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	3.18	1.26	1.23	1.82	3.24	1.27	1.23	1.85	3.29	1.14	1.09	1.77
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.02	2.05	2.07	2.04	2.02	2.04	2.05	2.03	2.02	2.03	2.04	2.02
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	2.01	2.05	2.07	2.04	2.02	2.04	2.05	2.03	2.01	2.03	2.04	2.02
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	2.02	2.05	2.07	2.04	2.02	2.04	2.05	2.03	2.02	2.03	2.04	2.03
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	2.02	2.05	2.06	2.04	2.02	2.04	2.05	2.03	2.02	2.02	2.03	2.02
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	2.02	2.05	2.06	2.04	2.02	2.03	2.05	2.03	2.02	2.02	2.03	2.02
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	2.02	2.04	2.06	2.04	2.03	2.03	2.04	2.03	2.03	2.02	2.03	2.02
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	2.02	2.04	2.06	2.04	2.03	2.03	2.04	2.03	2.04	2.01	2.03	2.02
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	2.01	2.05	2.06	2.04	2.01	2.04	2.05	2.03	2.01	2.03	2.04	2.02
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	2.02	2.05	2.06	2.04	2.02	2.03	2.05	2.03	2.02	2.02	2.03	2.02
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.02	2.05	2.07	2.04	2.02	2.03	2.05	2.03	2.02	2.02	2.04	2.02

Tabla B27: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening 10 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	3.29	1.11	1.09	2.39	3.02	1.07	1.05	2.22	3.04	1.01	0.97	2.20
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	3.09	1.10	1.11	2.27	3.02	1.08	1.07	2.22	3.30	1.06	1.01	2.37
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	3.29	1.11	1.10	2.40	3.08	1.04	1.00	2.24	3.30	0.97	0.93	2.34
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	3.28	1.13	1.12	2.39	3.20	1.09	1.07	2.33	3.15	1.03	1.00	2.27
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	3.22	1.98	2.08	2.71	3.24	1.58	1.65	2.56	3.47	1.56	1.63	2.68
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.88	1.81	1.88	2.44	3.19	1.57	1.69	2.52	3.20	1.59	1.65	2.53
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.36	1.74	1.80	2.10	2.91	1.61	1.71	2.37	2.84	1.75	1.83	2.39
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	3.29	1.55	1.61	2.57	3.29	1.34	1.37	2.49	3.33	1.27	1.30	2.48
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	3.42	1.54	1.54	2.64	3.17	1.41	1.45	2.45	3.33	1.30	1.33	2.50
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	3.26	1.06	1.03	2.35	3.12	1.11	1.11	2.29	3.20	1.02	0.94	2.30
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.03	2.03	2.02	2.02	2.02	2.01	2.02	2.01	2.01	2.00	2.01
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	2.01	2.03	2.03	2.02	2.02	2.02	2.01	2.02	2.01	2.01	2.00	2.01
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	2.02	2.03	2.03	2.02	2.02	2.02	2.01	2.02	2.02	2.01	2.00	2.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.03	2.03	2.02	2.02	2.01	2.01	2.02	2.01	2.01	2.00	2.01
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	2.01	2.03	2.02	2.02	2.02	2.01	2.01	2.02	2.02	2.01	2.00	2.01
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	2.02	2.02	2.02	2.02	2.04	2.00	1.99	2.02	2.03	2.00	1.99	2.02
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	2.02	2.02	2.02	2.02	2.05	1.99	1.99	2.03	2.03	2.00	1.99	2.02
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	2.01	2.03	2.03	2.02	2.01	2.02	2.01	2.01	2.01	2.01	2.00	2.01
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	2.02	2.03	2.03	2.02	2.03	2.01	2.01	2.02	2.02	2.01	2.00	2.01
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.03	2.03	2.02	2.02	2.01	2.01	2.02	2.01	2.01	2.00	2.01

Tabla B28: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit.

Without open pit. After opening all extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean		First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean		First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.66	3.18	3.48		2.69	3.08	3.33		2.80	3.29	3.39	
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.75	3.17	3.42		2.62	3.05	3.30		2.99	3.27	3.44	
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.69	3.18	3.48		2.70	3.15	3.42		2.78	3.24	3.49	
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.64	3.06	3.32		2.70	3.14	3.32		2.83	3.23	3.38	
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.82	3.00	3.52		2.67	2.99	3.39		2.95	3.11	3.44	
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.59	2.57	3.06		2.68	2.82	3.56		2.76	3.12	3.56	
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.25	2.20	2.47		2.58	2.44	3.19		2.61	2.78	3.12	
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.59	3.19	3.57		2.43	2.90	3.27		2.56	3.20	3.33	
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.84	2.90	3.54		2.66	3.03	3.36		2.88	3.27	3.54	
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.70	3.27	3.44		2.66	3.17	3.37		2.88	3.29	3.41	
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.02	2.01	2.01		2.02	2.01	2.02		2.02	2.01	2.01	
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	2.02	2.01	2.01		2.02	2.01	2.02		2.02	2.01	2.01	
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	2.02	2.01	2.02		2.02	2.01	2.02		2.02	2.02	2.02	
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	2.02	2.01	2.01		2.02	2.01	2.02		2.02	2.01	2.01	
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	2.02	2.01	2.01		2.02	2.01	2.02		2.02	2.02	2.02	
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	2.02	2.02	2.02		2.03	2.02	2.05		2.04	2.02	2.03	
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	2.02	2.02	2.02		2.03	2.02	2.07		2.05	2.03	2.03	
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	2.01	2.01	2.01		2.02	2.01	2.01		2.01	2.01	2.01	
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	2.02	2.02	2.02		2.02	2.02	2.03		2.02	2.02	2.02	
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.02	2.01	2.01		2.02	2.01	2.02		2.02	2.02	2.01	

II. Con open pit

1. ratio K_s= 0,5

a. Izquierda a derecha

Tabla B29: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 antes del caving, de izquierda derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. Before the block caving mine								Stress Ratio K - K in situ = 0.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	Poisson's	UCS	GSI	GSI residual	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.18	1.75	1.47	1.42	1.95	1.68	1.61	1.94	1.77
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.24	1.82	1.53	1.46	1.94	1.70	1.62	1.99	1.79
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.19	1.75	1.47	1.47	1.94	1.72	1.63	1.92	1.78
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.25	1.84	1.55	1.54	2.06	1.81	1.61	1.96	1.78
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.03	1.42	1.25	1.36	1.82	1.61	1.82	2.47	2.13
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.94	1.25	1.12	1.21	1.57	1.42	1.62	2.07	1.88
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.87	1.13	1.02	1.11	1.39	1.27	1.38	1.70	1.57
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.11	1.55	1.35	1.47	2.05	1.77	1.63	2.17	1.93
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.12	1.52	1.35	1.46	1.95	1.72	1.98	2.38	2.16
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.38	2.01	1.68	1.49	1.93	1.70	1.61	1.93	1.76
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.87	1.08	1.00	1.10	1.27	1.23	1.38	1.47	1.48
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.87	1.08	1.00	1.10	1.27	1.23	1.38	1.47	1.48
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.87	1.08	1.00	1.10	1.27	1.23	1.38	1.46	1.48
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.83	1.06	0.97	1.04	1.23	1.17	1.28	1.41	1.40
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.83	1.06	0.97	1.04	1.23	1.17	1.28	1.42	1.41
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.83	1.07	0.97	1.04	1.24	1.18	1.27	1.47	1.42
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.83	1.06	0.97	1.04	1.24	1.18	1.28	1.46	1.42
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.83	1.05	0.96	1.04	1.22	1.17	1.28	1.41	1.40
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.83	1.06	0.97	1.04	1.23	1.18	1.28	1.43	1.41
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.87	1.08	1.00	1.10	1.27	1.23	1.38	1.48	1.49

Tabla B30: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	Poisson's coefficient	UCS	GSI	GSI residual	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.05	1.22	1.61	1.17	1.44	1.44	1.72	1.44	1.77	1.66	1.89	1.69
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.23	1.31	1.67	1.29	1.73	1.56	1.78	1.61	1.95	1.73	1.94	1.80
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	0.94	1.18	1.60	1.11	1.34	1.43	1.67	1.40	1.65	1.62	1.90	1.63
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.03	1.26	1.66	1.19	1.45	1.38	1.69	1.40	1.73	1.65	1.93	1.68
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.71	1.13	1.34	1.00	0.86	1.37	1.70	1.22	1.24	1.80	2.27	1.63
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.65	1.04	1.20	0.92	0.73	1.26	1.48	1.11	0.91	1.59	1.92	1.39
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.78	1.04	1.12	0.97	0.70	1.14	1.32	1.01	0.80	1.35	1.59	1.19
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.77	1.19	1.46	1.07	1.01	1.47	1.88	1.33	1.39	1.72	1.98	1.62
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.62	1.14	1.42	0.99	0.72	1.32	1.71	1.14	0.96	1.55	1.99	1.38
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.33	1.37	1.78	1.36	1.77	1.45	1.62	1.54	2.21	1.79	1.92	1.91
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.89	1.04	0.78	0.53	1.02	1.18	0.88	0.56	1.18	1.35	0.99
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.51	0.89	1.04	0.78	0.52	1.02	1.18	0.87	0.55	1.17	1.34	0.99
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.53	0.89	1.04	0.79	0.55	1.03	1.18	0.89	0.58	1.18	1.35	1.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.87	1.02	0.77	0.53	0.99	1.15	0.85	0.55	1.13	1.31	0.96
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.52	0.87	1.02	0.77	0.53	1.00	1.16	0.86	0.55	1.14	1.32	0.96
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.52	0.87	1.02	0.77	0.53	1.00	1.17	0.86	0.55	1.16	1.37	0.98
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.52	0.87	1.01	0.77	0.53	1.00	1.16	0.86	0.55	1.15	1.35	0.98
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.51	0.86	1.01	0.76	0.52	0.99	1.15	0.85	0.53	1.12	1.31	0.95
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.53	0.88	1.02	0.77	0.55	1.01	1.16	0.87	0.58	1.15	1.33	0.98
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.89	1.04	0.78	0.53	1.02	1.18	0.88	0.56	1.18	1.36	1.00

Tabla B31: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 con 10 puntos abiertos, de izquierda derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 10 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	son's coeffi	UCS	GSI	SI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.20	1.01	1.25	1.12	1.67	1.24	1.42	1.49	1.92	1.68	1.92	1.82
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.38	1.13	1.37	1.28	1.97	1.43	1.54	1.75	2.03	1.71	1.91	1.90
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.09	0.96	1.22	1.04	1.55	1.22	1.37	1.41	1.82	1.67	1.94	1.76
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.21	1.02	1.28	1.13	1.67	1.11	1.28	1.44	1.92	1.69	1.94	1.82
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.71	0.97	1.17	0.82	0.86	1.14	1.40	0.97	1.15	1.57	1.86	1.33
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.63	0.93	1.07	0.75	0.71	1.09	1.28	0.87	0.87	1.37	1.62	1.07
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.87	1.10	1.12	0.97	0.67	0.99	1.16	0.80	0.74	1.18	1.37	0.92
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.79	1.01	1.24	0.88	1.03	1.23	1.51	1.11	1.38	1.57	1.72	1.46
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.64	0.94	1.18	0.76	0.75	1.05	1.34	0.87	0.92	1.29	1.56	1.07
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.51	1.15	1.36	1.36	1.86	1.34	1.47	1.65	2.34	1.77	1.96	2.10
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.76	0.92	0.62	0.53	0.93	1.07	0.70	0.54	0.91	1.13	0.69
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.51	0.76	0.92	0.61	0.53	0.92	1.07	0.69	0.53	0.91	1.12	0.68
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.53	0.77	0.92	0.63	0.57	1.01	1.10	0.75	0.56	0.93	1.13	0.71
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.75	0.91	0.61	0.52	0.81	0.99	0.64	0.53	0.89	1.10	0.68
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.52	0.75	0.91	0.61	0.52	0.82	1.00	0.64	0.53	0.90	1.11	0.68
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.52	0.76	0.91	0.62	0.52	0.82	1.01	0.65	0.53	0.93	1.15	0.70
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.52	0.75	0.90	0.61	0.52	0.82	1.00	0.65	0.54	0.92	1.14	0.69
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.51	0.74	0.90	0.61	0.52	0.80	0.99	0.63	0.52	0.87	1.09	0.67
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.52	0.77	0.91	0.62	0.54	0.84	1.01	0.66	0.56	0.92	1.13	0.71
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.52	0.76	0.92	0.62	0.53	0.83	1.01	0.65	0.54	0.92	1.14	0.70

Tabla B32: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 después del caving, de izquierda derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening all extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	son's coeffi	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.18	1.45	1.38	1.64	1.85	1.92	1.80	2.50	2.33
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.37	1.58	1.60	1.84	1.99	2.17	1.89	2.53	2.44
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.08	1.35	1.23	1.51	1.74	1.76	1.74	2.41	2.19
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.19	1.45	1.37	1.68	1.85	1.93	1.81	2.52	2.33
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.66	0.78	0.69	0.74	0.99	0.84	0.92	1.35	1.10
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.59	0.76	0.62	0.63	0.85	0.69	0.74	1.11	0.84
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.75	1.12	0.97	0.58	0.82	0.65	0.69	0.94	0.71
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.71	0.84	0.77	0.83	1.15	1.03	1.14	1.50	1.34
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.60	0.66	0.62	0.65	0.82	0.73	0.77	1.09	0.90
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.40	1.83	1.71	1.84	2.12	2.07	2.24	2.73	2.68
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.58	0.52	0.51	0.47	0.51	0.52	0.62	0.53
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.49	0.57	0.51	0.50	0.45	0.50	0.51	0.60	0.52
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.50	0.60	0.52	0.52	0.50	0.52	0.53	0.65	0.55
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.58	0.52	0.50	0.59	0.52	0.51	0.61	0.53
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.50	0.58	0.52	0.50	0.59	0.52	0.51	0.61	0.53
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.50	0.58	0.52	0.50	0.59	0.52	0.51	0.62	0.53
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.50	0.58	0.52	0.50	0.59	0.52	0.51	0.61	0.53
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.49	0.57	0.51	0.50	0.58	0.52	0.50	0.59	0.52
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.50	0.60	0.52	0.52	0.62	0.53	0.53	0.65	0.55
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.50	0.58	0.52	0.51	0.60	0.52	0.52	0.62	0.53

b. Derecha a izquierda

Tabla B33: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.40	0.96	0.98	1.09	1.95	1.09	1.08	1.34	2.54	1.48	1.45	1.79
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.78	1.11	1.08	1.31	2.28	1.31	1.17	1.59	2.65	1.52	1.45	1.85
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.20	0.90	0.96	0.99	1.72	1.10	1.09	1.29	2.43	1.42	1.41	1.72
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.42	1.02	1.04	1.14	1.94	1.13	1.17	1.37	2.58	1.48	1.44	1.80
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.90	0.92	0.96	0.91	1.19	1.12	1.18	1.14	1.62	1.26	1.40	1.37
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.82	0.84	0.88	0.83	0.97	1.04	1.11	1.02	1.30	1.28	1.37	1.29
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.77	0.77	0.82	0.77	0.90	0.94	1.03	0.93	1.07	1.13	1.26	1.11
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.03	0.98	1.02	0.99	1.43	1.15	1.21	1.23	1.95	1.43	1.40	1.58
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.72	0.89	0.99	0.84	0.90	1.01	1.17	0.97	1.27	1.04	1.25	1.11
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.74	1.06	1.08	1.26	2.18	1.28	1.24	1.54	2.83	1.57	1.58	1.94
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.55	0.71	0.81	0.66	0.57	0.86	1.02	0.78	0.61	1.03	1.26	0.90
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.54	0.71	0.81	0.66	0.55	0.86	1.02	0.77	0.58	1.02	1.26	0.89
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.58	0.72	0.81	0.68	0.61	0.88	1.03	0.80	0.66	1.04	1.26	0.93
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.55	0.69	0.78	0.65	0.57	0.82	0.97	0.75	0.59	0.97	1.18	0.86
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.55	0.69	0.78	0.65	0.57	0.82	0.97	0.75	0.59	0.97	1.17	0.86
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.55	0.68	0.78	0.64	0.57	0.82	0.96	0.75	0.60	0.96	1.15	0.85
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.55	0.68	0.78	0.64	0.57	0.82	0.96	0.75	0.60	0.97	1.16	0.86
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.53	0.68	0.78	0.64	0.54	0.82	0.96	0.74	0.56	0.96	1.17	0.84
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.58	0.70	0.78	0.66	0.61	0.84	0.97	0.77	0.66	0.99	1.17	0.89
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.55	0.71	0.81	0.66	0.57	0.87	1.02	0.78	0.61	1.02	1.25	0.90

Tabla B34: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 10 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.34	0.70	0.80	1.08	2.00	0.79	0.87	1.50	2.62	1.13	1.24	2.00
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.73	0.79	0.88	1.34	2.41	0.92	0.92	1.79	2.73	1.21	1.28	2.10
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.17	0.63	0.74	0.95	1.79	0.76	0.83	1.37	2.49	1.05	1.20	1.90
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.35	0.71	0.81	1.09	2.00	0.77	0.83	1.49	2.68	1.09	1.21	2.03
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.74	0.75	0.84	0.74	0.96	0.85	0.97	0.92	1.26	0.92	1.01	1.12
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.68	0.71	0.78	0.69	0.78	0.84	0.95	0.80	0.98	0.97	1.10	0.98
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.64	0.65	0.73	0.65	0.72	0.77	0.88	0.74	0.82	0.91	1.05	0.86
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.84	0.77	0.88	0.81	1.20	0.84	0.95	1.05	1.54	1.04	1.07	1.33
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.63	0.71	0.84	0.67	0.79	0.76	0.94	0.78	1.01	0.75	0.85	0.90
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.76	0.71	0.80	1.33	2.31	0.89	0.97	1.73	2.71	1.41	1.50	2.17
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.53	0.59	0.71	0.56	0.54	0.69	0.87	0.60	0.56	0.80	1.03	0.66
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.52	0.59	0.71	0.55	0.52	0.74	0.89	0.61	0.54	0.79	1.03	0.65
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.54	0.60	0.72	0.57	0.55	0.79	0.92	0.65	0.58	0.82	1.04	0.68
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.53	0.58	0.69	0.55	0.54	0.67	0.83	0.59	0.55	0.76	0.98	0.64
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.53	0.58	0.69	0.55	0.54	0.67	0.82	0.59	0.55	0.76	0.97	0.64
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.53	0.58	0.69	0.55	0.54	0.66	0.82	0.59	0.55	0.76	0.96	0.64
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.53	0.58	0.69	0.55	0.54	0.66	0.82	0.59	0.55	0.76	0.97	0.64
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.52	0.58	0.69	0.54	0.53	0.66	0.82	0.58	0.54	0.76	0.97	0.63
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.54	0.59	0.69	0.56	0.56	0.68	0.83	0.61	0.58	0.78	0.98	0.66
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.53	0.59	0.71	0.56	0.54	0.69	0.87	0.60	0.56	0.80	1.03	0.66

Tabla B35: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=0,5 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening all extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 0.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.39	1.10	1.36	1.78	1.74	1.97	2.75	1.86	2.44
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.57	1.29	1.61	1.96	2.00	2.20	2.86	1.81	2.42
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.26	1.00	1.21	1.76	1.59	1.88	2.71	1.86	2.44
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.35	1.04	1.30	1.79	1.71	1.98	2.81	1.85	2.41
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	0.80	0.62	0.69	1.07	0.71	0.88	1.62	0.77	1.09
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	0.77	0.58	0.62	0.87	0.60	0.70	1.21	0.69	0.85
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	0.73	0.56	0.59	0.82	0.58	0.65	0.96	0.65	0.71
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	0.90	0.67	0.78	1.31	0.80	1.08	1.69	0.95	1.34
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	0.68	0.58	0.62	0.85	0.63	0.76	1.30	0.68	0.92
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.93	1.25	1.72	2.07	1.28	2.00	2.85	1.98	2.68
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.58	0.50	0.52	0.59	0.51	0.53	0.61	0.52	0.53
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.57	0.49	0.51	0.58	0.50	0.52	0.59	0.51	0.52
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	0.59	0.50	0.52	0.61	0.49	0.53	0.64	0.53	0.55
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.57	0.49	0.52	0.59	0.50	0.52	0.60	0.51	0.53
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.57	0.50	0.52	0.59	0.50	0.52	0.60	0.51	0.53
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.57	0.50	0.52	0.59	0.50	0.52	0.61	0.51	0.53
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.57	0.50	0.52	0.59	0.50	0.52	0.61	0.51	0.53
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.56	0.49	0.51	0.57	0.50	0.52	0.59	0.50	0.52
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	0.60	0.50	0.52	0.62	0.51	0.53	0.65	0.53	0.55
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.58	0.50	0.52	0.59	0.50	0.52	0.61	0.52	0.53

2. ratio K_s= 1

a. Izquierda a derecha

Tabla B36: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. Before the block caving mine								Stress Ratio K - K in situ = 1								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	son's coeffi	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.52	2.00	1.73	1.56	2.00	1.77	1.63	1.96	1.78
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.59	2.01	1.77	1.45	1.99	1.75	1.58	1.95	1.77
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.61	2.05	1.76	1.57	2.03	1.76	1.54	1.97	1.76
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.57	2.14	1.78	1.47	1.96	1.74	1.60	1.96	1.79
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.92	2.35	2.13	1.71	2.33	2.08	1.74	2.28	2.08
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.00	2.39	2.19	1.97	2.44	2.15	1.99	2.42	2.28
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.04	2.15	2.15	2.35	2.67	2.46	2.34	2.63	2.43
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.76	2.30	2.00	1.79	2.25	2.00	1.69	2.26	1.96
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.83	2.19	2.09	1.67	2.30	1.96	1.76	2.16	2.04
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.46	1.93	1.69	1.49	1.91	1.77	1.60	1.92	1.74
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.02	1.81	2.01	2.52	2.04	2.38	2.93	2.49	2.85
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	2.02	1.81	2.01	2.53	2.03	2.39	2.85	2.49	2.81
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	2.02	1.81	2.01	2.52	2.05	2.38	2.95	2.50	2.79
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.98	1.80	1.98	2.47	2.02	2.36	2.92	2.36	2.69
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	2.00	1.80	2.01	2.46	2.09	2.36	2.84	2.55	2.79
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.99	1.86	2.00	2.47	2.16	2.42	2.84	2.45	2.81
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	2.00	1.84	2.00	1.98	2.49	2.39	2.86	2.72	2.86
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.98	1.78	1.98	2.41	2.05	2.34	2.85	2.32	2.68
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.98	1.83	2.00	2.45	2.11	2.34	2.95	2.38	2.73
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.02	1.79	2.01	2.51	2.08	2.38	2.96	2.45	2.81

Tabla B37: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidadson's coeffi		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.96	1.64	1.87	1.73	2.16	1.63	1.78	1.79	2.04	1.76	1.93	1.84
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.13	1.74	1.94	1.85	2.22	1.68	1.80	1.84	2.16	1.79	1.94	1.90
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.81	1.57	1.89	1.64	2.02	1.53	1.72	1.67	1.99	1.75	1.95	1.82
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.97	1.63	1.96	1.73	2.11	1.63	1.78	1.77	2.08	1.73	1.95	1.83
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.62	1.88	2.14	1.81	1.81	1.95	2.25	1.91	1.98	1.98	2.19	1.98
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.49	1.95	2.43	1.82	1.72	1.96	2.28	1.89	1.89	2.11	2.31	2.05
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.37	1.90	2.03	1.74	1.63	2.20	2.45	2.03	1.83	2.20	2.58	2.10
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.76	1.80	2.09	1.79	1.91	1.81	2.11	1.84	1.87	1.84	2.06	1.85
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.36	1.66	2.07	1.57	1.46	1.77	2.10	1.68	1.54	1.76	1.99	1.70
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.04	1.63	1.86	1.75	2.14	1.60	1.64	1.76	2.21	1.78	1.90	1.91
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.05	1.77	1.69	1.56	1.08	2.06	1.86	1.77	1.23	2.12	1.99	1.86
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.04	1.74	1.66	1.54	1.06	1.99	1.86	1.72	1.20	2.02	2.03	1.78
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.07	1.96	1.69	1.70	1.12	2.03	1.87	1.76	1.29	2.20	2.25	1.93
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.04	1.92	1.69	1.66	1.07	2.04	1.85	1.76	1.28	2.06	2.09	1.83
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.05	1.75	1.67	1.54	1.07	1.96	1.93	1.70	1.24	2.04	2.08	1.81
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.05	1.73	1.70	1.53	1.08	2.02	1.93	1.74	1.22	2.11	2.35	1.85
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.05	2.04	1.71	1.75	1.07	1.71	1.97	1.53	1.23	2.17	2.45	1.89
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.03	1.98	1.66	1.70	1.04	1.96	1.88	1.69	1.23	2.14	2.08	1.88
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.08	1.86	1.70	1.63	1.12	1.95	1.88	1.70	1.32	2.06	2.08	1.84
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.05	1.75	1.68	1.54	1.08	1.93	1.89	1.68	1.22	2.09	2.08	1.84

Tabla B38: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 con 10 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit

After excavation of the open pit. After opening 10 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidadson's coeffi		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.27	1.48	1.63	1.95	2.37	1.47	1.58	2.00	2.12	1.72	1.97	1.95
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.54	1.66	1.75	2.18	2.55	1.56	1.65	2.14	2.13	1.75	1.94	1.97
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.07	1.45	1.66	1.81	2.16	1.33	1.43	1.82	2.06	1.70	1.97	1.91
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.38	1.51	1.69	2.02	2.43	1.41	1.53	2.01	2.02	1.70	1.98	1.89
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.65	1.71	1.86	1.67	1.86	1.79	1.96	1.83	1.90	1.82	2.03	1.87
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.44	1.84	2.12	1.60	1.65	1.84	2.04	1.72	1.76	1.92	2.02	1.83
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.34	1.60	1.80	1.45	1.56	1.93	2.05	1.71	1.69	2.10	2.28	1.86
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.80	1.67	1.84	1.75	1.98	1.75	1.87	1.89	1.86	1.71	1.81	1.80
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.39	1.49	1.70	1.43	1.51	1.50	1.73	1.51	1.53	1.52	1.65	1.53
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.35	1.44	1.59	1.98	2.13	1.42	1.51	1.84	2.36	1.76	1.95	2.11
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.04	1.55	1.43	1.25	1.06	1.49	1.52	1.23	1.12	1.65	1.55	1.34
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.03	1.55	1.40	1.24	1.04	1.52	1.51	1.24	1.09	1.58	1.59	1.29
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.06	1.47	1.44	1.23	1.09	1.47	1.53	1.24	1.16	1.59	1.64	1.34
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.03	1.46	1.43	1.21	1.05	1.51	1.52	1.24	1.12	1.54	1.60	1.29
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.04	1.86	1.41	1.38	1.05	1.51	1.53	1.24	1.14	1.74	1.62	1.39
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.04	1.47	1.43	1.21	1.06	1.66	1.50	1.31	1.10	1.68	1.71	1.34
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.03	1.45	1.44	1.21	1.02	1.24	1.52	1.11	1.09	1.83	1.82	1.40
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.02	1.41	1.40	1.18	1.03	1.59	1.54	1.26	1.09	1.57	1.65	1.28
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.06	1.40	1.44	1.20	1.08	1.47	1.55	1.24	1.15	1.82	1.71	1.43
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.04	1.55	1.41	1.25	1.06	1.49	1.54	1.24	1.13	1.65	1.65	1.34

Tabla B39: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening all extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1									
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters			
Lithology	Densidadson's coeffi		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.75	1.85	2.10	1.83	2.06	2.19	1.90	2.57	2.44
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.95	2.03	2.34	1.98	2.11	2.36	1.91	2.49	2.47
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.58	1.70	1.86	1.65	1.90	1.93	1.91	2.54	2.40
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.76	1.88	2.10	1.76	2.01	2.11	1.95	2.53	2.38
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.47	1.62	1.58	1.62	1.85	1.89	1.66	2.00	1.78
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.29	1.55	1.35	1.53	1.77	1.56	1.63	1.86	1.63
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.20	1.42	1.21	1.32	1.63	1.44	1.64	1.83	1.55
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.62	1.72	1.74	1.61	1.91	1.94	1.63	1.82	1.80
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.34	1.31	1.31	1.34	1.48	1.46	1.38	1.51	1.42
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.67	2.04	2.03	1.81	2.16	2.07	2.26	2.75	2.72
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.99	1.11	1.01	1.01	1.10	1.00	1.08	1.15	1.00
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	0.99	1.10	1.00	1.00	1.10	1.00	1.05	1.13	0.98
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.01	1.12	1.01	1.02	1.12	1.01	1.13	1.15	1.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	0.99	1.11	1.01	1.00	1.11	1.00	1.07	1.16	1.00
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	0.99	1.11	1.01	1.00	1.10	1.00	1.07	1.12	0.99
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	0.99	1.10	1.00	0.99	1.11	0.99	1.08	1.12	1.00
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	0.99	1.10	1.00	1.07	0.99	0.99	1.08	1.11	0.99
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	0.98	1.10	1.01	0.99	1.11	1.00	1.05	1.10	1.00
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.01	1.13	1.01	1.02	1.13	1.00	1.10	1.19	1.03
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	0.99	1.11	1.00	1.01	1.10	1.00	1.07	1.15	1.00

b. Derecha a izquierda

Tabla B40: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.10	1.24	1.23	1.49	2.30	1.38	1.31	1.65	2.86	1.59	1.50	1.96
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.35	1.37	1.35	1.66	2.51	1.49	1.30	1.79	2.76	1.61	1.47	1.95
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.90	1.18	1.26	1.39	2.09	1.23	1.22	1.48	2.79	1.57	1.41	1.92
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.08	1.21	1.28	1.46	2.34	1.33	1.21	1.63	2.68	1.54	1.43	1.88
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.78	1.47	1.55	1.56	1.99	1.50	1.54	1.65	2.02	1.64	1.45	1.75
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.75	1.51	1.65	1.58	1.91	1.48	1.62	1.61	2.05	1.67	1.64	1.78
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.58	1.58	1.73	1.58	1.89	1.77	1.87	1.80	2.08	1.75	2.02	1.85
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.90	1.39	1.41	1.54	2.13	1.43	1.46	1.63	1.98	1.46	1.43	1.61
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.39	1.20	1.36	1.26	1.60	1.17	1.22	1.30	1.62	1.34	1.45	1.42
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.27	1.21	1.13	1.52	2.39	1.38	1.22	1.68	2.90	1.57	1.57	1.96
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.08	1.48	1.81	1.36	1.13	1.72	2.18	1.54	1.16	1.93	2.37	1.71
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.06	1.47	1.81	1.35	1.09	1.73	2.17	1.54	1.15	1.90	2.29	1.68
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.13	1.50	1.82	1.39	1.17	1.73	2.20	1.57	1.27	2.01	2.49	1.79
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.08	1.45	1.78	1.34	1.15	1.71	2.14	1.55	1.19	1.89	2.42	1.68
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.08	1.46	1.79	1.35	1.14	1.68	2.10	1.52	1.17	1.75	2.27	1.58
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.07	1.43	1.77	1.33	1.12	1.70	1.96	1.53	1.23	1.61	2.07	1.50
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.08	1.44	1.77	1.33	1.08	1.91	1.75	1.66	1.19	1.59	2.05	1.47
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.05	1.44	1.78	1.33	1.44	1.67	2.10	1.60	1.22	2.00	2.39	1.77
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.13	1.47	1.79	1.37	1.19	1.69	2.13	1.54	1.34	1.82	2.34	1.68
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.08	1.48	1.82	1.36	1.13	1.71	2.16	1.54	1.22	1.90	2.31	1.70

Tabla B41: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 10 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.23	0.95	0.95	1.70	2.51	1.07	1.06	1.92	2.92	1.21	1.32	2.22
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.62	1.09	1.10	1.99	2.85	1.26	1.17	2.20	2.99	1.38	1.34	2.33
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.91	0.84	0.91	1.47	2.18	0.96	1.00	1.68	2.87	1.11	1.22	2.15
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.20	0.92	0.98	1.67	2.56	1.04	1.00	1.93	3.05	1.39	1.31	2.36
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.57	1.10	1.17	1.37	1.79	1.17	1.23	1.54	1.71	1.31	1.18	1.54
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.43	1.21	1.30	1.34	1.58	1.15	1.25	1.40	1.69	1.32	1.29	1.53
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.31	1.30	1.41	1.31	1.52	1.29	1.41	1.43	1.64	1.37	1.52	1.53
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.72	1.08	1.10	1.45	1.95	1.08	1.14	1.59	1.76	1.19	1.18	1.53
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.24	0.92	1.04	1.11	1.46	0.71	0.80	1.15	1.37	0.99	1.04	1.21
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.43	0.90	0.86	1.80	2.57	0.94	0.96	1.90	2.76	1.40	1.50	2.20
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.03	1.22	1.49	1.11	1.04	1.36	1.72	1.17	1.05	1.49	1.79	1.23
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.02	1.21	1.49	1.10	1.03	1.34	1.71	1.16	1.01	1.32	1.68	1.14
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.04	1.25	1.51	1.13	1.05	1.40	1.74	1.20	1.05	1.57	1.84	1.26
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.03	1.21	1.47	1.10	1.06	1.34	1.69	1.18	1.04	1.51	1.78	1.23
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.03	1.21	1.48	1.10	1.06	1.32	1.66	1.17	1.02	1.29	1.66	1.13
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.02	1.20	1.46	1.09	1.03	1.23	1.54	1.11	1.06	1.20	1.51	1.11
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.02	1.20	1.46	1.10	1.06	1.53	1.39	1.25	1.03	1.16	1.48	1.09
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.02	1.19	1.47	1.09	1.01	1.31	1.67	1.13	1.12	1.51	1.82	1.28
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.04	1.23	1.49	1.12	1.06	1.36	1.70	1.18	1.11	1.40	1.75	1.23
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.02	1.23	1.50	1.11	1.03	1.35	1.71	1.16	1.04	1.33	1.70	1.16

Tabla B42: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening all extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1									
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.11	1.62	2.27	2.09	2.02	2.37	2.79	1.93	2.41
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.34	1.92	2.59	2.13	2.07	2.38	2.85	1.85	2.44
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.89	1.43	1.92	1.94	1.76	2.08	2.90	1.98	2.44
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.06	1.64	2.24	2.07	2.02	2.31	2.90	1.89	2.45
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.78	1.17	1.50	2.01	1.25	1.75	2.14	1.19	1.59
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.67	1.12	1.31	1.93	1.11	1.47	2.07	1.21	1.56
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.43	1.11	1.20	1.77	1.12	1.36	2.06	1.21	1.46
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.90	1.24	1.68	2.11	1.31	1.89	2.02	1.28	1.69
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.39	1.10	1.26	1.60	1.11	1.41	1.65	1.11	1.33
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.23	1.56	2.10	2.06	1.79	2.02	2.83	1.99	2.69
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.08	0.99	1.00	1.09	1.01	1.00	1.15	1.01	0.99
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.08	0.99	1.00	1.08	0.99	1.00	1.10	0.99	0.98
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.10	1.01	1.01	1.09	1.03	1.00	1.19	1.04	1.01
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.09	0.99	1.01	1.18	1.00	1.02	1.15	1.01	1.00
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.08	0.99	1.01	1.32	1.00	1.04	1.08	1.00	0.98
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.07	0.99	1.00	1.11	1.00	1.00	1.21	0.99	1.00
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.08	0.99	1.00	1.00	1.09	0.99	1.10	0.99	0.98
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.08	0.98	1.00	1.05	0.99	1.00	1.49	1.00	1.06
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.10	1.01	1.01	1.10	1.03	1.01	1.27	1.03	1.03
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.08	0.99	1.00	1.09	1.00	1.00	1.13	1.01	0.99

3. ratio K_s= 1,5

a. Izquierda a derecha

Tabla B43: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. Before the block caving mine								Stress Ratio K - K in situ = 1.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	Poisson's coefficient	UCS	GSI	GSI residual	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.55	1.98	1.74	1.51	1.92	1.72	1.63	1.97	1.77
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.51	1.99	1.74	1.52	2.00	1.74	1.75	1.94	1.79
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.52	1.99	1.73	1.47	1.97	1.73	1.49	1.92	1.75
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.55	1.97	1.73	1.53	1.99	1.72	1.48	1.95	1.75
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.84	2.35	2.06	1.94	2.35	2.14	1.66	2.30	2.06
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.00	2.41	2.25	2.02	2.57	2.23	1.97	2.42	2.23
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.11	2.64	2.46	2.03	2.75	2.42	2.05	3.03	2.49
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.65	2.23	1.96	1.71	2.33	1.99	1.74	2.05	1.92
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.79	2.16	2.00	1.64	2.18	1.97	1.74	2.37	1.96
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.52	1.95	1.70	1.48	1.92	1.69	1.62	1.90	1.74
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	3.15	2.24	2.81	3.55	2.75	3.21	3.88	4.12	3.76
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	3.16	2.26	2.82	3.69	2.57	3.22	3.90	3.82	3.65
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	3.16	2.24	2.81	3.69	2.56	3.19	3.96	3.98	3.85
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	3.16	2.28	2.82	3.52	2.78	3.14	3.75	3.33	3.59
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	3.10	2.33	2.84	3.64	2.85	3.24	3.46	4.55	3.58
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	3.17	2.45	2.92	3.70	3.45	3.40	2.84	3.34	3.30
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	3.12	2.51	2.92	3.61	3.70	3.42	3.13	3.44	3.03
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	3.15	2.21	2.82	3.65	2.62	3.25	3.97	2.94	3.61
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	3.15	2.33	2.84	3.65	3.09	3.27	3.81	3.88	3.55
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	3.19	2.29	2.85	3.72	2.67	3.30	4.24	3.67	3.74

Tabla B44: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	Poisson's coefficient	UCS	GSI	GSI residual	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.41	1.69	1.82	1.90	2.47	1.67	1.75	1.91	2.21	1.78	1.91	1.91
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.38	1.73	1.89	1.92	2.54	1.76	1.90	1.99	2.28	1.81	1.93	1.95
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.29	1.70	1.85	1.87	2.38	1.68	1.79	1.89	2.15	1.82	1.92	1.92
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.33	1.69	1.85	1.88	2.44	1.72	1.82	1.93	2.19	1.81	1.91	1.92
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.14	2.05	2.36	2.08	2.14	2.06	2.26	2.09	2.07	1.97	2.23	2.00
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.18	2.16	2.24	2.16	2.14	2.17	2.49	2.16	2.09	2.14	2.32	2.13
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.00	2.38	2.60	2.27	2.10	2.30	2.65	2.24	2.10	2.45	2.85	2.35
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.15	1.91	2.14	1.98	2.30	1.95	2.25	2.05	2.17	1.80	1.96	1.91
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.00	1.89	2.01	1.92	1.99	1.88	2.04	1.91	1.91	1.87	2.22	1.88
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.38	1.67	1.85	1.88	2.48	1.69	1.77	1.92	2.27	1.78	1.88	1.92
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.59	2.66	2.05	2.34	1.69	2.40	2.46	2.19	1.74	2.75	3.28	2.45
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.56	2.62	2.09	2.31	1.60	2.43	2.10	2.19	1.64	2.73	3.11	2.41
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.63	2.55	2.03	2.28	1.75	2.38	2.38	2.19	1.80	2.84	3.36	2.54
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.58	2.46	2.11	2.20	1.65	2.37	2.53	2.16	1.73	2.78	2.89	2.47
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.58	2.49	2.13	2.22	1.63	2.49	2.58	2.23	1.74	2.58	3.55	2.33
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.60	2.21	2.25	2.03	1.67	2.56	2.95	2.30	1.74	2.42	3.42	2.22
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.61	2.20	2.34	2.02	1.67	2.59	3.16	2.32	1.75	2.53	3.19	2.30
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.55	2.58	2.01	2.27	1.58	2.49	2.40	2.22	1.65	3.00	2.75	2.60
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.63	2.40	2.15	2.17	1.75	2.53	2.75	2.30	1.97	2.98	3.20	2.68
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.59	2.53	2.08	2.25	1.68	2.40	2.64	2.18	1.80	2.78	3.07	2.49

Tabla B45: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 10 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	son's coeffi	UCS	GSI	SI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.72	1.66	1.75	2.28	2.71	1.59	1.64	2.25	2.25	1.79	2.00	2.06
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.71	1.75	1.85	2.32	2.82	1.69	1.78	2.36	2.27	1.79	1.99	2.07
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.72	1.66	1.74	2.28	2.59	1.55	1.65	2.17	2.17	1.77	1.98	2.01
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.64	1.73	1.82	2.26	2.77	1.63	1.71	2.30	2.20	1.74	1.99	2.01
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.21	1.95	2.13	2.10	2.22	1.99	2.06	2.13	2.09	1.99	2.09	2.05
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.08	1.99	2.02	2.05	2.12	2.10	2.20	2.11	2.03	2.06	2.14	2.04
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.97	2.16	2.34	2.05	2.05	2.09	2.41	2.06	2.03	2.27	2.47	2.13
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.26	1.93	2.06	2.12	2.36	2.12	2.27	2.26	2.24	1.81	1.88	2.07
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.03	1.67	1.77	1.88	2.08	1.68	1.81	1.92	1.94	1.80	1.99	1.89
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.77	1.67	1.78	2.32	2.43	1.54	1.67	2.06	2.39	1.75	1.93	2.13
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.55	2.23	1.68	1.83	1.54	1.75	1.92	1.63	1.53	2.00	2.22	1.72
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.54	2.25	1.70	1.83	1.57	2.46	1.73	1.93	1.51	2.42	2.20	1.88
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.58	2.44	1.68	1.94	1.60	1.65	1.86	1.62	1.59	2.40	2.47	1.92
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.54	2.98	1.72	2.14	1.55	1.67	1.91	1.60	1.58	2.23	2.12	1.85
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.55	2.00	1.71	1.73	1.49	2.27	1.95	1.81	1.53	2.13	2.37	1.77
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.55	1.67	1.76	1.60	1.54	2.00	2.12	1.73	1.58	2.28	2.78	1.86
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.56	1.79	1.83	1.65	1.54	2.05	2.22	1.75	1.60	1.94	2.58	1.74
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.54	2.89	1.65	2.09	1.54	2.58	1.81	1.97	1.55	2.10	2.01	1.78
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.58	2.31	1.74	1.88	1.60	2.16	2.04	1.83	1.73	2.10	2.43	1.88
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.56	1.92	1.67	1.71	1.53	2.08	2.01	1.76	1.63	2.07	2.30	1.81

Tabla B46: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening all extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	son's coeffi	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.08	2.25	2.58	1.87	2.19	2.30	1.91	2.58	2.43
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.07	2.31	2.62	2.06	2.26	2.49	1.85	2.56	2.48
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.02	2.14	2.48	1.88	2.12	2.27	1.85	2.57	2.36
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.03	2.24	2.56	1.87	2.22	2.32	1.88	2.54	2.42
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.96	2.11	2.20	1.94	2.24	2.20	1.84	2.28	2.09
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.02	1.94	1.93	1.92	2.11	2.02	1.91	2.22	1.92
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.88	1.96	1.79	1.82	2.07	1.88	1.95	2.18	1.88
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.97	2.17	2.32	2.07	2.50	2.59	1.96	2.15	2.17
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.90	1.80	1.91	1.79	1.94	2.00	1.75	1.81	1.79
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.85	2.20	2.29	1.88	2.18	2.17	2.21	2.75	2.68
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.48	1.51	1.41	1.52	1.50	1.36	1.51	1.50	1.32
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.48	1.54	1.45	1.47	1.54	1.41	1.45	1.51	1.33
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.50	1.52	1.43	1.55	1.57	1.35	1.50	1.53	1.38
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.48	1.55	1.45	1.50	1.54	1.37	1.53	1.54	1.37
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.48	1.51	1.44	1.47	1.50	1.35	1.53	1.57	1.37
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.49	1.49	1.39	1.51	1.48	1.36	1.54	1.69	1.41
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.49	1.53	1.39	1.50	1.55	1.38	1.58	1.62	1.45
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.47	1.57	1.46	1.48	1.53	1.38	1.49	1.53	1.36
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.50	1.51	1.42	1.54	1.56	1.40	1.71	1.62	1.47
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.49	1.55	1.42	1.49	1.52	1.35	1.59	1.52	1.38

b. Derecha a izquierda

Tabla B47: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.37	1.35	1.33	1.65	2.54	1.41	1.31	1.74	2.78	1.53	1.49	1.90
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.60	1.50	1.36	1.83	2.77	1.52	1.39	1.89	2.85	1.64	1.66	1.99
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.28	1.30	1.27	1.59	2.36	1.32	1.22	1.63	2.77	1.45	1.34	1.84
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.33	1.36	1.32	1.64	2.57	1.44	1.37	1.77	2.85	1.53	1.35	1.92
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.19	1.54	1.49	1.73	2.25	1.71	1.66	1.87	2.25	1.69	1.43	1.85
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.14	1.74	1.70	1.86	2.38	1.73	1.67	1.92	2.37	1.82	1.75	1.98
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.16	1.72	1.82	1.85	2.31	1.84	1.70	1.98	2.46	1.86	1.76	2.04
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.36	1.58	1.43	1.81	2.39	1.54	1.48	1.79	2.11	1.55	1.54	1.72
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.84	1.30	1.32	1.46	1.97	1.41	1.37	1.57	1.93	1.39	1.47	1.55
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.50	1.38	1.32	1.71	2.64	1.39	1.26	1.76	2.97	1.60	1.56	2.00
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.54	2.09	2.70	1.92	1.54	2.14	2.77	1.96	1.69	1.97	2.63	1.89
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.52	2.10	2.63	1.93	1.47	2.26	2.70	2.03	1.58	1.85	2.54	1.77
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.55	2.28	2.73	2.07	1.63	2.15	2.82	2.00	1.75	2.20	2.78	2.07
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.56	2.06	2.62	1.91	1.56	2.16	2.75	1.98	1.62	1.95	2.65	1.86
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.53	2.23	2.56	2.02	1.55	1.95	2.58	1.83	1.65	1.66	2.39	1.66
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.50	1.89	2.38	1.78	1.57	1.78	2.43	1.72	1.75	1.48	1.98	1.56
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.50	2.07	2.33	1.90	1.59	1.78	2.47	1.72	1.75	1.72	1.94	1.73
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.53	2.06	2.64	1.91	1.55	2.10	2.79	1.94	1.50	2.13	2.83	1.95
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.56	2.18	2.64	2.00	1.66	2.07	2.71	1.95	1.89	1.92	2.63	1.91
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.53	2.17	2.64	1.98	1.54	1.98	2.67	1.85	1.65	1.91	2.69	1.84

Tabla B48: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 10 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidad	on's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.69	1.10	1.15	2.03	2.89	1.19	1.17	2.19	2.95	1.26	1.37	2.26
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	3.00	1.24	1.19	2.27	3.11	1.29	1.25	2.36	3.05	1.38	1.51	2.36
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.45	1.04	1.04	1.87	2.57	1.06	1.03	1.95	2.90	1.14	1.23	2.17
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.60	1.08	1.09	1.97	2.87	1.20	1.21	2.18	2.97	1.18	1.29	2.23
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.02	1.21	1.21	1.68	2.09	1.41	1.41	1.81	1.97	1.30	1.22	1.70
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	1.91	1.45	1.37	1.72	2.04	1.47	1.41	1.80	2.01	1.62	1.50	1.85
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.78	1.43	1.48	1.64	1.99	1.49	1.38	1.79	2.04	1.53	1.52	1.83
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.25	1.29	1.23	1.86	2.36	1.30	1.23	1.92	2.01	1.36	1.31	1.74
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.71	0.96	1.04	1.40	1.87	1.17	1.18	1.58	1.68	1.25	1.39	1.50
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.84	1.11	1.09	2.13	2.87	1.08	1.09	2.14	2.82	1.43	1.54	2.25
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.45	1.78	2.12	1.58	1.39	1.59	1.97	1.47	1.37	1.54	1.83	1.44
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.47	1.74	2.07	1.58	1.38	1.50	1.90	1.43	1.34	1.43	1.77	1.38
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.44	1.82	2.17	1.60	1.42	1.67	2.09	1.52	1.41	1.60	1.93	1.49
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.47	1.74	2.05	1.58	1.38	1.60	1.98	1.47	1.35	1.47	1.86	1.40
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.41	1.71	1.96	1.54	1.38	1.51	1.86	1.43	1.36	1.37	1.63	1.37
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.41	1.52	1.80	1.46	1.37	1.44	1.73	1.40	1.45	1.34	1.56	1.40
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.44	1.60	1.83	1.51	1.39	1.46	1.78	1.42	1.44	1.41	1.39	1.43
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.48	1.72	2.09	1.58	1.45	1.56	2.03	1.49	1.34	1.51	1.92	1.41
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.42	1.85	2.03	1.59	1.43	1.64	1.98	1.52	1.50	1.49	1.82	1.50
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.42	1.89	2.02	1.61	1.38	1.53	1.92	1.45	1.37	1.47	1.82	1.41

Tabla B49: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening all extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 1.5								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	son's coeff	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.52	1.98	2.67	2.30	2.29	2.66	2.79	2.03	2.48
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.59	2.02	2.79	2.27	2.14	2.56	2.66	1.88	2.42
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.38	1.93	2.60	2.16	2.12	2.51	2.79	2.08	2.52
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.49	1.89	2.60	2.36	2.14	2.61	2.84	2.01	2.46
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.26	1.59	2.02	2.36	1.69	2.15	2.29	1.54	1.89
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.17	1.55	1.80	2.31	1.56	1.92	2.38	1.63	1.88
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.03	1.54	1.68	2.21	1.52	1.81	2.32	1.58	1.86
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.39	1.75	2.27	2.56	1.69	2.34	2.34	1.65	2.06
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.94	1.59	1.80	1.99	1.61	1.92	2.07	1.57	1.74
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.56	1.90	2.48	2.05	1.87	2.18	2.79	2.04	2.70
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.51	1.48	1.44	1.44	1.46	1.36	1.58	1.44	1.32
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.52	1.47	1.44	1.41	1.45	1.36	1.49	1.44	1.31
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.47	1.50	1.43	1.53	1.47	1.37	1.59	1.43	1.33
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.56	1.48	1.46	1.44	1.46	1.37	1.47	1.45	1.30
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.49	1.47	1.42	1.40	1.45	1.36	1.48	1.42	1.31
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.45	1.46	1.41	1.51	1.45	1.35	1.63	1.39	1.34
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.40	1.47	1.44	1.54	1.45	1.36	1.56	1.40	1.32
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.54	1.47	1.47	1.51	1.46	1.41	1.40	1.44	1.33
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.48	1.49	1.42	1.56	1.47	1.38	1.71	1.43	1.37
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.48	1.48	1.43	1.44	1.45	1.34	1.55	1.43	1.31

4. ratio K_s= 2

a. Izquierda a derecha

Tabla B50: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 antes del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. Before the block caving mine								Stress Ratio K - K in situ = 2								
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters		
Lithology	Densidad	son's coeffi	UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	1.54	1.99	1.75	1.53	1.98	1.74	1.68	1.93	1.82
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	1.55	2.02	1.75	1.60	1.92	1.77	1.67	1.95	1.78
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	1.51	1.99	1.72	1.67	1.94	1.78	1.67	1.97	1.79
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	1.50	2.01	1.75	1.58	1.89	1.74	1.64	1.96	1.77
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	1.82	2.32	2.10	1.96	2.30	2.04	1.81	2.26	1.99
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.23	2.36	2.26	1.84	2.57	2.23	2.08	2.25	2.20
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.43	2.54	2.50	2.41	2.69	2.54	2.18	2.57	2.46
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	1.81	2.25	1.96	1.75	2.22	1.97	1.59	2.15	1.91
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	1.88	2.19	2.02	1.99	2.29	2.05	1.76	2.15	2.03
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.49	1.94	1.70	1.52	1.91	1.70	1.60	1.88	1.74
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	4.37	2.63	3.59	3.93	3.72	3.93	3.74	4.31	4.13
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	3.97	2.83	3.50	4.13	3.49	3.70	3.13	5.11	4.13
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	4.20	2.75	3.46	4.40	3.75	3.95	4.03	4.29	3.77
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	4.22	2.95	3.47	4.31	4.36	4.12	2.90	4.09	3.58
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	3.90	2.91	3.53	3.78	3.48	3.64	2.48	3.80	3.22
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	3.83	3.49	3.90	3.30	3.26	3.24	2.93	3.17	3.10
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	4.38	3.17	3.89	3.25	3.14	3.20	2.98	3.15	3.08
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	4.04	2.76	3.44	4.14	3.88	3.96	3.73	3.87	3.80
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	3.83	3.11	3.56	3.71	3.71	3.64	3.51	3.75	3.42
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	3.97	2.99	3.51	4.15	3.43	3.90	3.78	4.03	3.54

Tabla B51: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidadson's coeffi		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.65	1.77	1.95	2.03	2.71	1.77	1.88	2.05	2.37	1.86	1.92	2.01
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.60	1.78	2.00	2.02	2.64	1.78	1.82	2.03	2.34	1.82	1.96	1.97
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.63	1.78	1.98	2.03	2.76	1.76	1.81	2.06	2.39	1.80	1.94	1.97
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.52	1.79	1.99	2.00	2.73	1.74	1.78	2.03	2.39	1.81	1.96	1.98
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.30	2.13	2.34	2.18	2.55	2.07	2.28	2.21	2.42	2.00	2.18	2.13
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.35	2.12	2.26	2.19	2.29	2.23	2.54	2.25	2.35	2.10	2.20	2.17
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.41	2.34	2.59	2.36	2.28	2.42	2.64	2.38	2.34	2.24	2.59	2.27
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.45	1.99	2.26	2.12	2.54	1.99	2.19	2.15	2.46	1.95	2.11	2.10
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.33	2.03	2.20	2.11	2.42	1.98	2.21	2.11	2.30	2.01	2.07	2.10
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.65	1.73	1.91	2.00	2.65	1.68	1.76	1.97	2.34	1.79	1.93	1.95
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.14	2.71	2.37	2.54	2.12	2.89	3.06	2.67	2.24	2.96	3.78	2.75
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	2.09	2.90	2.63	2.67	2.14	2.74	2.82	2.56	2.19	3.45	4.60	3.08
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	2.19	2.73	2.43	2.57	2.26	3.15	3.11	2.89	2.42	3.42	3.86	3.13
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	2.13	2.72	2.60	2.55	2.14	2.98	3.34	2.73	2.26	2.57	3.79	2.48
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	2.11	2.69	2.71	2.52	2.10	2.68	2.94	2.51	2.09	2.60	3.09	2.45
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	2.08	2.80	2.89	2.59	2.15	2.46	2.71	2.37	2.14	2.66	2.69	2.51
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	2.10	2.94	2.89	2.69	2.10	2.43	2.76	2.33	2.20	2.60	2.48	2.48
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	2.07	3.43	2.41	3.03	2.06	2.78	3.10	2.57	2.13	3.07	3.32	2.80
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	2.20	2.77	2.90	2.60	2.20	2.98	3.17	2.75	2.35	2.90	3.61	2.74
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.14	2.81	2.64	2.61	2.14	2.85	3.07	2.64	2.31	2.59	3.18	2.51

Tabla B52: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 con 5 puntos abiertos, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 10 extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidadson's coeffi		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	3.02	1.82	1.93	2.52	3.03	1.76	1.85	2.51	2.31	1.80	1.95	2.10
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.94	1.86	2.00	2.49	3.06	1.79	1.81	2.54	2.31	1.80	2.00	2.10
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.99	1.81	1.94	2.50	3.07	1.72	1.75	2.51	2.25	1.78	1.99	2.06
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.95	1.83	1.97	2.49	3.08	1.74	1.78	2.53	2.28	1.81	1.98	2.08
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.40	2.09	2.22	2.27	2.66	2.11	2.25	2.43	2.47	2.06	2.18	2.30
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.31	2.22	2.20	2.27	2.35	2.19	2.40	2.29	2.31	2.08	2.14	2.22
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.36	2.19	2.36	2.29	2.25	2.35	2.44	2.29	2.18	2.19	2.39	2.18
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.62	2.05	2.21	2.38	2.78	1.99	2.14	2.46	2.63	1.99	2.09	2.36
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.51	1.97	2.05	2.29	2.39	2.16	2.33	2.30	2.37	1.98	1.95	2.21
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	3.04	1.77	1.90	2.52	2.72	1.68	1.76	2.29	2.46	1.76	1.94	2.17
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.19	1.94	2.08	1.90	2.12	2.21	1.99	1.97	2.23	2.80	2.08
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	2.03	2.32	2.04	2.15	1.92	2.67	2.04	2.23	1.98	2.42	3.02	2.16
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	2.07	2.15	2.00	2.10	2.00	2.44	2.32	2.18	2.21	2.66	3.00	2.40
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	2.03	1.85	1.97	1.96	1.92	1.95	2.17	1.93	2.04	2.24	2.86	2.12
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.99	2.59	2.06	2.24	1.97	2.00	2.15	1.98	1.90	2.14	2.42	2.00
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.96	2.02	2.25	1.99	2.03	1.86	2.03	1.96	1.98	2.48	2.29	2.19
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.99	2.51	2.28	2.20	1.94	2.07	2.31	1.99	2.02	2.34	1.92	2.15
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	2.04	2.45	1.85	2.21	1.91	2.50	2.12	2.15	1.97	2.38	2.75	2.14
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	2.01	2.25	2.25	2.11	2.04	2.86	2.66	2.38	2.05	2.30	2.98	2.15
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	2.01	2.19	2.03	2.08	1.95	1.90	2.28	1.93	2.01	1.79	2.34	1.92

Tabla B53: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 después del caving, de izquierda a derecha, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening all extraction points (left to righ)								Stress Ratio K - K in situ = 2									
								Pit 550 meters			Pit 750 meters			Pit 950 meters			
Lithology	Densidadson's coeffi		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.39	2.47	2.97	2.10	2.36	2.57	1.89	2.57	2.42
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.43	2.52	3.03	2.18	2.39	2.64	1.87	2.55	2.47
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.36	2.42	2.86	2.05	2.34	2.49	1.84	2.60	2.37
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.32	2.48	2.93	2.12	2.41	2.61	1.89	2.58	2.43
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.23	2.64	2.58	2.37	2.48	2.64	2.22	2.45	2.38
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.11	2.33	2.17	2.12	2.42	2.26	2.23	2.31	2.17
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.25	2.32	2.11	2.17	2.37	2.19	2.16	2.24	2.03
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.33	2.47	2.67	2.42	2.78	2.99	2.19	2.45	2.54
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.24	2.18	2.37	2.32	2.41	2.54	2.13	2.22	2.23
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	2.09	2.44	2.62	1.92	2.30	2.26	2.25	2.83	2.83
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.96	1.83	1.73	1.92	1.79	1.64	1.95	1.83	1.66
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.95	1.85	1.77	1.95	1.79	1.64	1.90	1.98	1.73
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.98	1.82	1.69	1.95	1.81	1.68	2.14	2.08	1.89
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.96	1.87	1.76	1.95	1.90	1.69	1.98	1.92	1.71
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.93	1.86	1.75	1.90	1.85	1.73	1.79	1.96	1.65
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.89	1.90	1.73	1.96	1.80	1.72	1.90	1.95	1.75
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.93	1.82	1.74	1.90	1.97	1.72	1.95	1.93	1.78
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.96	1.92	1.81	1.90	1.87	1.70	1.85	1.92	1.70
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.98	1.89	1.73	1.96	1.96	1.78	2.04	1.93	1.75
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.96	1.88	1.75	1.91	1.78	1.65	2.08	1.84	1.72

b. Derecha a izquierda

Tabla B54: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=1,5 con 5 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 5 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidadon's coeff		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.71	1.47	1.36	1.83	2.77	1.47	1.34	1.86	2.91	1.59	1.55	1.98
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.86	1.51	1.40	1.91	2.84	1.56	1.43	1.94	2.91	1.59	1.53	1.98
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.63	1.35	1.25	1.73	2.68	1.45	1.43	1.81	2.82	1.53	1.52	1.91
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.79	1.45	1.32	1.84	2.78	1.49	1.39	1.87	2.84	1.53	1.47	1.92
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.35	1.70	1.62	1.89	2.39	1.63	1.68	1.85	2.36	1.62	1.60	1.84
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.21	1.82	1.89	1.94	2.43	1.81	1.67	1.99	2.28	1.91	1.83	2.02
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.37	1.86	2.04	2.01	2.59	2.06	2.12	2.21	2.40	2.02	1.88	2.13
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.39	1.55	1.57	1.80	2.56	1.62	1.51	1.90	2.36	1.59	1.43	1.82
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.10	1.48	1.57	1.66	2.27	1.51	1.60	1.73	2.16	1.52	1.49	1.71
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.81	1.72	1.66	1.74	2.84	1.45	1.34	1.86	3.08	1.62	1.57	2.05
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.85	2.61	3.17	2.38	1.93	2.15	2.88	2.09	2.03	2.16	3.04	2.12
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.84	2.28	3.15	2.15	1.86	2.17	2.90	2.08	2.06	2.07	2.57	2.07
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.93	2.43	3.27	2.29	2.01	2.30	3.11	2.21	2.40	2.33	2.58	2.35
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.87	2.49	3.13	2.30	1.93	2.53	3.07	2.36	2.12	1.93	2.30	1.99
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.84	2.25	2.89	2.13	2.01	2.29	2.75	2.20	2.15	1.58	1.44	1.75
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.92	2.06	2.90	2.02	2.01	1.78	2.14	1.85	2.04	1.87	2.03	1.92
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.84	2.13	2.93	2.04	2.02	1.79	2.45	1.86	2.07	1.91	2.05	1.95
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.92	3.15	3.07	2.79	1.90	2.28	3.06	2.17	2.00	1.93	2.45	1.95
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.97	2.37	3.01	2.25	2.22	2.31	2.73	2.29	2.24	2.13	2.55	2.17
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.82	2.49	3.05	2.29	1.92	2.30	3.12	2.18	2.16	2.16	2.40	2.16

Tabla B55: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 con 10 puntos abiertos, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening 10 extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidadon's coeff		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean	Mean OEP	Mean NOEP	Last 3 excavations	General mean
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	3.29	1.23	1.20	2.44	3.17	1.25	1.23	2.38	2.99	1.33	1.45	2.31
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	3.42	1.33	1.29	2.56	3.26	1.38	1.36	2.49	3.14	1.42	1.50	2.43
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	3.10	1.11	1.08	2.28	3.03	1.25	1.27	2.30	2.98	1.24	1.37	2.26
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	3.33	1.21	1.16	2.45	3.04	1.29	1.29	2.32	3.02	1.28	1.37	2.30
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.29	1.49	1.47	1.96	2.38	1.47	1.52	2.01	2.14	1.38	1.44	1.83
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.05	1.64	1.61	1.88	2.16	1.64	1.52	1.95	2.06	1.66	1.60	1.89
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	1.96	1.77	1.77	1.88	2.24	1.82	1.87	2.06	2.09	1.90	1.66	2.01
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.45	1.37	1.39	2.01	2.70	1.31	1.31	2.13	2.30	1.36	1.26	1.91
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.03	1.32	1.36	1.74	2.17	1.27	1.38	1.80	2.00	1.31	1.30	1.72
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.78	1.69	1.66	1.74	3.08	1.21	1.22	2.31	2.85	1.45	1.54	2.27
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.71	2.26	2.37	1.93	1.69	1.72	2.09	1.70	1.68	1.64	2.16	1.66
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.73	1.83	2.27	1.77	1.67	1.67	2.14	1.67	1.76	1.61	1.96	1.69
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.72	2.01	2.40	1.84	1.69	1.87	2.17	1.76	1.88	1.52	1.77	1.73
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.79	1.90	2.31	1.83	1.68	1.72	2.11	1.70	1.81	1.72	1.83	1.77
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.72	1.86	2.22	1.77	1.71	1.56	1.87	1.65	1.78	1.06	1.09	1.48
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.74	1.73	2.12	1.74	1.77	1.36	1.58	1.60	1.76	1.33	1.57	1.58
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.70	1.88	2.10	1.77	1.76	1.56	1.84	1.68	1.82	1.52	1.61	1.69
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.90	2.06	2.35	1.96	1.67	1.74	2.11	1.69	1.69	1.32	1.59	1.54
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.76	1.98	2.31	1.85	1.84	1.65	1.84	1.76	1.86	1.63	1.91	1.77
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.72	1.96	2.25	1.82	1.68	1.61	2.00	1.65	1.75	1.37	1.60	1.59

Tabla B56: Resultado de esfuerzos para ratio K_s=2 después del caving, de derecha a izquierda, sin open pit.

After excavation of the open pit. After opening all extraction points (righ to left)								Stress Ratio K - K in situ = 2											
								Pit 550 meters				Pit 750 meters				Pit 950 meters			
Lithology	Densidadon's coeff		UCS	GSI	iSI residu	mi	Young' modulus	First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean		First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean		First 3 excavations	Last 3 excavations	General mean	
lito 1	0.026	0.2	25	30	15	10	30000	2.71	2.57	3.32		2.44	2.67	2.88		2.82	2.07	2.54	
lito 2	0.026	0.2	25	30	15	10	15000	2.72	2.54	3.26		2.23	2.49	2.72		2.73	2.00	2.50	
lito 3	0.026	0.2	25	30	15	10	50000	2.76	2.61	3.35		2.36	2.65	2.98		2.70	2.15	2.51	
lito 4	0.026	0.3	25	30	15	10	30000	2.76	2.53	3.32		2.40	2.75	2.94		2.76	2.09	2.52	
lito 5	0.026	0.2	50	30	15	10	30000	2.32	2.03	2.35		2.67	2.08	2.55		2.58	1.99	2.26	
lito 6	0.026	0.2	70	30	15	10	30000	2.32	1.91	2.08		2.45	1.96	2.17		2.43	1.94	2.12	
lito 7	0.026	0.2	100	30	15	10	30000	2.29	1.92	1.97		2.40	2.00	2.12		2.32	1.99	2.07	
lito 8	0.026	0.2	25	30	15	15	30000	2.52	2.18	2.63		2.72	2.24	2.90		2.58	2.04	2.44	
lito 9	0.026	0.2	25	50	25	10	30000	2.20	2.02	2.18		2.38	2.05	2.32		2.28	1.98	2.10	
lito 10	0.03	0.2	25	30	15	10	30000	1.80	1.66	1.74		2.42	1.96	2.44		2.79	2.13	2.82	
lito 11	0.026	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.68	1.94	1.77		1.79	1.87	1.65		1.88	1.87	1.63	
lito 12	0.026	0.2	120	55	27.5	20	70000	1.74	1.93	1.76		1.66	1.89	1.65		1.94	1.84	1.66	
lito 13	0.026	0.2	120	55	27.5	20	30000	1.76	1.92	1.72		1.96	1.88	1.65		2.24	1.76	1.70	
lito 14	0.026	0.3	120	55	27.5	20	48000	1.80	1.93	1.79		1.68	1.88	1.68		1.98	1.78	1.68	
lito 15	0.026	0.3	90	55	27.5	20	48000	1.75	1.92	1.75		1.87	1.85	1.68		2.01	1.74	1.67	
lito 16	0.026	0.3	60	55	27.5	20	48000	1.83	1.90	1.73		1.86	1.80	1.68		1.85	1.85	1.67	
lito 17	0.026	0.3	120	55	27.5	10	48000	1.70	1.92	1.72		1.86	1.86	1.67		1.92	1.82	1.71	
lito 18	0.026	0.3	120	65	32.5	20	48000	1.86	1.93	1.84		1.76	1.90	1.68		1.89	1.85	1.64	
lito 19	0.026	0.3	120	45	22.5	20	48000	1.84	1.94	1.76		2.04	1.84	1.74		2.11	1.83	1.72	
lito 20	0.03	0.2	120	55	27.5	20	48000	1.63	1.92	1.74		1.80	1.87	1.64		2.03	1.78	1.64	

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberto Mengual. (2017, julio 28). *Esfuerzo interno—Urbipedia—Archivo de Arquitectura*. https://www.urbipedia.org/hoja/Esfuerzo_interno

Carranza-Torres, C., & Fairhurst, C. (2000). Application of the Convergence-Confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *15*(2), 187-213. https://doi.org/10.1016/S0886-7798(00)00046-8

Cochilco, estadísticas anuales. (2020, mayo 5). *Ley promedio de mineral de cobre en las operaciones mineras en Chile—Ley promedio de mineral de cobre en las operaciones mineras en Chile por proceso—Portal de Datos Abiertos*. Cochilco. https://datos.gob.cl/dataset/ley-promedio-de-mineral-de-cobre-en-las-operaciones-mineras-en-chile/resource/e75c237e-959a-43de-9f4c-a0ea10e32b89

Coulomb, C.-A. (1776). Essai sur une application des regles de maximis et minimis a quelque problemes de statique, relatifs a l'architecture. *Memoires de Mathematique et de Physique, L'Academie Royale des Sciences*, 343-382.

Galarce Castro, T. F. (2014). *Modelo de esfuerzos in-situ para Chile y su incidencia en el diseño minero subterráneo* [Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/116331

Geng, J., Li, Q., Li, X., Zhou, T., Liu, Z., & Xie, Y. (2021). Research on the Evolution Characteristics of Rock Mass Response from Open-Pit to Underground Mining. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2021*, e3200906. https://doi.org/10.1155/2021/3200906

Geoinnova, A. (2016, mayo 16). *Minería a cielo abierto y sus impactos en el medio ambiente*. Geoinnova. https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-cielo-abierto-impactos/

González, A., & Martínez, P. (2022). *Criterios de rotura en rocas*.

Hamman, E. C. F., Cowan, M., Venter, J., de Souza, J. B., & Dight, P. M. (2020). *Considerations for open pit to underground transition interaction* (pp. 1123-1138). Slope Stability 2020: 2020 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, 2020 12-14 May 2020, Online. Australian Centre for Geomechanics. https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2025_74

Hazin, M. S. (2013). *Desarrollo minero y conflictos socioambientales*. Naciones Unidas.

Hoek, E., & Brown, E. T. (s. f.). *ESTIMACION DE LA RESISTENCIA DE MACIZOS ROCOSOS EN LA PRACTICA (A)*.

Hoek, E., & Brown, E. T. (1980). Underground excavations in Rock. Int. Min. *Metall. Londom*, 401.

Hoek, E., & Brown, E. T. (2019). The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, *11*(3), 445-463. https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.001

Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. (s. f.). *HOEK-BROWN FAILURE CRITERION – 2002 EDITION*.

Ismael David Gottreux Vollet. (2016). *Pre acondicionamiento con el uso de debilitamiento dinámico con explosivos en minería por caving*. https://repositorio.uc.cl/handle/11534/16843

King, B., Goycoolea, M., & Newman, A. (2017). Optimizing the open pit-to-underground mining transition. *European Journal of Operational Research*, *257*(1), 297-309. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.07.021

Li, X., Yang, S., Wang, Y., Nie, W., & Liu, Z. (2021). Macro-Micro Response Characteristics of Surrounding Rock and Overlying Strata towards the Transition from Open-Pit to Underground Mining. *Geofluids*, *2021*, e5582218. https://doi.org/10.1155/2021/5582218

López, S. A. L. D. (2019). *CUANTIFICACIÓN EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE VARIABLES QUE INCIDEN EN LA FORMACIÓN DE COLGADURAS EN MINERÍA DE CAVING*. Universidad de Chile.

Martínez Valdebenito, C. A. (2020). *Modelamiento numérico de colgaduras en minería de caving mediante elementos discretos* [Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178885

OCMAL. (2014, marzo 19). *Creciente descontento social contra los megaproyectos | Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina*. https://www.ocmal.org/creciente-descontento-social-contra-los-megaproyectos/

Rodríguez, J. (2007). *CARACTERIZACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS*. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/62365/2007Caracterizaci%C3%B3nMacizosRocosos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ros Avila, J. (2008). *Análisis comparativo de los criterios de rotura de Hoek&Brown y Mohr-Coulomb en el estudio de estabilidad en macizos rocosos*. https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6529

RS2 Overview | Documentation and Theory Overview. (s. f.). Recuperado 10 de junio de 2024, de https://www.rocscience.com/help/rs2/overview/rs2-overview

Sebastian Antonio López Díaz. (2016). *Estudio experimental de colgaduras*. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/139521

Singh, P. K., Roy, M. P., Paswan, R. K., Dubey, R. K., & Drebenstedt, C. (2015). Blast vibration effects in an underground mine caused by open-pit mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, *80*, 79-88. https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2015.09.009

Soledad Andrea Maass Venegas. (2013). *Alternativas tecnológicas para descuelgue de zanjas*. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/113817

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons.

Valenzuela, C. (2017, mayo). *Minería subterránea* [Curso]. https://mine-class.com/wp-content/uploads/2017/05/Libro_Mineri%CC%81a_Subterra%CC%81nea.pdf

Vásquez, P., Diaz Salas, J., & Barindelli, G. (2023). *Lecciones aprendidas, colapsos MB N01S02, Chuquicamata subeterránea.* Issuu. https://issuu.com/epromote/docs/proceedings-scmr23_block