PLANIFICACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN EN LAS VOLADURAS A CIELO ABIERTO

Mario Ernesto Ordoñez Mejía [1], Carlos Aníbal Ramírez Torres [2],
Ing. Gaston Proaño Cadena, MsC [3]
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra [1] [2] [3]
Escuela Superior Politécnica del Litoral [1] [2] [3]
Km. 30,5 Vía Perimetral, 09-01-5863, Guayaquil-Ecuador [1] [2] [3]
meordone@espol.edu.ec [1], caramire@espol.edu.ec [2], gproano@espol.edu.ec[3]

Resumen

En la presente tesina de seminario de graduación se realiza la predicción de la fragmentación de las explotaciones a cielo abierto, ejemplicado en Calcáreos HUAYCO Guayaquil, la falta de aplicación de los diferentes métodos de predicción de la fragmentación de material volado en las diferentes canteras del Ecuador, específicamente de las canteras aledañas a la ciudad de Guayaquil y los grandes beneficios derivados de un control de la fragmentación en las voladuras nos ha incentivado a desarrollar un procedimiento simple para el control de la fragmentación. Para este trabajo requerimos los siguientes datos, Geología y propiedades físico mecánicas del macizo a estudiar, Método de cálculo para el desarrollo de la malla de voladura, Método de Cunningham para obtener el Factor de roca "A", Desarrollo de las ecuaciones del método KUZ RAM seleccionado para este caso práctico.

Palabras Claves: *Malla de Perforación, Altura de Banco, caracterización de Macizo, Factor "A" de Cunningham, Método KUZ RAM.*

Abstract

In this seminar graduation thesis the prediction of the fragmentation of the open pit mines, We have taken Calcareos Huayco quarry like a example , the lack of application of different methods of predicting the fragmentation of material flown in different quarries of Ecuador specifically from quarries near the city of Guayaquil and the great benefits of control of fragmentation in the blasting has prompted us to develop a simple procedure to control fragmentation. For this work we require the following data, geology and physical properties of solid mechanics to study, method of calculation for the development of grid blasting method of Cunningham to get the rock factor A, Development of equations of the method KUZ RAM selected for this case of study.

Key words: *Drilling mesh, height Bank, characterization of the rock Mass, factor "A" Cunningham, Method KUZ RAM*

.

1. Introducción

Los avances presentados en el diseño de las mallas para voladura, son avances desarrollados a partir múltiples pruebas realizadas y cuyos resultados son ajustados a ecuaciones matemáticas.
La predicción de la fragmentación del material volado ha sido motivo de estudio y prueba de algunos personajes tales como Kuznetsov, Rossin Rambler, Formula de SVEDEFO, DINIS DA GAMA y modelos computacionales resultado de iteración de ecuaciones.
El avance tecnológico de la maquinaria de carga, el uso cada vez mas imperativo de bandas transportadoras y el hecho de que el 40% de los costes de explotación son debido a costes de energía por plantas de procesos (trituración y molienda), dan una gran importancia a los estudios y la aplicación de ecuaciones en proceso de explotación de canteras para poder predecir la fragmentación (tamaño medio) del material volado evitando las voladuras secundarias y excesos de energía en la trituración.
Este estudio tiene la finalidad establecer los procesos y métodos de predicción ya que en nuestro medio existe mucho informalismo y a la vez están por abrirse proyectos de gran magnitud en el ámbito minero y es necesario la adaptación al desarrollo y poder aplicar estos métodos teniendo en cuenta las propiedades de las rocas, la caracterización del macizo rocoso, el correcto diseño de la malla de perforación y por consecuencia pronosticar la fragmentación.

2 Objetivos:

OBJETIVO GENERAL.

- establecer un procedimiento para el diseño de mallas de voladura y predicción de la fragmentación.

Objetivos específicos

- determinar el tipo de roca y sus propiedades físico mecánicas de la zona de explotación de la cantera huayco.
- determinar el sistema de fracturas del macizo, rumbo y buzamiento de las familias de diaclasas.
- diseñar una malla de voladura aplicada a la zona.
- determinar el factor de roca “a” para el uso del modelo kuz-ram de predicción.
- aplicar el modelo kuz-ram considerando una fragmentación media constante ejemplificado en canteras huayco.

3 Metodología:

Para la realización de la siguiente tesis es necesario seguir la siguiente metodología:

1. Para este trabajo es requerido obtener un marco de referencia confiable y seguir los procedimientos para aplicación de las ecuaciones.
2. Procederemos a investigar información geológica y físico mecánica del macizo.
3. Estableceremos el índice de Volabilidad (factor de roca) por medio de los métodos propuestos por Cunningham.
4. Desarrollaremos una malla de voladura previa según KONYA, para posterior análisis de predicción.
5. Estableceremos una fragmentación media constante para desarrollo de las ecuaciones y correcciones de la malla original de voladura.

4 Marco Conceptual

En el área objeto de estudio, se encuentran aflorando tres formaciones geológicas, las mismas que estratigráficamente se presentan en el siguiente orden.

- Formación Las Masas.
- Formación San Eduardo.
- Formación Guayaquil.

Formación las Masas

Esta formación en el contexto geológico regional, se encuentra en la parte superior de la columna estratigráfica, siendo por lo tanto, la formación más joven que aflora en nuestra área de estudio, sin embargo, debido a procesos de levantamientos orogénicos de carácter tectónico – estructurales, en esta área la formación las masas se la observa en la parte baja de los cortes, aflorando en las partes sur y por lo general se ubica fuera del límite de la concesión minera.

Litológicamente está constituida por rocas de tipo Limonitico a limonito – tobaceo, de color gris claro cuando està fresca a pardo amarillenta, cuando se encuentra alterada debido a procesos de meteorización. Tienen textura fina, con capas delgadas limo arcillosas con potencias de 0,02 – 0,05 m.

Las capas de las rocas limoniticas tienen diámetros que van desde 0,02 a 0,40 m. y se encuentran muy diaclasadas, favoreciendo el proceso de alteración hipergenica. Su estratificación no se presenta muy uniforme.

La edad de esta formación es Mioceno Medio Superior y se encuentra suprayaciendo concordantemente a las rocas de la Formación San Eduardo.

3.1.2 FORMACION SAN EDUARDO

Las rocas que conforman la formación San Eduardo, son de carácter eminentemente calcáreo, estando constituidas generalmente por calizas, las mismas que a nivel regional descansan sobre la formación Cayo y subyacen a la formación Las Masas.

Regionalmente las Calizas San Eduardo están bien desarrolladas a lo largo del sur de la cordillera Chongón Colonche y se encuentran orientadas casi de Este a Oeste, ubicándose geológicamente al Oeste de la ciudad de Guayaquil.

Presentan un buzamiento promedio de 30º - 32º hacia el S – SE, con lo cual los afloramientos se extienden en su ancho superficial entre 350 a 400 metros y ocupan casi el 90% del área de trabajo, constituyendo el recurso de mayor interés minero dentro del sector.

Litológicamente está constituido por calcilutitas, calcarenitas, margas y calizas intraclasticas, de coloración variable, desde crema hasta gris claro, con presencia abundante de microfósiles i sílice de nódulos, lentes y capas.

La edad de esta formación es Eoceno Medio y su contacto inferior con la Formación Guayaquil, es de carácter discordante, siendo su contacto superior, con las Formación las Masas, de carácter concordante.

En base a los datos obtenidos de pozos exploratorios, ubicados en distintas partes del área los mismos que han atravesado toda la secuencia estratigráfica que hemos indicado, así como el resultado de los distintos análisis químicos y Litológicos que se han realizado en las muestras obtenidas en estas perforaciones, se han identificado cuatro unidades Litológicas, las mismas que en determinados sitios del yacimiento son fácilmente reconocibles por sus características externas en los diferentes bancos de explotación. Estas unidades se las ha denominado como U1, U2, U3, U4.

FORMACION GUAYAQUIL

Las rocas que conforman esta Unidad se ubican hacia la parte más elevada del área de estudio y hacia el norte del mapa, supra yaciendo de manera discordante con las rocas de la formación San Eduardo.

Normalmente sus afloramientos más importantes se los observa en el sector nor = oriental del área, en las zonas de los cortes 1 a 4, ya que luego su contacto se proyecta en sentido nor = este hacia las cotas superiores, siendo más difícil su reconocimiento.

Litológicamente están representadas por margas arcillosas y lutitas silíceas de color marrón oscuro a negro, de textura fina y masiva, con intercalaciones calcáreas y capas de calcita y glauconita, observándose incluso sílice diseminada y en capas, nódulos y lentes.

Estas rocas presentan una buena estratificación con capas de pocos centímetros de espesor, pero bien compactas. Su edad es cretacico Superior.

GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

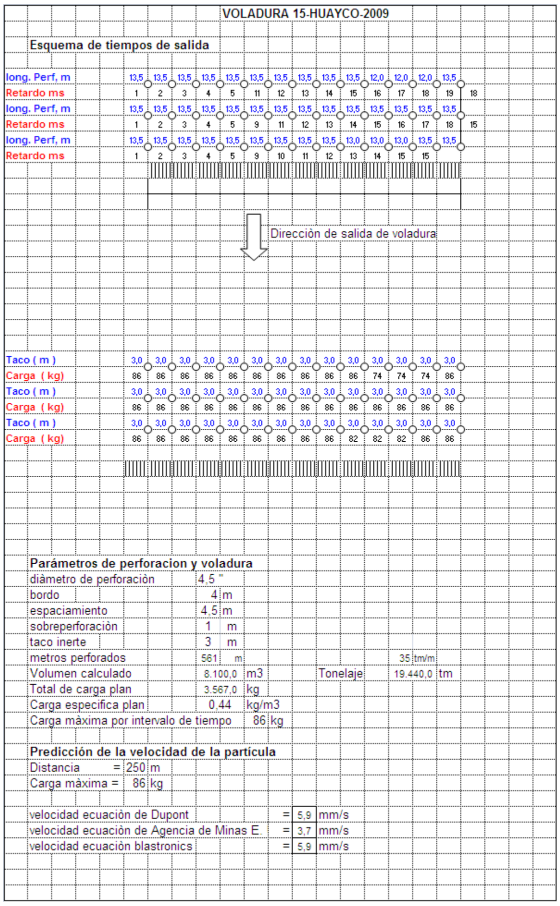
Todas las formaciones litológicas presentes en el área de estudio y descritas anteriormente, tienen una orientación general dada por un rumbo NNE = SSW, la misma que en determinados momentos presenta variaciones locales, originadas por una serie de fallas y fracturas, producto de los procesos tectónicos que originaron el levantamiento del área. En algunas fallas se observa incluso desplazamientos, aunque de carácter algo insignificante para el tipo de formaciones que cortan. Otro tipo de estos fracturamientos, originaron la formación de diversos tipos de pliegues, lo cual permite observar en algunos casos la formación de cúpulas con datos estructurales altamente variables y fácilmente determinables en el campo.
De igual manera, en algunas fallas y/o fracturas, se pueden observar capas que cruzan hacia el norte del área, con sentido contrario a su rumbo y buzamiento, lo cual certifica la presencia precisamente de estas.
La estructura principal del yacimiento está formada por la estratificación y por la presencia de diferentes capas arcillosas intercaladas entre los estratos, los mismos que constituyen planos potenciales de deslizamientos y son este las causas que posiblemente han originado los desplazamientos de potenciales capas de rocas desde las partes altas del yacimiento.
Las principales fallas y fracturas están indicadas en el mapa geológico general así como en los diferentes cortes geológicos, elaborados cada 100 metros para lograr un reconocimiento detallado de las estructuras y la litología del área de estudio.

MALLA DE VOLADURA
Tendremos los siguientes criterios a considerar:
Resistencia a la compresión: 70-100 MPa
La elección del diámetro de los barrenos depende de la producción horaria, o ritmo de la excavación, y de la resistencia de la roca.
Hay que tener presente que los costes de perforación disminuyen en la mayoría de los casos con el aumento de diámetro.
D = 4,5” (114,3mm).
Los cálculos de los parámetros variables de la voladura se realizaran según las ecuaciones de Konya.

$$B = 3{,}15\ Ø_e \times \sqrt[3]{\frac{\rho_e}{\rho_r}}$$

Donde:
B : Burden, en pies
Ǿ : Diámetro de perforación, en pulgadas
Pe : Densidad del explosivo.
Pr : Densidad de la roca.
Explosivo utilizado: ANFO densidad 0,88
El espaciamiento se determina de acuerdo a la siguiente expresión para barrenos de una fila secuenciados:
S = (H+7B)/8
Donde:
H: altura de banco
B: burden
Retacado:
Roca estratificada: 0,7B

DISEÑO DE LA MALLA



MODELO BÁSICO DE PREDICCION

FACTOR “A” Cunningham

Símbolo	Descripción	Valores
A	Factor de Roca	8 a 12
RMD	Descripción de la Masa Rocosa	
	- Desmenuzable / Friable	10
	- Verticalmente Fracturado	*JF*
	- Masivo	50
JF	JPS+JPA	
JPS	Espaciamiento de la fracturas verticales	
	- < 0.1m	10
	- 0.1 a MS	20
	- MS a DP	50
MS	Muy Grande (m)	
DP	Tamaño (m) del diseño de perforación asumido	
	DP > MS	
JPA	Angulo del plano de las fracturas	
	- Buzamiento hacia fuera de la cara	20
	- perpendicular a la cara	30
	- Buzamiento hacia dentro de la cara	40
RDI	Índice de Densidad de la Roca	25 x RD - 50
RD	Densidad (t/m3)	
HF	Factor de Dureza	
	- si y < 50 GPa	HF = y/3
	- si y > 50 GPa	HF = UCS/5
Y	Modulo de Young (GPa)	
UCS	Fuerza Compresiva no Confinada (MPa)	

A = 0,06 (RMD+JF+RDI+HF), / Modulo Young = 29,42 GPa y Pca = 2,4t/m3
Donde:
RMD = JF = 60
JF = 20+40 = 60
RDI = 10
HF = 9,8
A = 8

Existen diferentes escenarios de voladura que pueden evaluarse usando el modelo de fragmentación de Kuz-Ram. Los dos ejemplos considerados por Cunningham (1.983) serán explicados en detalle. La información común a ambas es:

D = diámetro del taladro = 114,3 mm

S/B = relación espaciamiento-burden = 1,13

J= Taco = 0,7 x B (m) = 3

W = desviación del taladro = 0.3 m.

A= constante de roca = 8

P=densidad del ANFO = 880 Kg./m^3

H = Altura de banco =13,5 m.

*3.4.2 **Fragmentación media Constante***

En este ejemplo, el diseño con diámetro de taladro de 4,5” debe ser determinado bajo la restricción de que la fragmentación media para cada uno debe ser constante en $\overline{X}$ = 30 cm. Este es el mismo tipo de problema que se tiene cuando el mineral debe pasar a través de una trituradora pequeña. La distribución de la fragmentación y el tamaño máximo de bancos también deben ser calculados.

La cantidad de explosivo (Qe) que debe contener cada taladro, sobre el nivel del pie del banco, se calcula.

$$Q_e = \frac{\pi D^2}{4} L\rho \qquad \text{ecuación (3.12)}$$

Donde,

D = diámetro del taladro (m),

L = longitud de carga sobre el pie del banco (m) = H - 20D, H = altura de banco.

Los valores de L y Qe, son mostrados en la Tabla 3.2 para diversos diámetros del taladro. Debe notarse que el efecto de cualquier subperforación no ha sido incluido.

Qe = 94,81

El Factor Triturante (K) requerida para obtener el tamaño medio de la fragmentación $\overline{X}$ = 30 cm. en una roca con una constante A = 8 se calcula usando

$$K = \left[\frac{A}{\overline{X}} Q_e^{1/6} \left(\frac{115}{S_{ANFO}}\right)^{19/30}\right]^{1.25}$$

Para el ANFO, S_{ANFO} = 100, por lo tanto

K= 0,54

Utilizamos los valores conocidos de *K* y Qe para determinar el volumen de la roca (Vo) que puede romperse.

$$V_0 = \frac{Q_e}{K}$$ ecuación (3.14)

Vo = 175,57

Ya que la altura de banco (H = 12,5 m) y la relación de espaciamiento-burden es mantenido constante (S/B = 1.13), los valores de B y S se hallan usando las ecuaciones (3.15) y (3.16)

$$B \times S = \frac{V_0}{H}$$ ecuación (3.15)

BxS = 13,005

$$B = \left(\frac{B \times S}{1.30}\right)^{1/2}$$ ecuación (3.16)

B = 3,16

S = 4,1

Los valores son mostrados en la Tabla 3.5

Los valores de n son calculados usando la ecuación (3.10)

$$n = \left(2.2 - 14\frac{B}{D^*}\right)\left[\frac{1+\frac{S}{B}}{2}\right]^{0.5}\left(1-\frac{W}{B}\right)\left(\frac{L}{H}\right)$$

Donde D ' = diámetro de la perforación en el milímetros.

N = 2,25

Así:

$$\boxed{X_c = \frac{30}{(\ln 2)^{1/n}}}$$ Ecuación (3.17)

Xc = 35,3

Los valores resueltos, para X_c, son mostrados en la Tabla 3.7

Paso 6: Utilizamos la ecuación (3.7)

$$R = e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n}$$

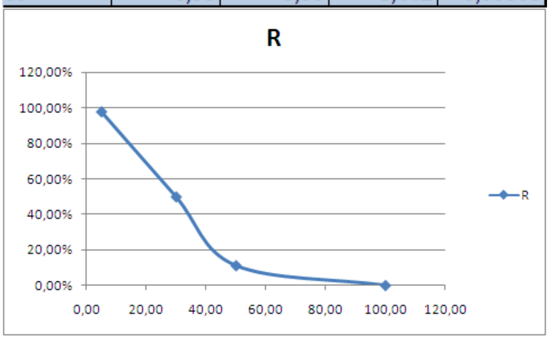
Para calcular valores de R (la fracción retenida) para diferentes tamaños (X_c) en estos casos los tamaños seleccionados son 5 cm., 30 cm., 50 cm., y 100 cm.

Usando los valores de n y de X_c para un diámetro de taladro = 200 mm. encontramos lo siguiente.

$$R = e^{-\left(\frac{X}{40.5}\right)^{1.217}}$$

Sustituyendo los valores deseados de Xc: Tabla3.7

XC (cm)	5,00	30,00	50,00	100,00
R	0,98	0,50	0,112	0,00003



Que quiere decir que 97% (R = 0.977) del material sería retenido en una malla con una abertura de 5 cm. Tal como esperar que el 50% (R = 0.50) del material sea retenido en una malla con 30cm de abertura

5 Conclusiones y Recomendaciones:

- La zona de estudio y de interés para explotación pertenece a la formación San Eduardo la cual predomina roca caliza esta la dividimos en cuatro unidades de acuerdo a la composición y características de la caliza siendo la Unidad 2 la de mayor contenido de sílice y por lo tanto la de mayor dureza. La roca caliza estudiada aquí posee una resistencia a la compresión simple de 70MPa y 100Mpa. Esta roca posee una densidad de 2,3 t/m3.
- Los fracturamientos, han originado en la formación diversos tipos de pliegues, lo cual permite observar en algunos casos la formación de cupulas con datos estructurales altamente variables y fácilmente determinables en el campo.

- Se calculo la malla de perforación según la formulación de Konya y ajustada a los resultados por voladuras anteriores.
- La roca caliza del yacimiento tienen un factor de roca A = 8, calculado en base a sistema de Cunningham ¿1987? Adaptado del índice de Volabilidad propuesto por Lilly ¿1986? En una tentativa de cuantificar mejor la selección de "A".
- Se pudieron realizar las correcciones en la malla de perforación para poder obtener el 50 porciento del material retenido en una malla de 30 cm, variando el Burden de 4 m a 3,16 m y el espaciamiento de 4,5 a 4,1 m.

6 Bibliografía:

- Victor Ames Lara & Filmar Leon Oscanoa "Teoría de Voladura de Rocas" - 2000
- William Hustrulid "Blasting for Open Pit Mining" 2000.
- Monografias.com.
- Manual de Perforación y Voladura "López Jimeno".
- Italo Farje Vergaray "Universal Nacional de San Marcos".