

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

Tronadura confinada para acondicionamiento de macizos rocosos.

Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas

Por:

Alfredo Rivera García

Profesor guía: Raúl Castro Ruíz

Santiago de Chile – Marzo 2008

Tesis con restricción de acceso en línea, según petición de su autor.

Miembro de la Comisión: Víctor Encina Montenegro y Jaime Chacón Fernández

Resumen . .	4
Texto con restricción . .	6

Resumen

El Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia IM2 S.A. filial Codelco y la Universidad de Chile participan en esta memoria de título, que trata del protocolo y del diseño de la tronadura confinada (sin cara libre) para el acondicionamiento de macizos rocosos que se quieran explotar mediante los métodos de hundimiento (block o panel caving).

El protocolo describe las actividades que se deben considerar para realizar el acondicionamiento de manera estándar. El protocolo involucra actividades previas tales como caracterización del macizo, diseño de la tronadura, perforación de pozos, manejo de explosivos y aspectos de seguridad.

El diseño contempla, en primer lugar la caracterización del macizo rocoso: estructuras, módulos de Poisson y de Young, velocidad de transmisión de ondas sísmicas, esfuerzos a los que está siendo sometida la roca, RQD, RMR, Q de Barton, etc. Para ello se presenta la mayoría de las fórmulas utilizadas en minería para evaluar y caracterizar los macizos rocosos.

También se requiere seleccionar el explosivo, el cual posee una velocidad de detonación característica, el que a su vez conforma una relación única entre ese explosivo y el macizo rocoso, determinando la velocidad de las ondas producidas por la tronadura.

Se analizaron varios modelos de ondas producidos por la tronadura, entre ellos los modelos basados en los diagramas de Lagrange, los cuales no son un aporte desde el punto de vista de la ingeniería, ya que posee poco soporte físico y matemático. Por otro lado se estudió la solución cerrada presentada por N. Kouzniak y H. P. Rossmannith para los esfuerzos, la cual no pudo ser implementada en Matlab en forma completa, sólo se logró programar una parte de ella, por lo que queda abierta la posibilidad de continuar con el estudio de este modelo. Finalmente se utilizaron los modelos basados en la ecuación de ondas propuestos por H. P. Rossmannith, los que fueron modelados en el software Comsol, obteniendo buenos resultados, tanto cualitativa como cuantitativamente.

Utilizando estos modelos introducidos en Comsol se logró simular la tronadura de un pozo, con las mismas condiciones de una prueba de acondicionamiento realizada por Codelco en la División Andina el año 1999, el cual posee registros de la Velocidad Peak de Partícula, medida con geófonos y representadas en una serie de gráficas. Dado que Comsol permite obtener los resultados que uno necesita, se obtuvieron estas mismas gráficas y se observó el comportamiento del modelo en función de una serie de variables. Con este análisis se logró proponer una serie de factores de ajuste, con un criterio basado en el mínimo error de los datos simulados con respecto a los datos reales. Además se justificaron los supuestos planteados y se discutió su influencia en los resultados, con el objetivo de obtener una mejor simulación de la tronadura. Con los esfuerzos asociados a las ondas de tronadura, su posición en función del tiempo, se puede determinar la distancia entre los pozos. Para tales efectos se propone una distancia mínima de 0,5 [m], que es la zona donde predominan los efectos de los esfuerzos de compresión asociados a la tronadura.

Finalmente, se propone como criterio de diseño, aquel lugar geométrico donde la magnitud de los esfuerzos de tracción producidos por el acople de ondas sea mayor o igual

al valor de la resistencia a la tracción de la roca, con un cierto factor de seguridad. Esta es una primera aproximación para el diseño de una tronadura confinada.

Texto con restricción

Tesis con restricción de acceso en línea, según petición de su autor.