Estimación de daño provocado por voladura mediante análisis numérico

Proyecto de investigación

Alumna: Maricarmen Manuel Arguelles
Asesor: M.I. Hazel Fernando González Rendon

Objetivo

Estimar los efectos del uso de explosivos en la estabilidad del tajo a través de un análisis con elemento finito y determinación de zonas de daño

Objetivos particulares

Evaluar espesor de daño por voladura (ED) en el talud a partir de análisis numéricos dinámicos.

Calibrar el modelo numérico con parámetros y mediciones de campo, para asegurarse de obtener resultados representativos del sitio de análisis.

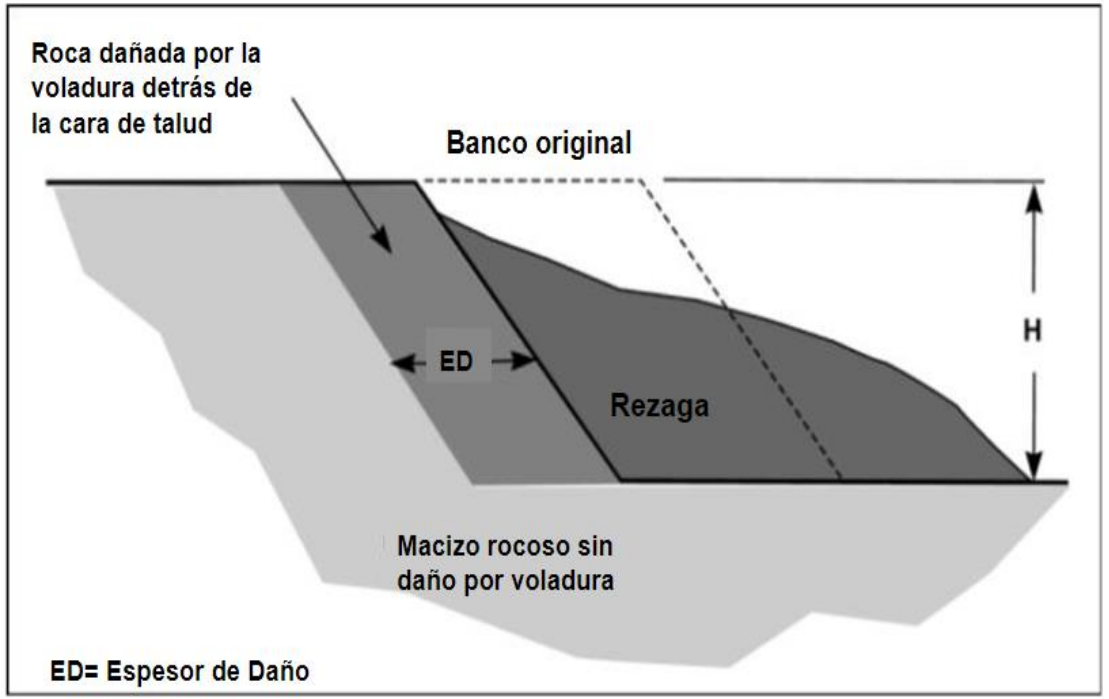


*Figura 1. Resultado de la voladura en la roca (*Valdés, M., & Jara, M.*, 2023)*

Sección en campo

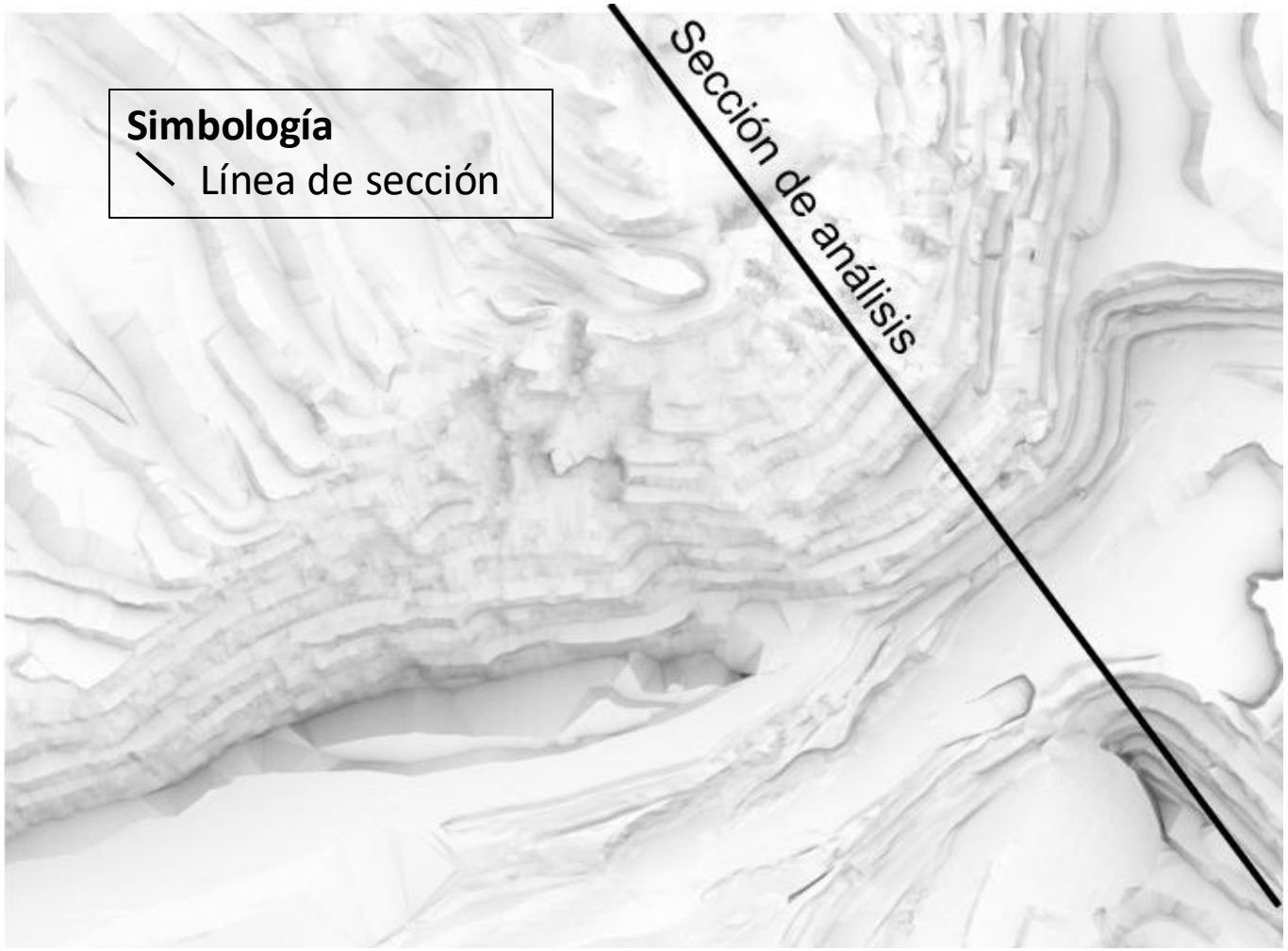


Figura 2. Sección en campo del área de estudio. (2024)

Representación del área de estudio en campo, identificación y toma de datos

Sección geológica en AUTOCAD

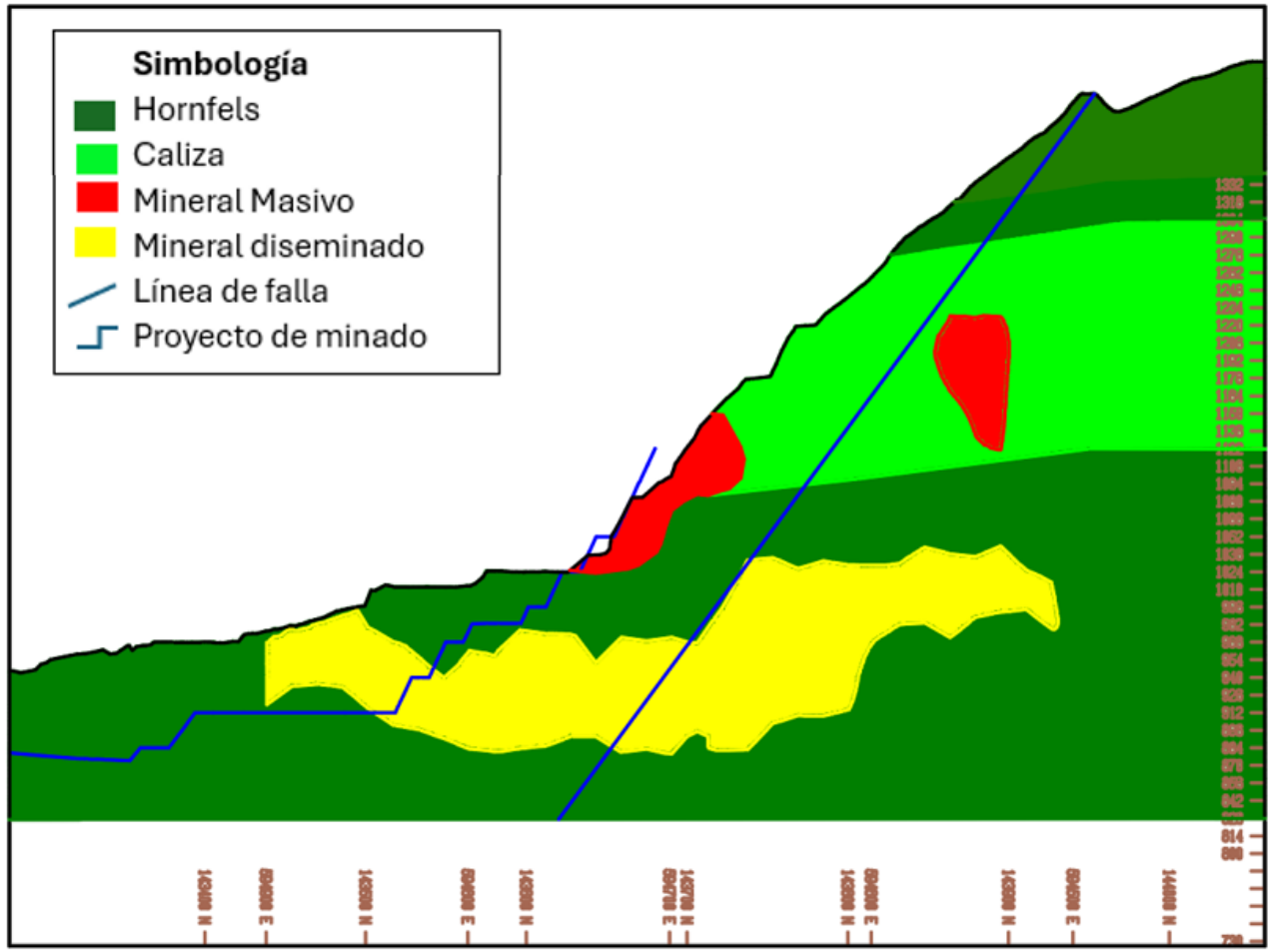


Figura 4. Sección geológica de estudio dibujada en AUTOCAD (2024)

Calibración de datos RSData

Con el uso de software RSData se calibraron los datos de campo y laboratorio.

Se emplea el criterio de rotura de Hoek-Brown como se muestra en la *figura 5.*

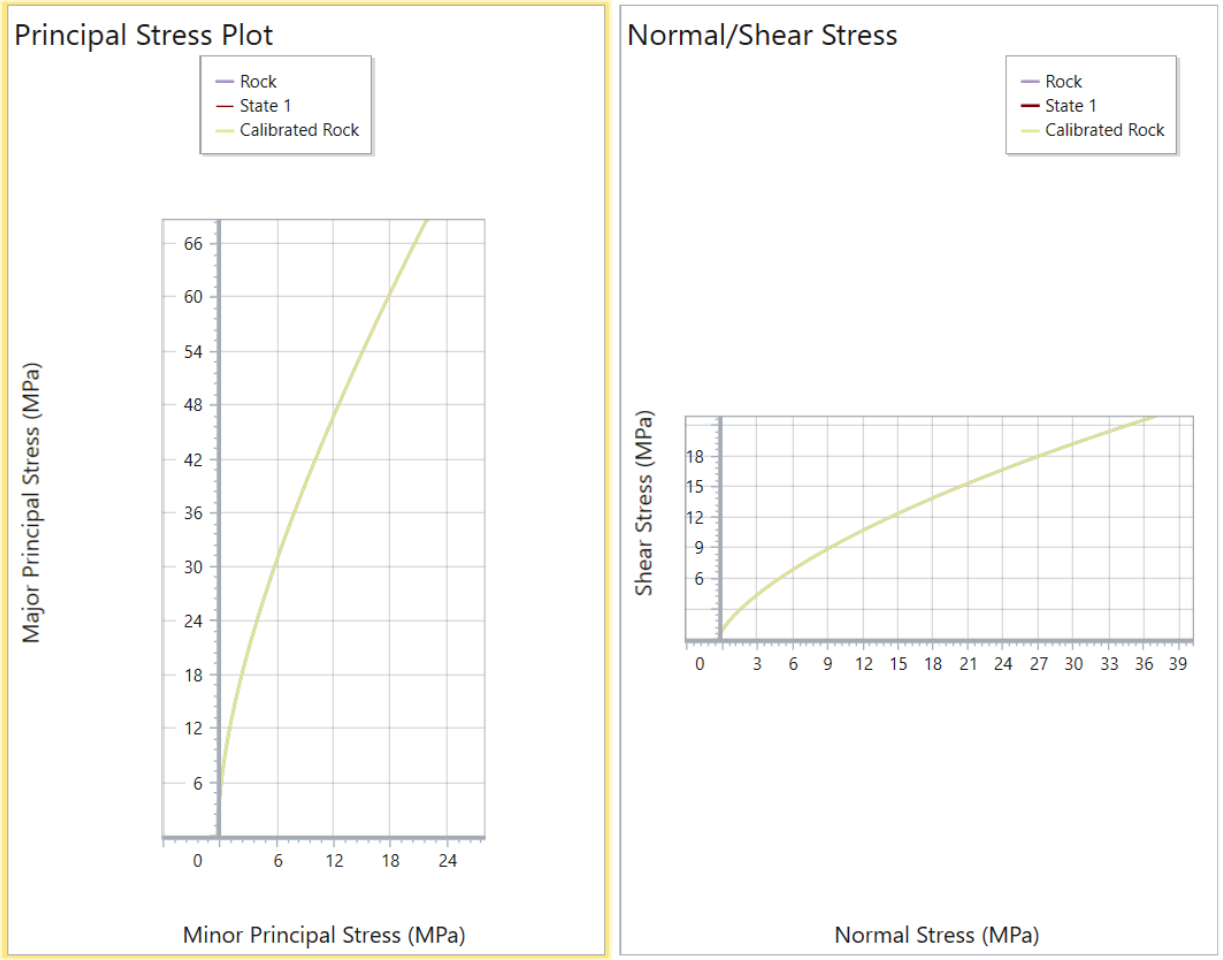


Figura 5. Calibración de datos con uso de software RSData. (2024)

Datos geotécnicos

Hornfels

UCS [Mpa]	65
GSI	50
mi	14
D	0.7

Caliza

UCS [Mpa]	88
GSI	57
mi	12
D	0.7

Mineral Masivo

UCS [Mpa]	71
GSI	67
mi	18
D	0.7

Mineral Diseminado

UCS [Mpa]	57
GSI	50
mi	17
D	0.7

En el caso de los datos de Ru (Coeficiente de porosidad) y porosidad (*) se consideran datos base generales ya que no se cuenta con mediciones, pero son consideraciones que se deben tener dentro del modelo.

Ru	0.1
Porosidad	0.5

Datos Geotécnicos Dinámicos

Hornfels

σd [Mpa] 560
Ermd [Mpa] 8062.2577
Vrm 0. 25

Caliza

σd [Mpa] 758
Erm [Mpa]
14035.9346
Vrm 0.23

Mineral Masivo

σd [Mpa] 612
Erm [Mpa] 22419.6679
Vrm 0.22

Mineral Diseminado

σd [Mpa] 491
Erm [Mpa] 424.5584
Vrm 0.25

*Para el mineral diseminado no se cuenta con datos de GSI

Sección RS2

Modelo en software RS2, agregando las restricciones de desplazamiento, así como la malla de estudio, *tal como se observa en la Figura 6.*

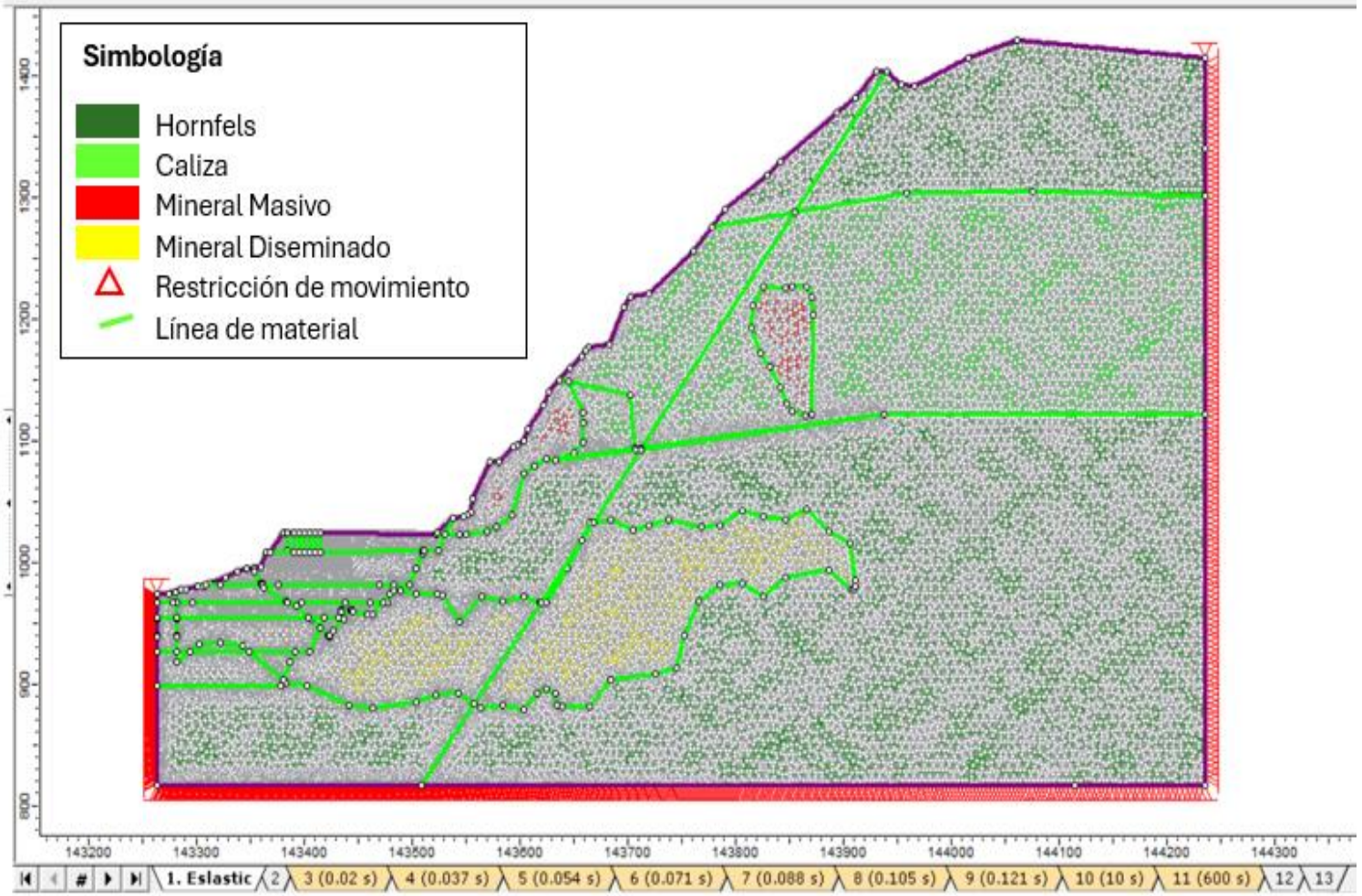


Figura 6. Sección geológica en software RS2 con enmallado (2024)

Etapas del modelo en RS2

Etapa 1

Etapa 2

Estáticas

Etapa 3 (0.002 s)

Etapa 4 (0.019 s)

Etapa 5 (0.036 s)

Etapa 6 (0.053 s)

Etapa 7 (0.07 s)

Etapa 8 (0.087 s)

Etapa 9 (0.104s)

Etapa 10 (0.3 s)

Dinámicas

Etapa 11

Etapa 12

Etapa 13

Estáticas

¿Qué están simulando?

¿Por qué son dinámicas?

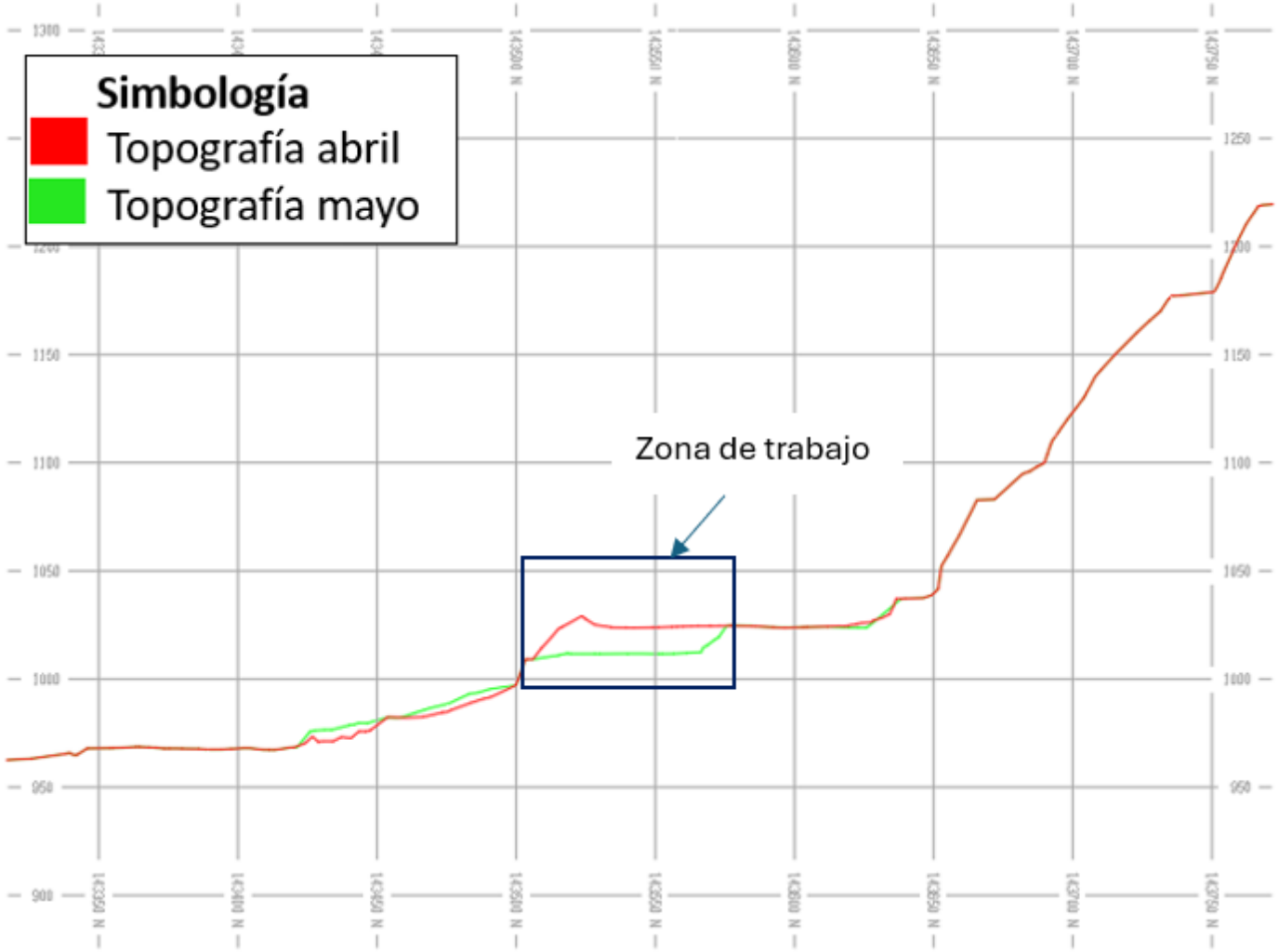


Figura 8. Topografía del área de los meses de abril-mayo . (2024)

Sección RS2

La topografía modelada corresponde al mes de abril. El avance que se tiene al mes de mayo consistió en dos voladuras en el nivel 1024 como se observa en la *figura 8.*

Características de explosivos

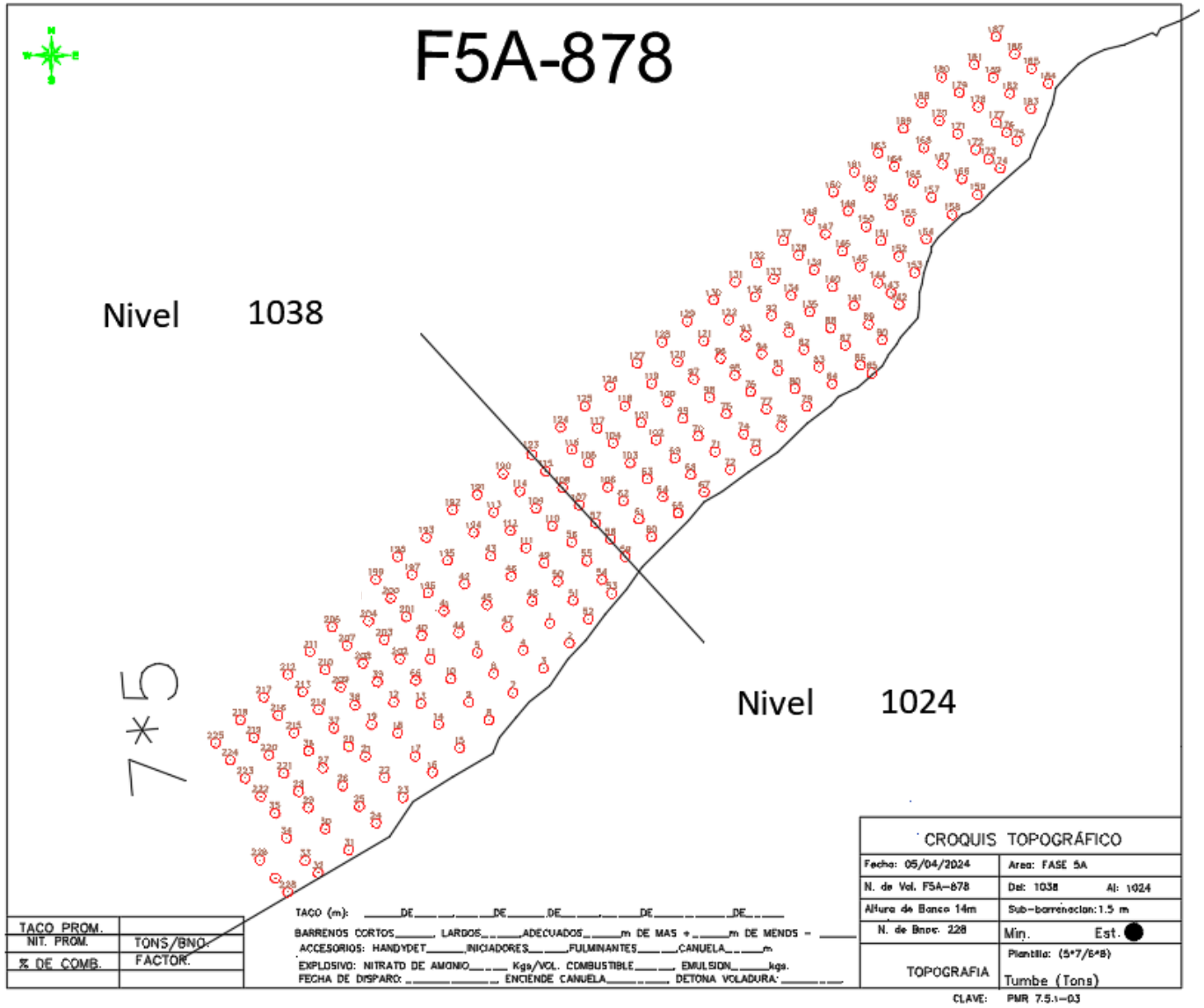


Figura 9. Plantilla de barrenación con sección de estudio. (2024)

L a platilla de barrenación consta de:

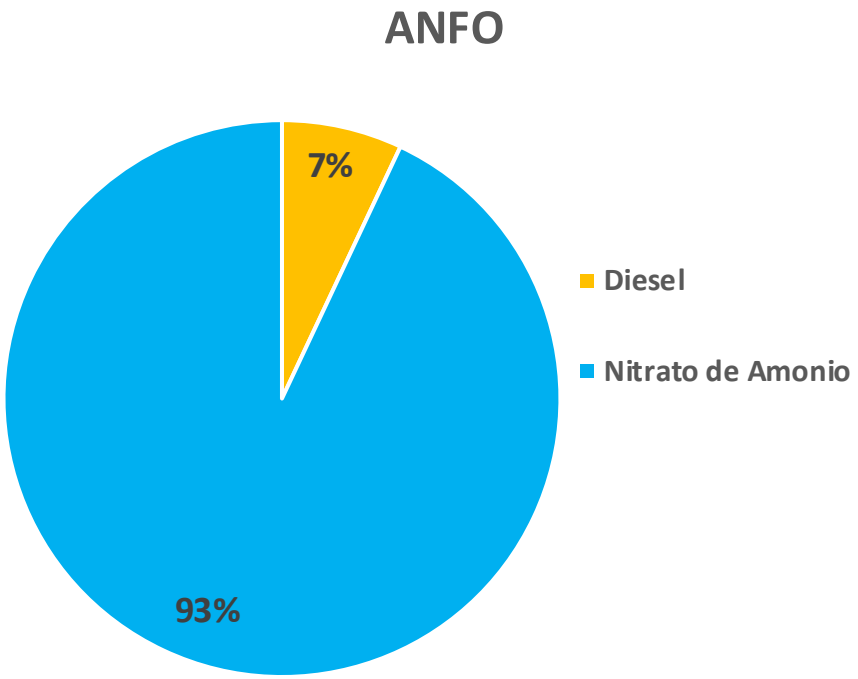
- Bordo 5 m
- Espaciamiento 7 m

Compuesta por 228 barrenos

En la *figura 9* se observa la línea de barrenos modelada que pasa por 7 barrenos 123,115,108, 107, 58, 59

Características de explosivos

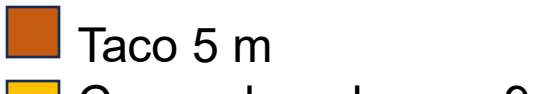
El explosivo empleado tiene las siguientes características:



Densidad de	.8 g/cc
Carga explosiva	345.21 kg
Carga explosiva de cresta	290.36 kg

0.1625 m
VOD = 4082.12

- Diámetro de 9”- 0.2266m
- Sub- barrenación 1.7 m



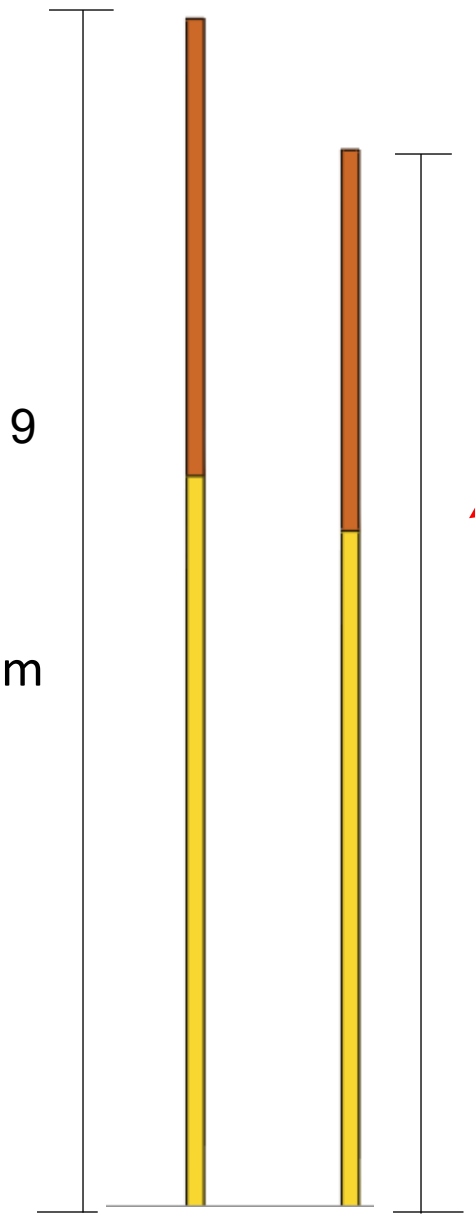


Figura 10. Diagrama de cargado de barrenos (2024)

Funcionamiento de explosivos

Tiempo de subida [tr] + Tiempo de bajada [td] = Tiempo total de explosión

Se emplea la ecuación de caída de presión de detonación de explosión para modelar el comportamiento en función del tiempo como se observa en la *figura 11.*

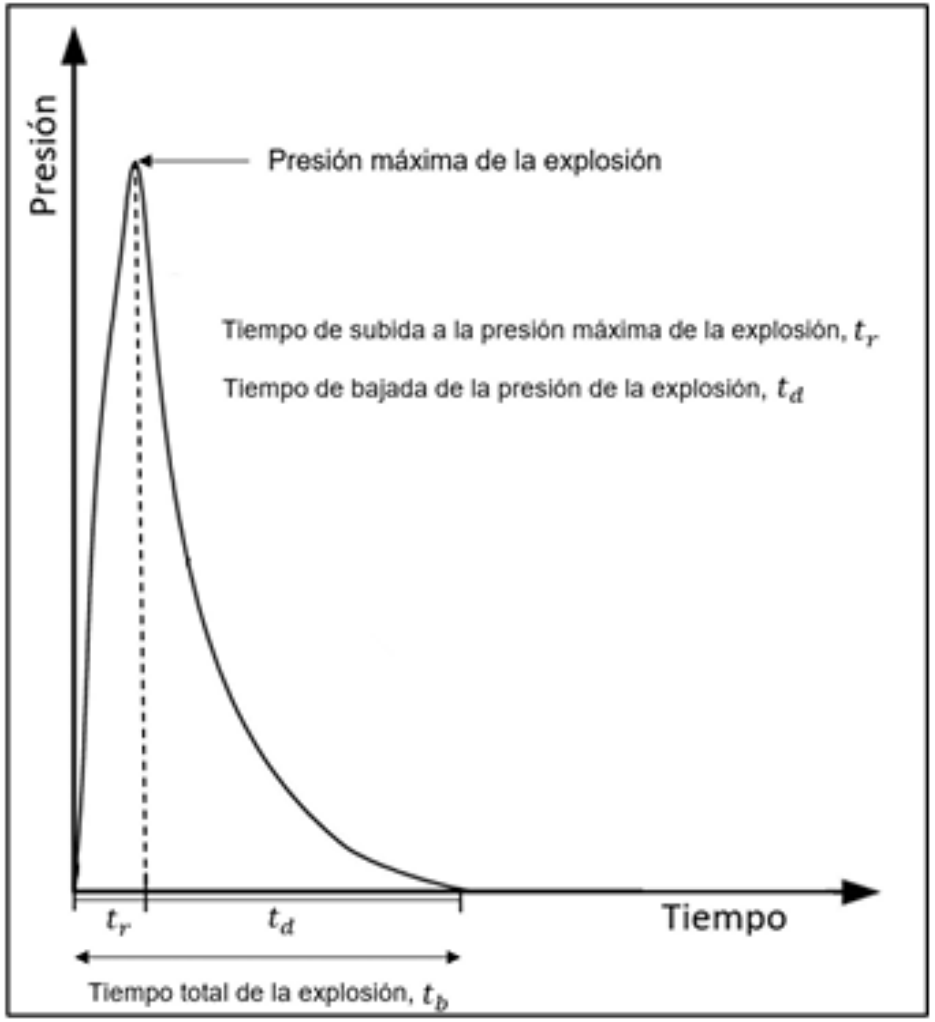


Figura 11. Componente de curva de presión- tiempo del explosivo . González, H. (2022)

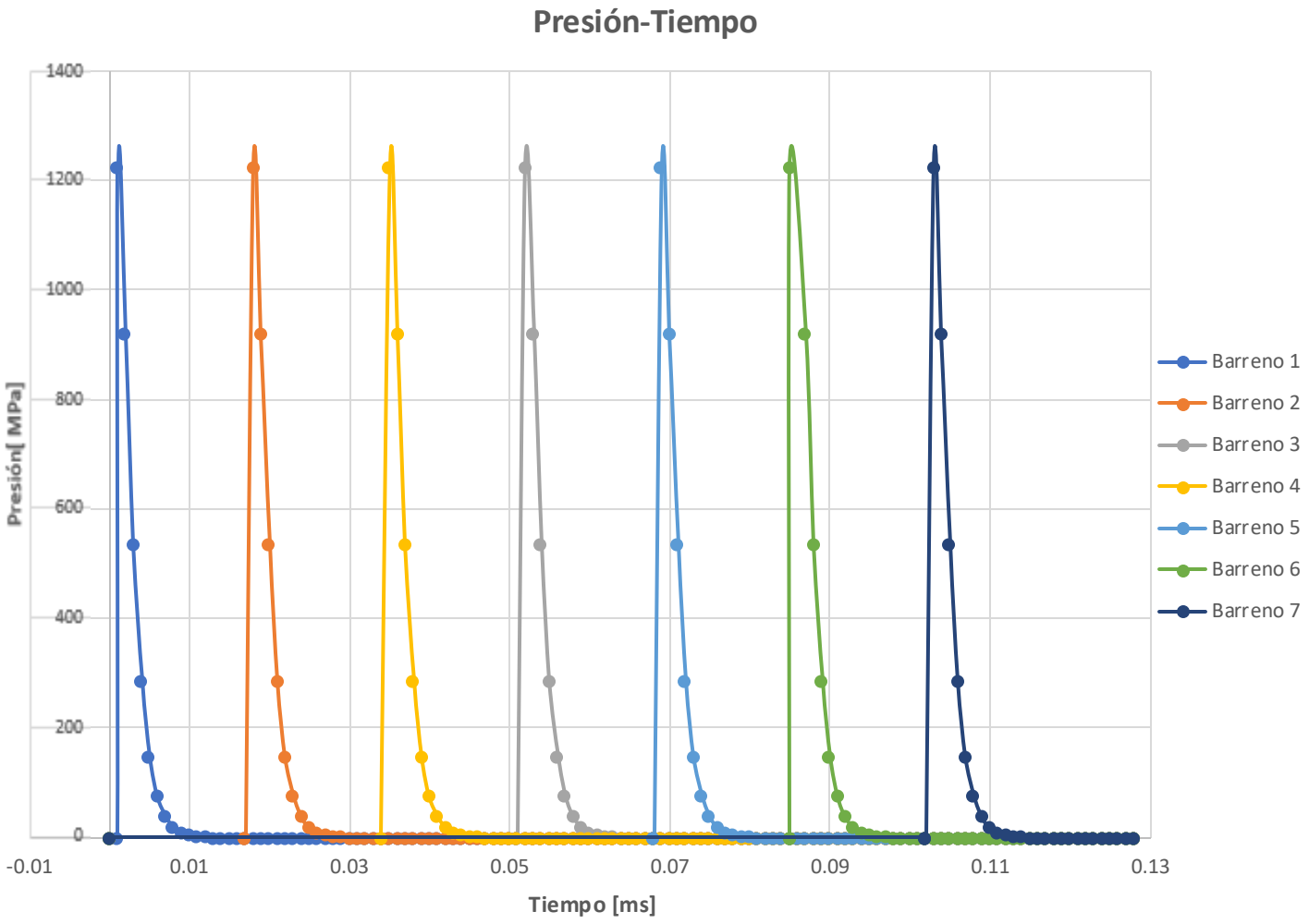


Figura 12. Grafica de comportamiento de la presión de explosión en función del tiempo . (2024)

Explosivos

Se determinó la presión de explosión para cada barreno.

Se consideraron los retardos de 17 [ms] para obtener las presiones máximas de explosión.

Distribución de esfuerzos

F → fuerza distribuida

La fuerza distribuida a lo largo de todo el barreno como se observa en la *figura 13.*

A partir del análisis de propagación de onda se determina:

- Factor de amortiguamiento 5.05
- Alpha 0.55
- Beta 0.002

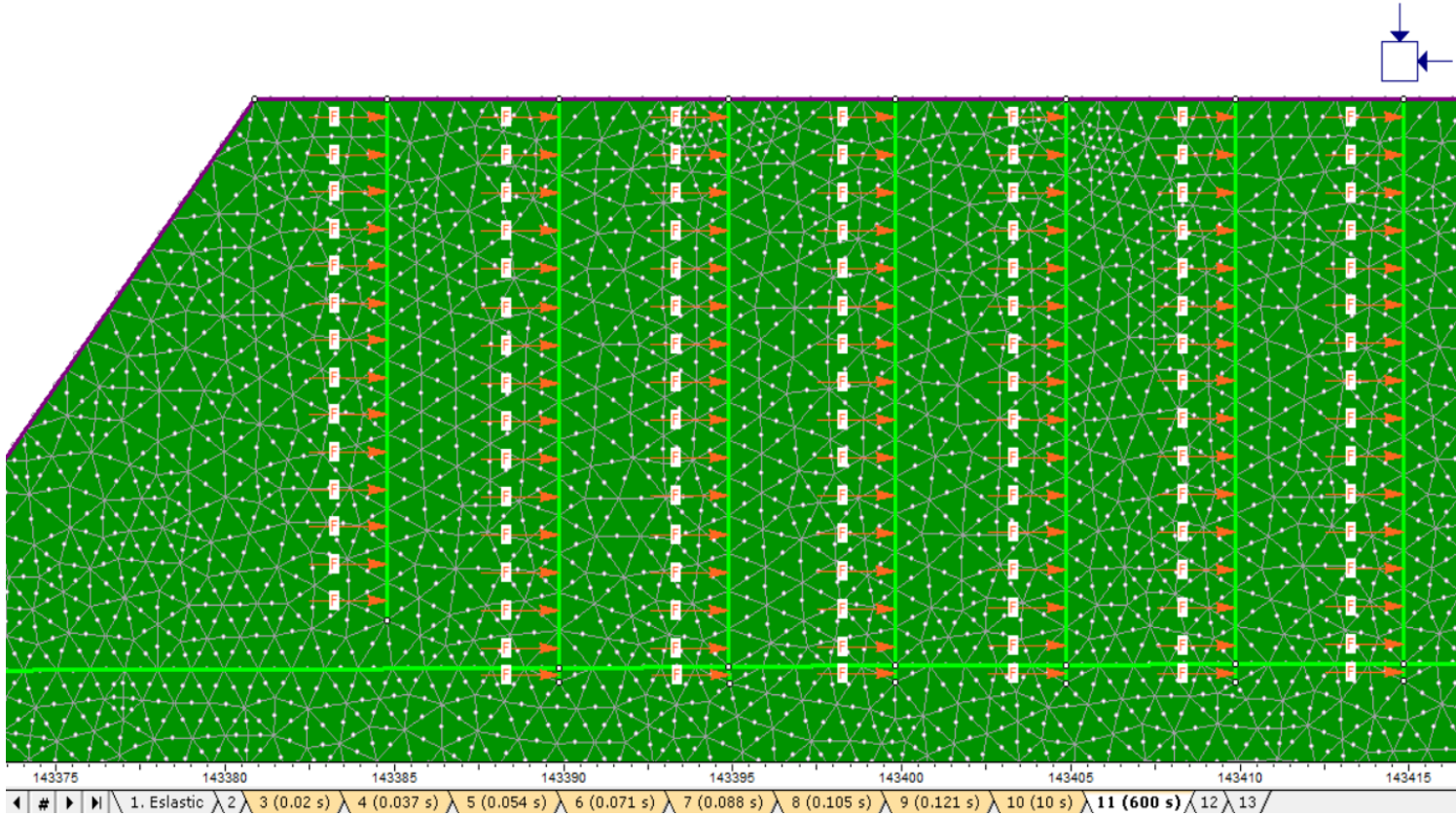


Figura 13. Fuerza distribuida en barrenos de voladura . (2024)

Proceso de modelo

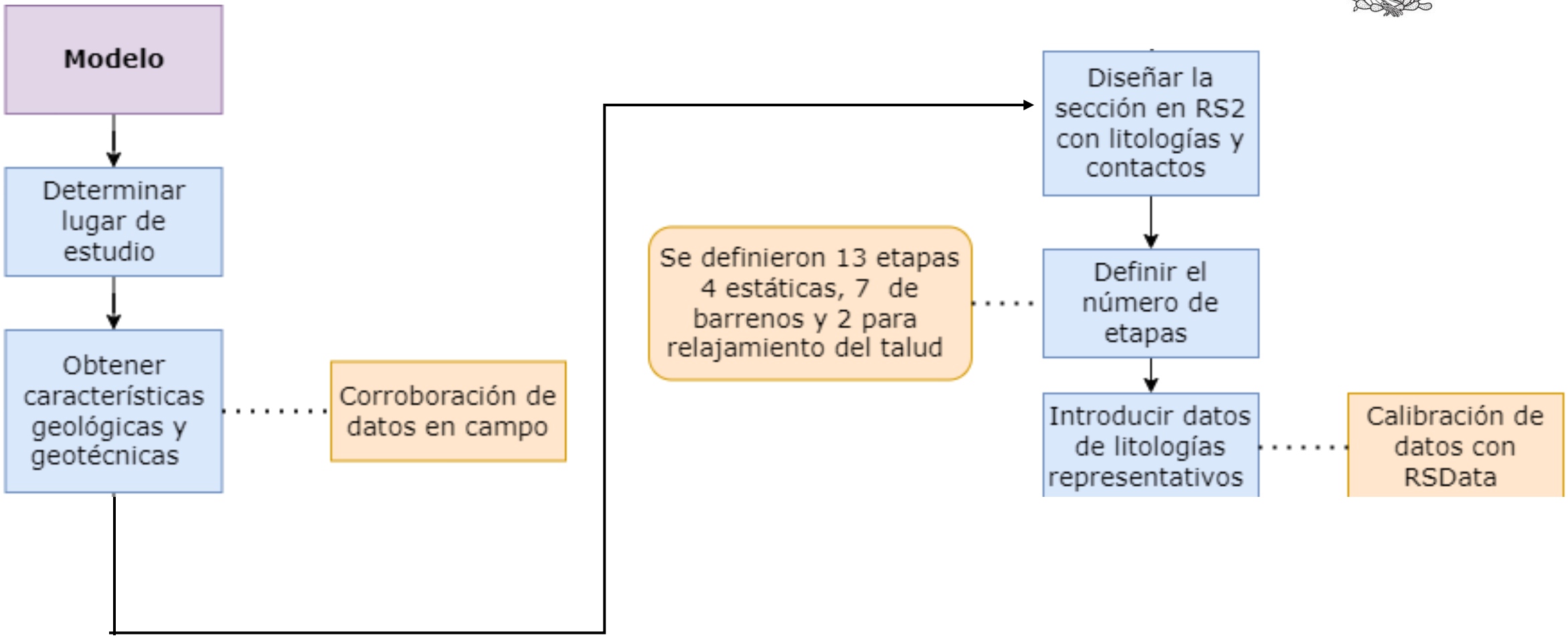


Figura 14. Modelo . (2024)

Proceso de modelo

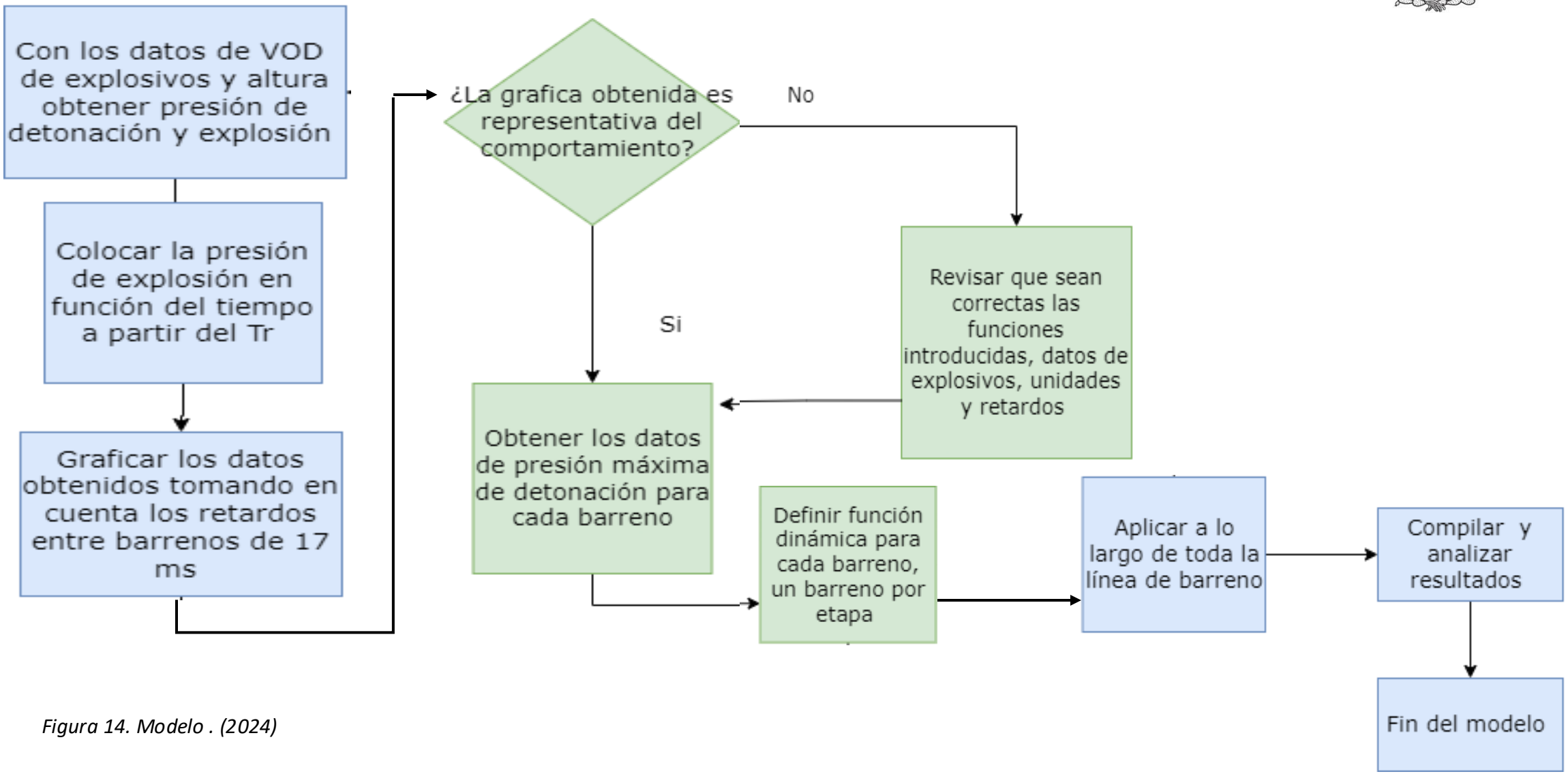


Figura 14. Modelo . (2024)

Resultados

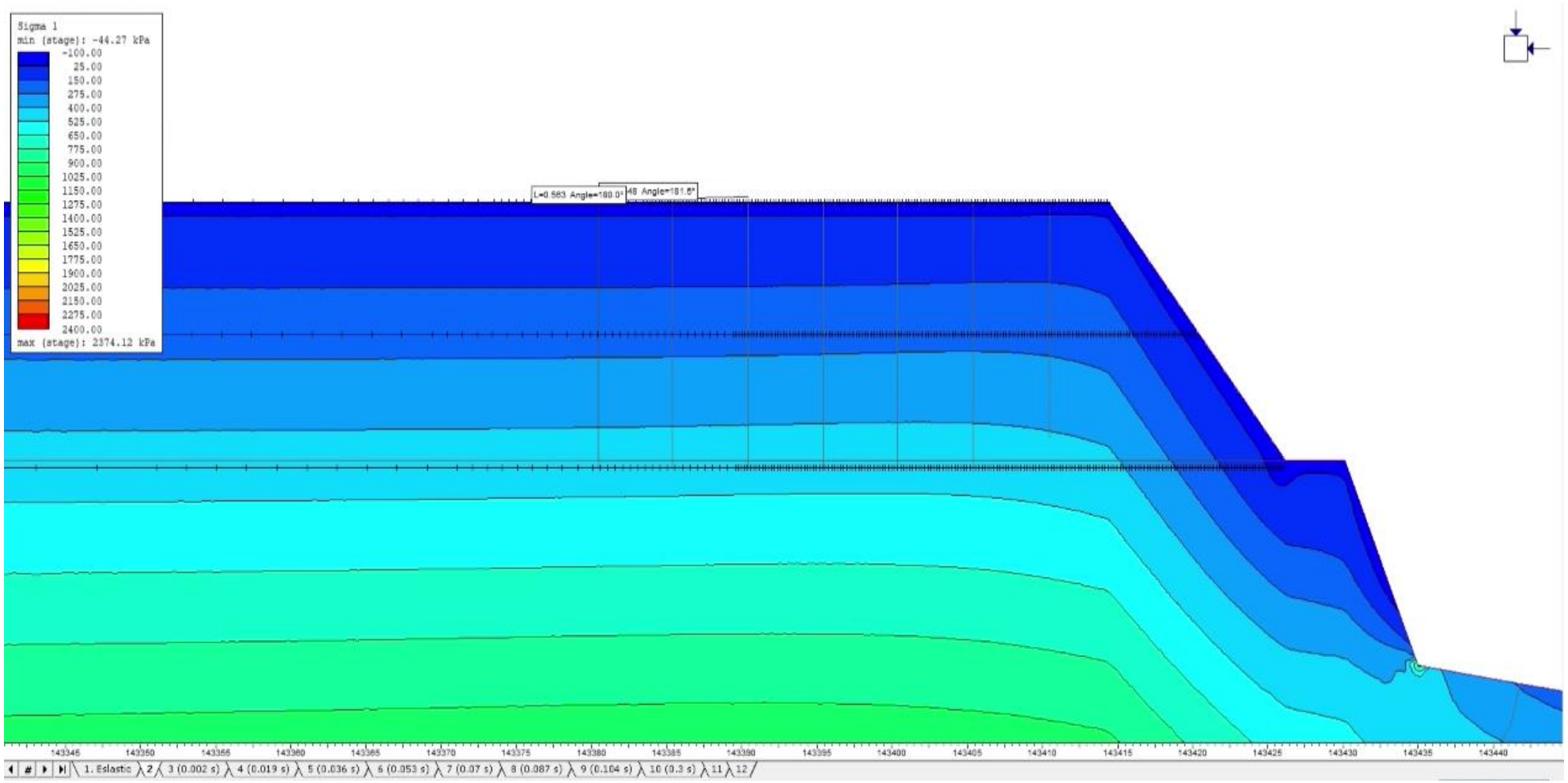


Figura 15. Visualización del proceso de voladura . (2024)

Resultados

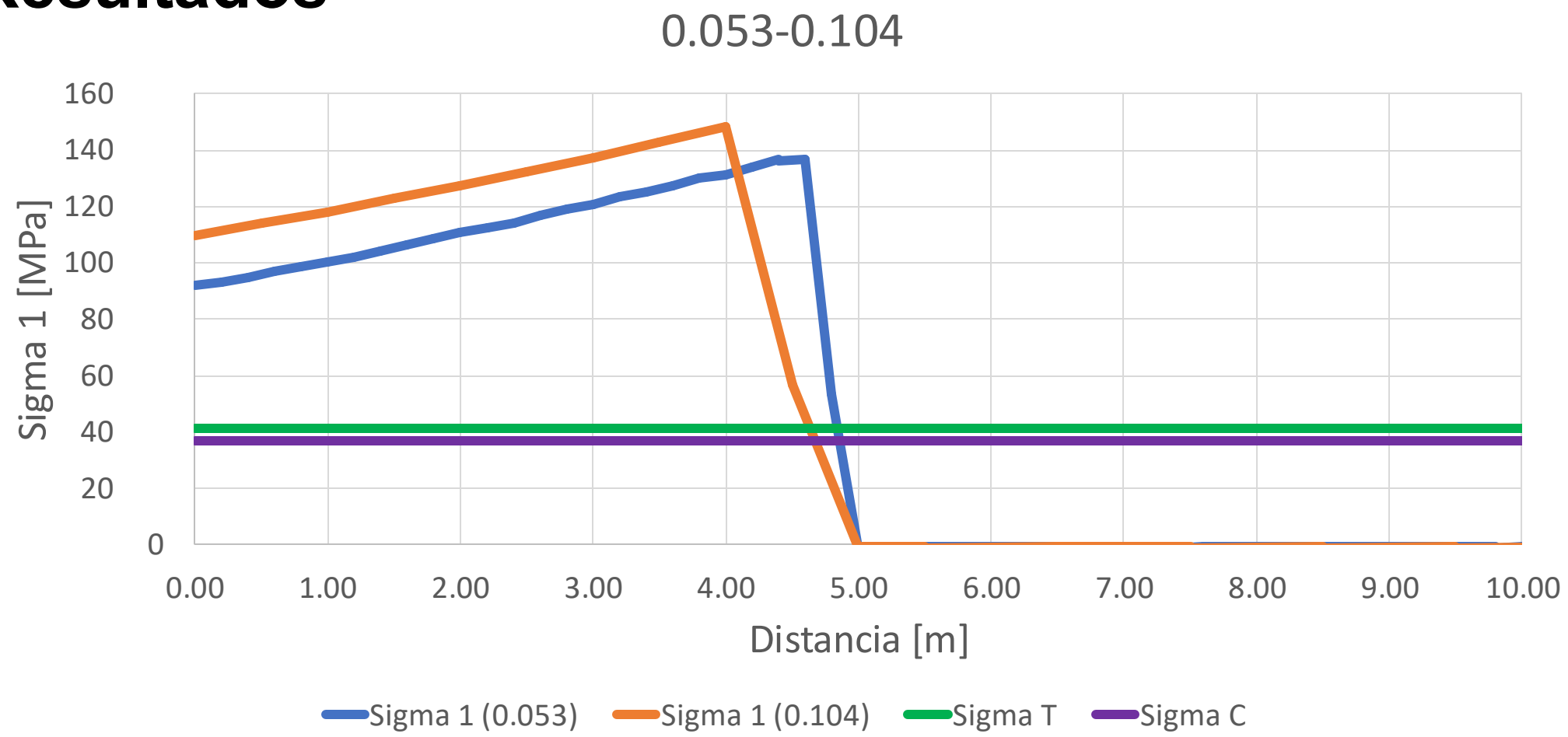
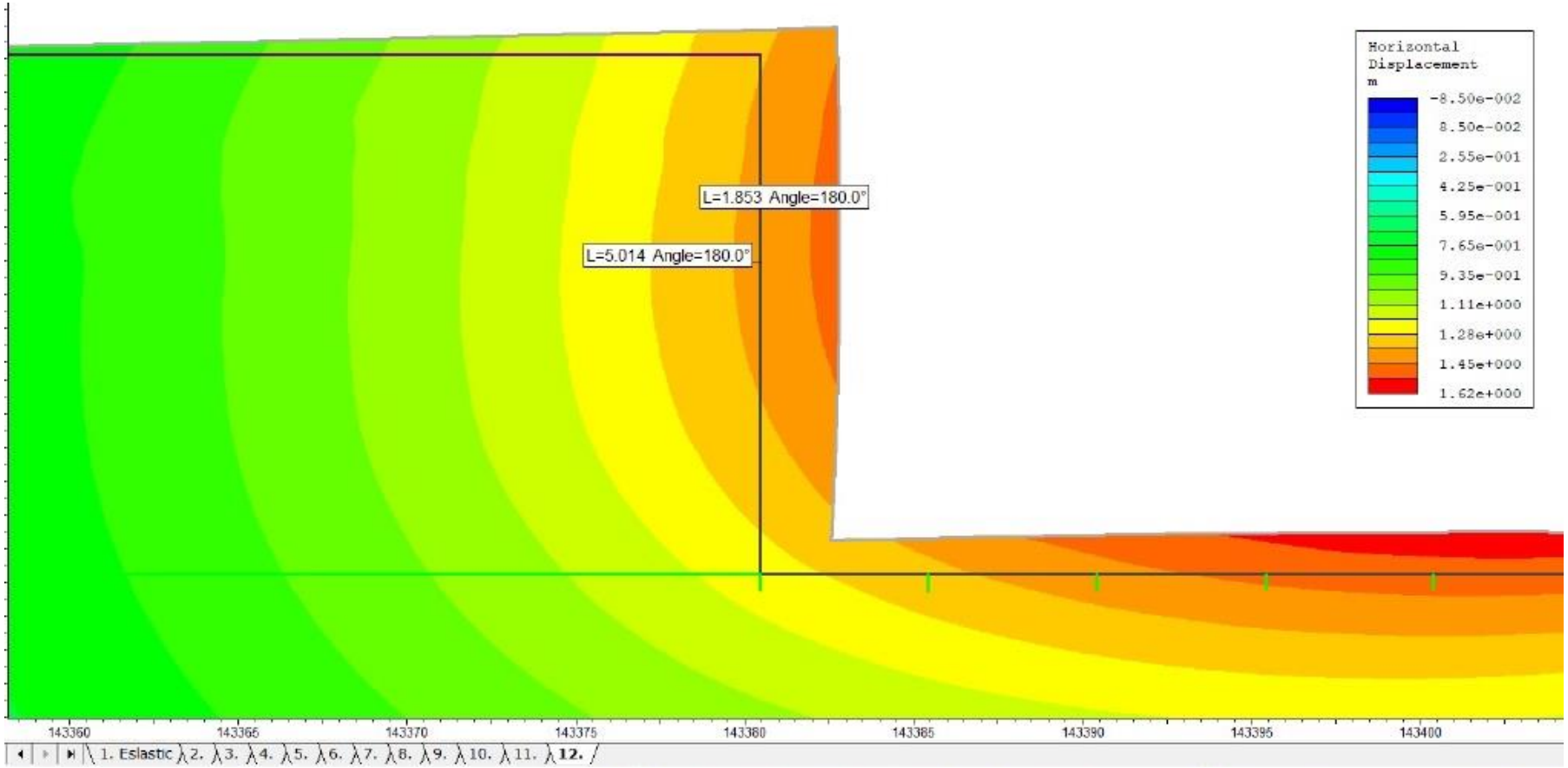


Figura 15. Determinación de la distancia de daño por voladura . (2024)

El espesor de daño resultado es de 5 m

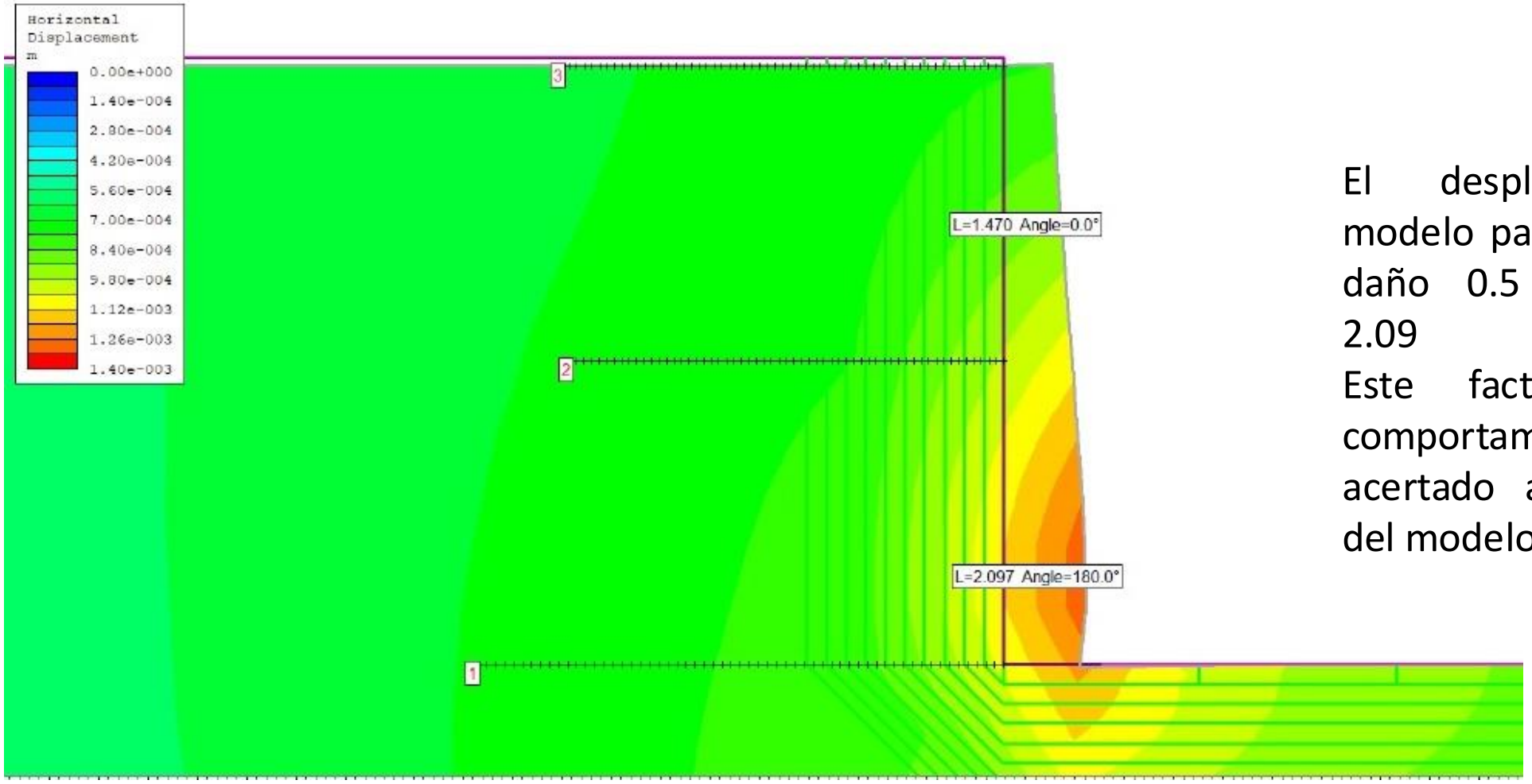
Resultados



El desplazamiento a partir de los resultados obtenidos del modelo corresponde a 1.85

Figura 14.Desplazamiento del modelo . (2024)

Resultados



El desplazamiento del modelo partir del factor de daño 0.5 corresponde a 2.09

Este factor mostro el comportamiento mas acertado a los resultados del modelo.

Figura 16. Resultados obtenidos del modelo a partir del desplazamiento horizontal generado . (2024)

Resultados

El factor de seguridad obtenido a partir de un 0.5 de daño corresponde a 4.11

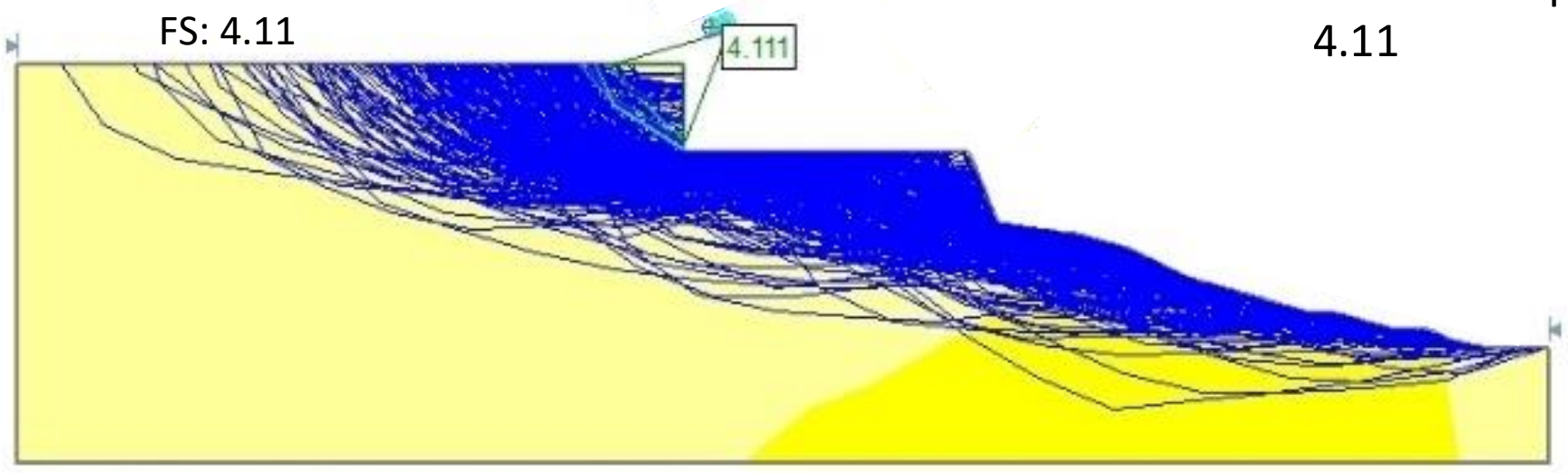


Figura 17. Determinación de factor de seguridad . (2024)

Conclusiones

El análisis numérico mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF) permitió estimar de manera eficiente el espesor de daño inducido por voladura en macizos rocosos, así como el valor representativo del factor de disturbancia (D). Los resultados obtenidos indicaron un espesor de daño de aproximadamente 5 metros y un valor de D igual a 0.5, los cuales fueron integrados en un análisis de estabilidad del talud posterior a la voladura. Este enfoque permitió obtener un Factor de Seguridad adecuado (FS=4.11), validando así la utilidad del modelo propuesto.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a la empresa minera por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto, el apoyo que me brindaron, así como la confianza, las herramientas, la información, el acceso, entre todas las cosas que aportaron a mi desarrollo profesional, Al Ing. Juardith Moncada Cartaya, a mi responsable dentro de la unidad Ing. Eduardo Jiménez Avalos, a mi asesor el M.I Hazel Fernando González Rendon, al Ing. Cesar Ibáñez Herrera por compartir el proyecto y a la Facultad de Ingeniería por permitirme el uso de los equipos quien a demás se encargó de mi formación en el área de la Ingeniería.