

1 INTRODUÇÃO

A região que se estende pelo Sul da Península Ibérica entre dois países, Portugal e Espanha, possui significativa história de mineração, e é considerada uma das regiões com atividade mineira mais antiga do mundo (até menções bíblicas) e que já influenciou o desenvolvimento histórico de várias culturas em seu aspecto econômico e tecnológico ALDANA, 1875.

A mineração da Faixa Pirítica Ibérica, apesar de seus recursos de minerais (na ordem de 1000 milhões de toneladas de sulfetos) acaba de atravessar uma de suas mais profundas crises, relacionada com vários fatores, tais como o difícil tratamento dos complexos minerais (Cu-Pb-Zn-Ag-Au) e o esgotamento da zona de oxidação de alguns depósitos de sulfetos metálicos (ouro e prata), escassa demanda de ácido sulfúrico nos mercados mundiais, regulamentos ambientais e, em particular, pelos ciclos de cotizações de baixas dos metais básicos nos mercados mundiais. Com a chegada do chamado por alguns “super ciclo”, se retoma os trabalhos em três grandes depósitos de importância na escala Européia (Cobre las Cruces, Aguas Teñidas e Rio Tinto-Cerro Colorado).

A mina de Águas Teñidas forma parte de um distrito com grande variedade de mineralizações e se apresenta no atual momento com considerável capacidade de produção, o que lhe coloca em boas condições de competição no mercado da mineração. Junto disso vem a necessidade de melhorar a produção, tanto em quantidade quanto em qualidade, quer dizer, trabalhar com mais segurança e eficiência para maximizar os resultados da empresa.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é expor os principais parâmetros relacionados aos desmontes subterrâneos em galerias na mina de Águas Teñidas, localizada na província de Huelva, Espanha, bem como seus princípios teóricos, casos práticos ou outras questões relacionadas com esta atividade. Com uma descrição sucinta das operações realizadas, caracteriza-se a problemática situação atual e propõe-se alterações no desmonte para evitar explosões secundárias e otimizar o arranque de rocha por desmonte. Para tanto o trabalho oferece

informações e teorias de técnicas de desmontes subterrâneos, além de breve introdução sobre os principais explosivos utilizados para tal fim.

1.2 JUSTIFICATIVA

A empresa de mineração responsável pela operação da mina de Águas Teñidas em parceria com as empresas prestadoras de serviços, responsáveis pela perfuração e desmontes de rochas, decidiram realizar estudo para otimizar os desmontes na mina, devido a explosões secundárias que ocorriam e o baixo desempenho dos desmontes por explosivos realizados em galerias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DESMONTES SUBTERRÂNEOS

As partes ou trabalhos elementares de que consta o ciclo de trabalho característico das escavações mediante perfuração e desmonte são as seguintes:

- Planejamento do desmonte;
- Perfuração dos furos;
- Carregamento dos furos com explosivo;
- Detonação e ventilação;
- Retirada da rocha desmontada e fragmentos, além da instalação de sistema de sustentação.

O plano de fogo é a disposição, na frente de rocha da galeria, de furos que vão ser executados, carregamento de explosivo que será introduzido e da ordem em que será dada a saída dos furos, desenhando-se no princípio da obra com base na experiência e uma série de regras empíricas recolhidas nos manuais sobre explosivo. Posteriormente, com o avanço da

galeria podem-se ajustar parâmetros, em função dos resultados obtidos nos desmontes. Os furos devem ter uma profundidade de 5 a 10 % superior a distância que se quer avançar no desmonte, já que sempre se produzem perdas que impedem o aproveitamento máximo do comprimento dos furos. Estes comprimentos típicos estão compreendidos entre 1,0 e 4,0 metros e se fixam em função da qualidade da rocha, quanto melhor for a qualidade, maiores serão os avanços na rocha. É usual que em uma rocha de qualidade média perfurar-se de 3,0 a 3,5 metros para se avançar entre 2,8 a 3,2 metros em cada desmonte.

Para cada perfuração e desmonte, a seção teórica da galeria se divide em zonas, em que as exigências, tanto de densidade de fuos, como de carga específica de explosivo e sequência de detonação são distintas. Estas zonas são: Pilão, Contra-pilão, Realce, Levante e Contorno, Figura 1.

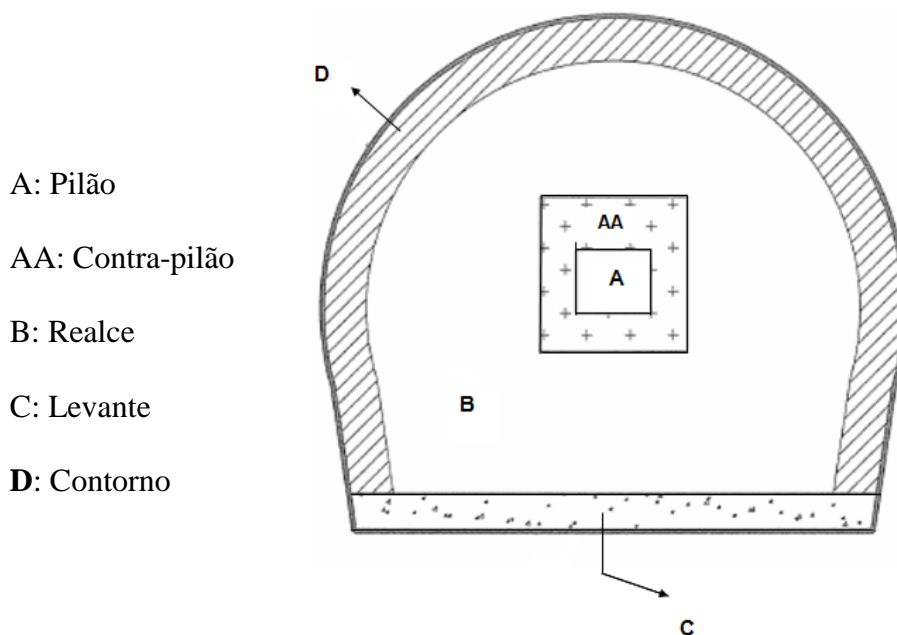


Figura 1- Zonas de perfuração

2.1.1 Pilão

O pilão é a fase do desmonte que detona primeiro. Sua finalidade é criar uma primeira abertura na rocha que ofereça as demais fases uma face livre, para onde se direcionará o material rochoso, possibilitando e facilitando um bom desmonte. Existem tipos distintos de pilão, entre eles pilão em V e em leque, que facilitam a saída à rocha para o exterior, mas

possuem o inconveniente que os furos sejam executados com angulação, o que exige uma correta perfuração, apresentando maior dificuldade e exigindo variação do esquema de perfuração para cada profundidade. Em galerias de seções de escavação reduzidas estes pilões não permitem grandes avanços por desmonte.

O pilão mais utilizado, pela sua simplicidade, é o pilão paralelo. Consiste em um furo vazio (furo de expansão), sem explosivos, de maior diâmetro que os demais (de 75 a 102 mm) e, ao seu entorno, três ou quatro seções de furos carregados que detonam sucessivamente seguindo sequência preestabelecida. A missão do furo de expansão é oferecer uma superfície livre que evite o confinamento da rocha de modo que facilite seu arranque. Seu diâmetro varia entre 100 e 300 milímetros. Em algumas ocasiões podem substituir-se por furos vazios de diâmetro menor (2 x 75 mm).

2.1.2 Contra-pilão

Série de furos que circundam os furos do pilão. Em muitos casos são considerados como furos do pilão. O contra-pilão preenche o vazio criado pelo pilão, e não possui furos descarregados. O pilão e o contra-pilão utilizam sequência de milissegundos entre seus furos.

2.1.3 Realce

Parte central e mais ampla do desmonte, cuja eficácia depende fundamentalmente do êxito do pilão e contra-pilão, que são as zonas críticas do desmonte.

2.1.4 Levante

Representam os furos situados na base da frente de rocha, próximos ao solo. Os furos extremos geralmente são um pouco abertos, com objetivo de deixar espaço suficiente para perfuração do desmonte seguinte. Os furos de levante são os que mais devem possuir carga explosiva, já que a parte de fragmentar a rocha deve levantá-la para cima. Para evitar repé, são perfurados ligeiramente inclinados para baixo e devem ser iniciados em último lugar.

2.1.5 Contorno

Os furos de contorno são importantes já que deles depende as condições do teto da escavação. O ideal é que a forma real do teto da galeria fosse a mais parecida possível com a teórica, mesmo que as irregularidades e descontinuidades da rocha dificultem esse objetivo.

Existem duas técnicas de efetuar as minas de contorno: recorte e pré-corte.

O recorte é a técnica mais empregada, e consiste em perfurar um número importante de furos paralelos, com distanciamento entre 45 e 100 cm e uma concentração de explosivo pequena, ou algumas vezes nula. Na sequência de iniciação são os últimos furos a detonar.

No pré-corte perfura-se um maior número de furos paralelos entre si, com distâncias que variam entre 25 e 50 cm, e uma concentração de carga entre 0,1 e 0,3 kg/m. Esta técnica exige perfuração muito precisa que assegure bom paralelismo e um distanciamento homogêneo entre os furos. Na sequência de detonação estes furos são os primeiros a detonar, o que cria uma fissura na rocha que a protege e isola de vibrações do resto do desmonte. A técnica do pré-corte, pela sua apurada exigência técnica e alto custo, é pouco frequente em galerias, exceto em casos especiais, observar Figura 2.

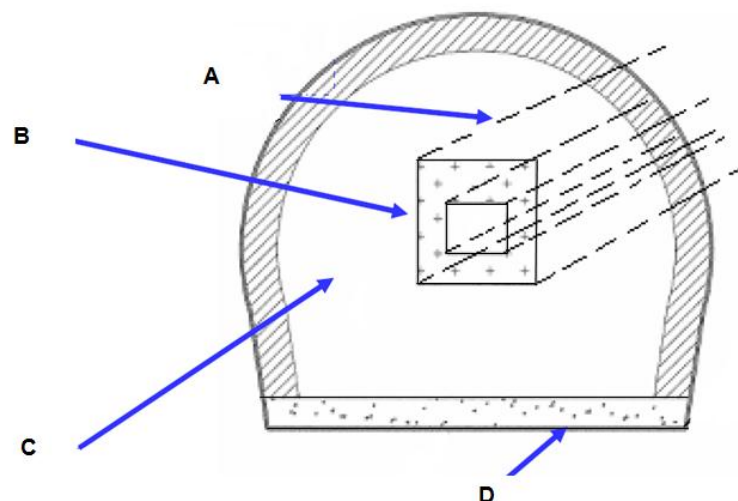


Figura 2 - Projeção do desmonte

A: Representa o arranque de rocha depois do desmonte;

B: Pilão, a fase mais importante de todas do desmonte. Ponto estratégico de otimização;

C: Realce, parte central mais ampla do desmonte e que terá o maior carregamento de explosivo.

D: Levante: São perfurados um pouco abertos para fora, e apresentam dificuldade de carregamento com explosivo caso exista presença de grande quantidade de água na galeria.

2.2 PARÂMETROS DO DESMONTE

O bom dimensionamento do plano de desmonte é de grande importância para os resultados obtidos e representam uma importante ferramenta para o bom andamento das explorações subterrâneas. Para tanto devem ser considerados pré-requisitos como características da rocha e as características dos equipamentos utilizados na mina. Jimeno, (1994).

Os desmontes de Águas Teñidas são realizados através de furos paralelos e apresentam pilão de quatro seções como geometria mais adequada para iniciar os furos, Figura 3.

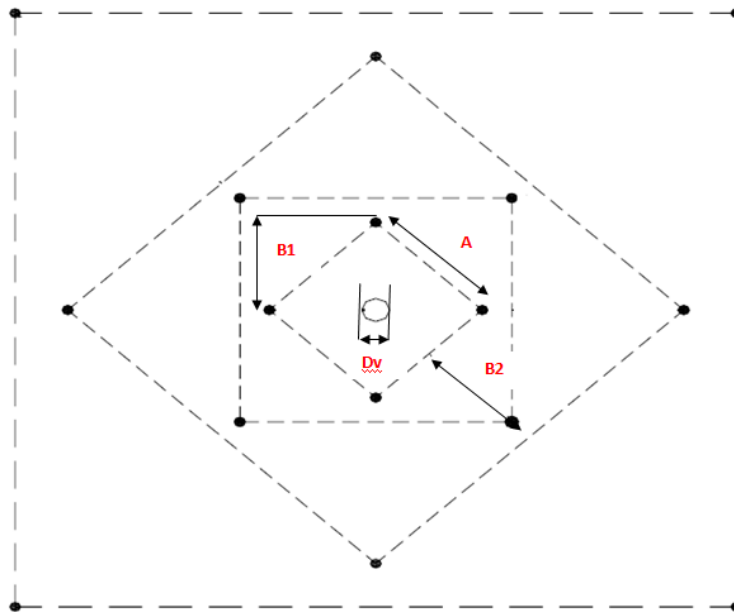


Figura 3 - Pilão de quatro seções

Os cálculos obedecem às condições a que estão submetidas a mina, como equipamentos e qualidades da rocha. Para o cálculo da profundidade de perfuração leva-se em consideração a profundidade da furação e o diâmetro dos furos, Equação 1.

$$L = 0,15 + 34,1 * D_v - 39,4 * D_v^2$$

Equação 1

L: Profundidade de perfuração

D_v : Diâmetro do furo vazio

Calcula-se a distância entre o furo central e a primeira seção a carregar, Equação 2.

$$B_1 = \frac{\pi * D_v^2}{2} = 1,6 * D_v \quad \text{Equação 2}$$

O afastamento para a seção seguinte, B_2 , se obtém através da Equação 3.

$$B_2 = 0,088 \left(\frac{B_1 * l * S_{anfo}}{d * c} \right)^{1/2} \quad \text{Equação 3}$$

S_{anfo} : potência relativa em Anfo

D_v : diâmetro do furo vazio

d: diâmetro do furo carregado

c: constante de rocha

l: densidade linear de carga

Assim se pode seguir realizando seções até que o lado do quadrado produzido por uma delas seja igual, ou maior, a raiz quadrada do arranque do desmonte: $A \geq \sqrt{L}$

Após, define-se o cálculo de distâncias entre os furos do realce, Equação 4.

$$B = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{\pi * \rho_f * S_f}{1,11 * f * \left(\frac{E}{B}\right) * c}} = \sqrt{\frac{l_f * S_f}{1,11 * f * \left(\frac{E}{B}\right) * c}} \quad \text{Equação 4}$$

S_f : Potência do explosivo

$$f = 1,45$$

ρ_f : Densidade de carga

f: Fator de fixação

E: Espaçamento

No cálculo do levante leva-se em consideração, Equação 5.

$$B = 0,87 \sqrt{\frac{l_f * S_{anf} o}{f * \left(\frac{E}{B}\right) * c}} \quad \text{Equação 5}$$

Na seção de recorte leva-se em consideração a tensão tangencial originada por orifício pressurizado em seu interior em meio infinito, Equação 6.

$$\sigma_{\theta} = -P_b \frac{r_b^2}{r^2} \quad \text{Equação 6}$$

σ_{θ} : tensão tangencial

P_b : pressão nas paredes do furo

r_b : raio do furo

r : distância radial desde o centro do furo

Ao se detonar furos em um mesmo instante (como no recorte), a tensão tangencial produzida em um ponto intermediário é expressa em função da distância entre furos consecutivos, Equação 7.

$$\sigma_{\theta} = -P_b r_b^2 \left[\frac{1}{r^2} + \frac{1}{(S-r)^2} \right] \quad \text{Equação 7}$$

S: distância entre os dois furos.

Calcula-se a força de tração exercida entre dois furos por unidade de comprimento do furo, conforme Equação 8.

$$F = \int_{r_b}^{S-r_b} \sigma_{\theta T} dr = -2P_b r_b^2 \left[\frac{S-2r_b}{S-r_b} \right] \quad \text{Equação 8}$$

Mas, sabe-se também que a resistência à tração da rocha por unidade de comprimento do furo é (Equação 9):

$$F_r = (S - 2 r_b) \sigma_t \quad \text{Equação 9}$$

σ_t : resistência à tração da rocha

Para cortar um material é preciso que a força de tração aplicada seja superior a força resistente. Assim, a distância máxima permitida entre dois furos para que a rocha se rompa entre eles, deve obedecer a relação:

$$S \leq 2r_b \frac{P_b + (\sigma_t/2)}{\sigma_t}$$

Estes parâmetros variam de acordo com as características da mina e quase sempre apresentam diferentes valores, já que dificilmente encontramos minas com mesmas características. O pilão de quatro seções é passível de adequações que são feitas dependendo das necessidades de cada plano de desmonte.

Características peculiares como no caso de Águas Teñidas que apresenta 6 furos de 102 mm no pilão e que não são carregados com explosivos é um exemplo disto.

2.3 EXPLOSIVOS

2.3.1 ANFO

É um tipo de explosivo pulverulento e que não resiste à água, o que o torna desaconselhável para ser utilizado em ambientes úmidos. Estão constituídos por uma mistura de nitrato de amônia e combustível líquido. As proporções destes componentes variam segundo o comprimento da cadeia de hidrocarbonetos do combustível utilizado. Os percentuais vão desde 90 a 97% de nitrato de amônio e 3 a 10% de combustível. O ANFO necessita de uma boa iniciação para sua completa detonação. Para isso geralmente se utiliza cordel detonante, cartuchos de dinamite gelatinosa, ou reforçadores (Boosters).

O ANFO é comercializado principalmente a granel, em sacos ou em caminhões, mas também há encartuchado. Esse tipo de explosivo possui características que o fazem ser muito utilizado para carga de coluna de desmontes a céu aberto.

2.3.2 Dinamite

Explosivos geralmente compostos por duas substâncias: nitroglicerina ou nitroglicol com nitrocelulose, formando uma pasta de maior estabilidade que cada explosivo em separado.

Tradicionalmente é uma mistura de nitroglicerina com argila, originalmente terra de diatomáceas; receita de Alfredo Nobel. A evolução técnica levou a produção das gomas: nitroglicerina mais nitrocelulose. Atualmente as dinamites passaram a utilizar mais misturas de nitroglicol, de maior estabilidade, junto com nitrocelulose. Como adição, outros ingredientes como alumínio (aumenta calor e potência) dá uma aparência cinza e oleosa ao tato. Consideradas como explosivo muito potente (comparada com a pólvora, o fulminato de mercúrio e outros explosivos).

A Goma-2 ECO, é um alto explosivo (da classe dinamite) para uso industrial (sobretudo mineração) composta de nitroglicol, nitrato de amônio, nitrocelulose, e carbonato cálcico, sendo denominada de goma devido a seu aspecto gelatinoso. Foi desenvolvida como uma melhora da Goma-2 EC devido a novas normativas europeias sobre meio ambiente. Sua principal modificação foi eliminar totalmente o Dinitrotolueno (DNT), produto altamente tóxico (cerca de 7% da composição da Goma-2 EC), variando as proporções de nitrocelulose e nitroglicol, e incorporando outros materiais combustíveis. A Goma-2 ECO consegue uma redução de até 68% na emissão de óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono. Suas características explosivas são muito similares (até superior) as da Goma-2 EC. UEE S.A. (1997)

Principais características: alta densidade; ótima resistência à água; elevada potência; gases de qualidade; alta pressão de detonação (garante iniciação do ANFO).

As dinamites pulverulentas são sensibilizadas com nitroglicerina e nitroglicol, e incorpora trilita em sua composição. Por apresentar consistência pulverulenta sua aplicação deve limitar-se a furos que não contenham água. São produzidas em cartucho de pequeno diâmetro e baixa densidade. Limitadas por suas características práticas: potência e velocidade de detonação.

Características técnicas:

- Densidade: 1,15 g/cm³
- Velocidade de detonação: 3000 m/s
- Calor de explosão: 4,17 MJ/kg
- Potência relativa por peso (RWS): 107%
- Potência relativa por volume (RBS): 153%
- Pressão de detonação: 12,9 GPa
- Volume de gases: 891 l/kg
- Gases do desmonte: bons
- Resistência à água: limitada

2.3.3 Emulsão

As emulsões explosivas são dispersões estáveis de dois líquidos, uma solução aquosa e um composto orgânico oleoso, imiscíveis entre si, mas com um emulsionante se mantêm em estado disperso. A fase aquosa está formada por uma solução oxidante e a orgânica por um óleo mineral, que é o componente redutor. Em princípio é uma mistura semelhante ao anfo, com uma diferença importante, de que as gotas de água com oxidantes estão rodeadas de óleo, dando lugar a que se produza um contato mais íntimo entre esses componentes, aumentando sua potência explosiva; também se obtém uma grande resistência a água, pois o óleo impermeabiliza e evita uma maior dissolução do nitrato, contido na fase aquosa. A potência destes explosivos se avalia por outros parâmetros que se definem a seguir. UEE S.A, (1997)

“ENERGIA ABSOLUTA POR PESO” (AWS): energia obtida por meio dos calores específicos de formação das reações, que se produzem na detonação do explosivo por unidade de peso, expressando-se, portanto em cal/g.

“ENERGIA ABSOLUTA POR VOLUME” (ABS): Valor obtido ao multiplicar o AWS pela densidade do explosivo, expressando-se em cal/cm³. Este parâmetro é mais representativo da energia cedida pelo explosivo, já que é função de sua densidade, Equação 10.

$$ABS = AWS \times \rho_{\text{explosivo}}$$

Equação 10

“FATOR DE ENERGIA” (FE): número de calorías necessárias para desmontar um metro cúbico de rocha, calculando-se ao multiplicar o AWS, pela relação entre o peso do explosivo

utilizado no desmorte e o volume total de rocha arrancada, quer dizer, pelo consumo específico. Seu valor é expresso em cal/m³.

$$\text{Fator de energia} = \frac{\text{Kcal (MJ) de energia}}{\text{t ou m}^3 \text{ de material fragmentado}} \quad \text{Equação 11}$$

Assim como nos explosivos industriais tradicionais, sua potência se refere à unidade padrão definida no ensaio do pêndulo, assumindo-se 100, no caso das emulsões, estes valores se referem ao ANFO, como padrão. A partir da consideração anterior se chega a determinar dois valores fundamentais que são:

- “ENERGIA RELATIVA POR UNIDADE DE PESO” (RWS): Relação entre as AWS da emulsão e do ANFO, multiplicada por 100 (Equação 12).

$$\text{RWS} = \frac{\text{ABS explosivo}}{\text{AWS anfo}} \times 100 \quad \text{Equação 12}$$

- “ENERGIA RELATIVA POR UNIDADE DE VOLUME” (RBS): Relação entre as ABS da emulsão e do ANFO, multiplicada por 100 (Equação 13).

$$\text{RBS} = \frac{\text{ABS explosivo}}{\text{ABS anfo}} \times 100 \quad \text{Equação 13}$$

2.3.4 Hidrogel

Formados por um oxidante, geralmente um nitrato, e um redutor, juntos, gelatinizante e estabilizante, lhe dão uma boa consistência e impedem a difusão dentro do mesmo da possível água exterior, por isso resiste muito bem à umidade e a água nos furos. São explosivos muito seguros contra impactos e ondas subsônicas, seus gases são pouco tóxicos, possuem elevada potência e permitem que sua carga seja a granel e mecanizada. Esta última vantagem supõe melhora no rendimento do explosivo, pois seu contato com a parede do furo é mais estrito, evita o encartuchado e minimiza a mão-de-obra e tempo de carregamento.

2.4 SISTEMAS DE INICIAÇÃO

2.4.1 Detonadores de estopim

Consiste basicamente em uma capsula de alumínio que contém uma carga explosiva, composta por um explosivo primário, outro secundário e uma mescla de ignição, Figura 4. Os detonadores podem ser utilizados para iniciar cordel detonante e/ou explosivos sensíveis ao detonador N°8.

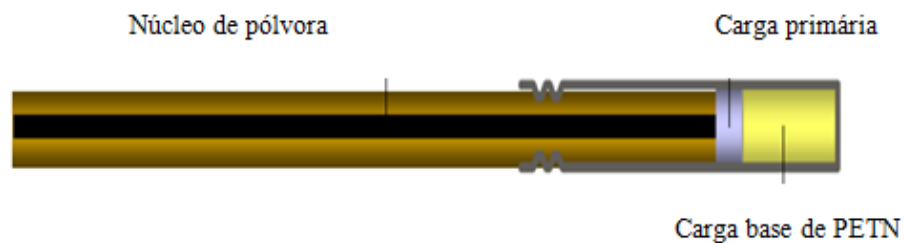


Figura 4 - Detonadores de estopim

2.4.2 Detonadores elétricos

É um acessório de detonação elétrico explosivas capaz de converter o impulso elétrico em detonação através da incandescência do filamento. Estão constituídos por quatro partes fundamentais:

1. Cápsula de alumínio;
2. Carga explosiva composta por um explosivo-base, ou secundário, e outro primário;
3. Elemento de retardo com tempo de queima controlado;
4. Inflamador eletro-pirotécnico de ignição: formado por filamento coberto de composto pirotécnico. Este inflamador é interno a uma peça plástica anti-estática e soldada a dois fios condutores isolados por capa plástica, Figura 5.

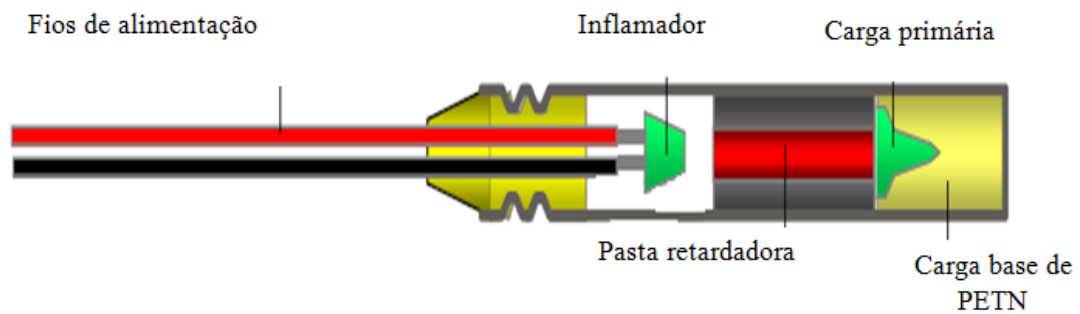


Figura 5 - Detonador elétrico.

Aplicações

Empregam-se em desmontes que requerem precisa sequência de saída das minas com objetivo de criar faces livres necessárias para saída do material fragmentado, melhorando o arranque de rocha no desmonte e minimizando as vibrações.

Manuseio e armazenamento

- Deve-se manusear com cuidado exigido por um explosivo sensível ao atrito, impacto e temperatura;
- Armazenamento e transporte de acordo com as regulamentações;
- Manter longe do fogo, líquidos inflamáveis e outros explosivos;
- Devem ser utilizados por pessoas capacitadas e autorizadas para aplicação de acessórios de desmonte. Recomenda-se usar em cada desmonte, iniciadores de mesmo fabricante.

2.4.3 Detonadores não-elétricos

Detonador não-elétrico Série ms

Acessório com tempos em milésimos de segundos e Série de 23 períodos, com intervalo de 0 a 1400 milissegundos. O detonador não-elétrico ms pode ser utilizado como iniciador na mesma perfuração e como detonador não-elétrico de linha-tronco. UEE S.A, (1997)

Detonador não-elétrico Série Lp

Detonador com largos períodos, que possui série de 15 períodos com intervalos de 0 a 9600 milissegundos. A Figura 6 ilustra representação de componentes básicos constituintes de um detonador não-elétrico.

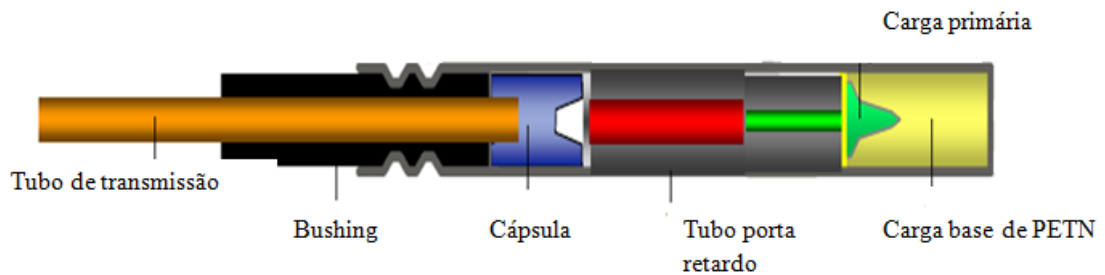


Figura 6 - Detonador não-elétrico.

2.4.4 Detonadores eletrônicos

Entre os acessórios do desmorte são fundamentais os iniciadores. Desde o estopim, espoleta elétrica, detonadores não-elétricos e multiplicadores temporizados, se chega, atualmente, ao detonador eletrônico. Este sistema se compõe basicamente de dois elementos, o detonador propriamente dito e o comando de programação, constando de parte analógica, outra digital e um sistema de iniciação.

A primeira trata os sinais recebidos pelos cabos de conexão e as envia à parte digital, que as interpreta, gerando os tempos de retardo e dando o sinal de iniciação à pasta inflamável. Este tipo de detonador permite grande precisão de seus tempos de retardo. Isto permite melhor fragmentação e menor vibração, com um custo um pouco superior. Uma das vantagens destes detonadores é a segurança: qualquer corrente estranha que incidentalmente chegue a seus cabos de conexão exige um código para que a corrente passe a carregar o condensador cuja descarga inicia o explosivo.

Os tempos de iniciação são programados manualmente. Primeiro se introduz, mediante o teclado numérico, o tempo de detonação que se deseja, em milissegundos, para o detonador. Depois se passa o leitor sobre o código de barras do detonador que está incorporado ao console.

Como o código de barras é único para cada detonador, o console relaciona, sem falha, cada tempo programado, e armazena esta informação em sua memória. Quando todos os detonadores são programados e introduzidos nos furos, procede-se a conexão. Da mesma maneira, se conecta o plano de fogo com a linha-tronco de disparo. Antes da iniciação, o sistema permite verificar a continuidade e o estado das conexões.

A seguir acopla-se o console de programação à maleta de disparo, para que esta possa enviar a informação do retardo ao microchip de cada detonador e ativar os detonadores para iniciação. O sistema permite programar tempos compreendidos entre 1 e 2500 ms com incrementos de 1 ms e um erro de disparo desprezível: 0,1 %. Detonador eletrônico, Figura 7.

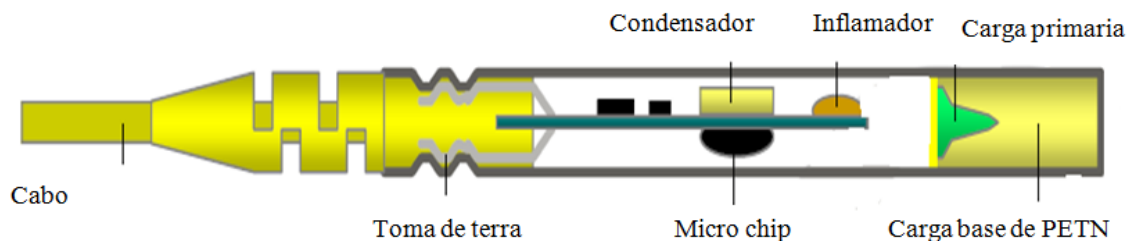


Figura 7 - Detonador eletrônico.

Principais vantagens

- Altíssima pressão de detonação
Programação de 0 a 25 s, intervalo 1 ms;
Precisão de 0,1 %;
- Segurança a presença de correntes estranhas (sinal de disparo codificado)
- Conexão simples, sem ordem preestabelecida;
- Programa tempos precisos, independente de série de retardos predeterminados;
- Permite fazer correções sobre as programações anteriores antes de efetuar a detonação;
- Em avanço de túnel com grande número de furos, permite limitar a carga operante (carga total de explosivo que detona em um período de tempo igual ou inferior a 8 ms) correspondente a um furo, reduzindo o nível de vibração produzido;
- Excelentes resultados obtidos no contorno das galerias por não existir dispersão de tempos. Reduz-se drasticamente a sobre escavação;
- Facilita a logística ao utilizar um único tipo de detonador para se obter os tempos de iniciação;
- Aumenta as margens de segurança frente a alterações de origem elétrica;

- Permite verificar o estado da linha e suas conexões frente;
- Possível reprogramação;
- Resultados: vibrações, fragmentação.

Inconvenientes

- Alto investimento inicial nos equipamentos: Explosor; Escaner e comprovador; Software
- Preço elevado dos detonadores;
- Capacitação dos usuários.

2.4.5 Cordel detonante

Constituído por um núcleo central de explosivo (PETN) coberto por uma série de fibras sintéticas e um revestimento exterior de plástico colorido. Os reforçados são dotados de mais coberturas, entre elas uma camada externa formada por tecido entrecruzado de fibras. Segundo a concentração linear de PETN, se fornece cordel com várias gramaturas, entre elas: 3, 6, 10, 20, 40 e 100 g/m. É relativamente estável e exige detonador mínimo de N° 6 para iniciá-lo. A velocidade de detonação é de, aproximadamente, 7400 m/s, e a reação é extremamente violenta. Sua maior desvantagem é o nível de ruído e a violenta reação.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 LOCALIZAÇÃO DO PROJETO

O projeto de mineração de Águas Teñidas encontra-se na parte norte da Faixa Piritosa Ibérica (FPI), no Município Almonaster La Real, na Província de Huelva, Espanha, Figura 8.

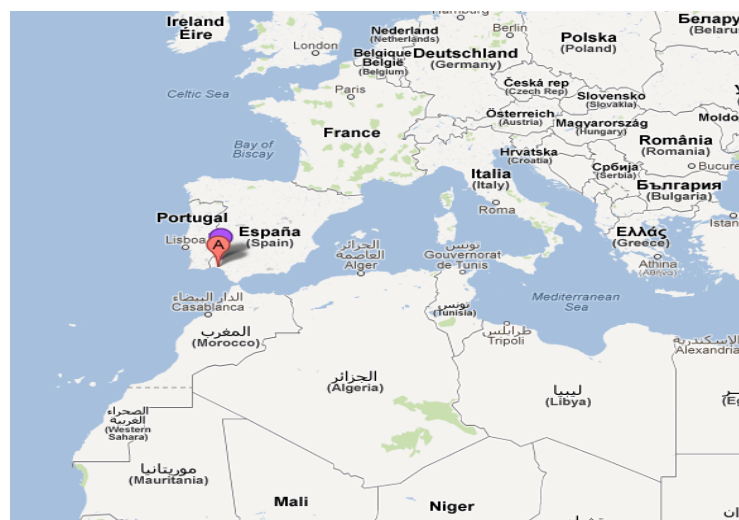


Figura 8 - Mapa de localização

Fonte: Google Earth

A principal via de acesso é pela rodovia A-49 (Sevilla-Huelva): tomando o desvio até Trigueros, através da Nacional N-435, direção Valverde do Camino, onde se deriva a A-496 sentido Calañas, depois a HU-5101, até Cerro do Andévalo, e HU-6102, até Valdelamusa, para chegar à Mina, através da HU-7104, Figura 9.

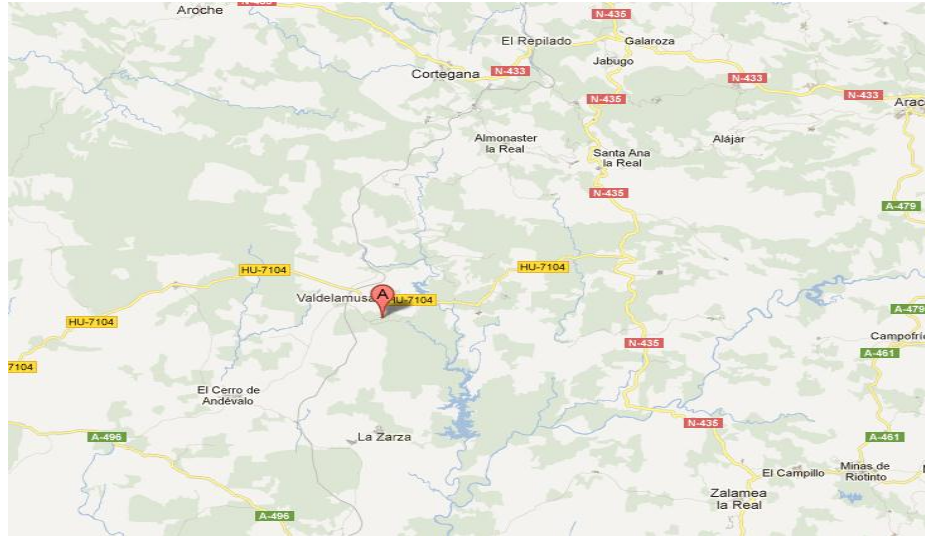


Figura 9 – Acesso a mina.

Fonte: Google Earth

Trata-se do desenvolvimento de projeto de exploração (Grupo mineiro Águas Teñidas e Herreritos, Mina Águas Teñidas) de um depósito de sulfetos massivos, polimetálicos, na chamada Faixa Ibérica Piritosa – FPI, em sua parte norte. A massa de minério conhecida possui profundidade superior a 1200 m, em direção Leste-Oeste. A profundidade das câmaras abertas e as projetadas oscilam de 300 m, extremo Leste da mineralização, a 560 m, no extremo Oeste, visto que a massa se direciona para Oeste, com inclinação de 15° a 20°.

O aproveitamento dos recursos metálicos contidos na FPI foi constante através da história, porém muito variado. Assim, a indústria romana aproveitava cobre, via tratamento hidrometalúrgico, e prata das zonas oxidadas de sulfetos. A cultura árabe, medieval, e a indústria do Renascimento, com suas tecnologias próprias aproveitaram parte destes recursos, (Carrasco, I. 2003).

Na Idade Moderna e no século XIX e XX, a extração de minerais da FPI ressurgiu, ao demandar aos mercados de matéria-prima (pirita, chamada “bruta”, para as fábricas de ácido sulfúrico). Os depósitos foram lavrados por companhias inglesas que implantaram tecnologias para o processo de extração. A produção neste período atingiu seu auge no último terço do século passado. O bom conhecimento geológico do depósito e seu entorno tem dois objetivos fundamentais: definir bem o modelo de mineralização, propiciando um potencial descobrimento de maior extensão do mesmo. González, (2007)

A Mina de Águas Teñidas é parte de um distrito com grande variedade de mineralizações, orientação Leste-Oeste, que se formou dentro do ramal mais setentrional da FPI, no sudoeste de Espanha. A geologia local é formada por uma sequência vulcano-sedimentar, tectonizada por cavalgamentos, e zonas de fraturas, geralmente de componente dúctil (MATSA). A estrutura final é complexa, com frequentes repetições desta unidade, o que dificulta a reconstrução estratigráfica do depósito, que de muro a teto se divide em:

- Unidade de Riodacito do muro (URD)
- Sulfetos:
 - o Sulfeto massivo cúprico
 - o Pirita massiva estéril
 - o Mineral polimetálico com Zn-Pb-Cu
- Unidade vulcano-sedimentar do teto (UVS)

3.2 GEOLOGIA

A mineralização de Águas Teñidas, sentido Leste, presente em duas tipologias bem diferenciadas, sulfetos massivos e disseminação na rocha encaixante (*Stockwork*). É uma ocorrência comum em depósitos de sulfetos polimetálicos, onde pode existir mineralização disseminada, tipo *Stockwork*, abaixo da massa de sulfetos. Neste caso, esta mineralização é considerada como zona de alimentação de fluidos mineralizados, Figura 10, (MATSA).

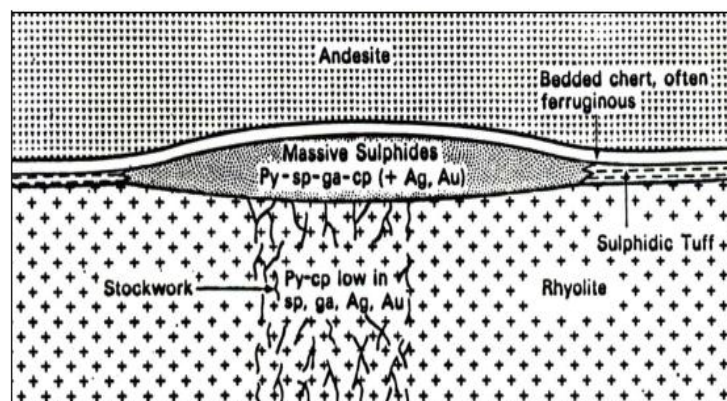


Figura 10 - Massa com mineralização, apresentando stockwork inferior

- Sulfetos massivos

A massa de sulfetos massivos é estimada como superior a 40 Mt. Suas dimensões conhecidas são de 2100 m, de largura, direção Leste-Oeste. Em seu extremo Leste o depósito se encontra a aproximadamente 280 m da superfície, enquanto que no extremo Oeste, onde a mineralização continua aberta, a uns 650 m da superfície, Figura 11.

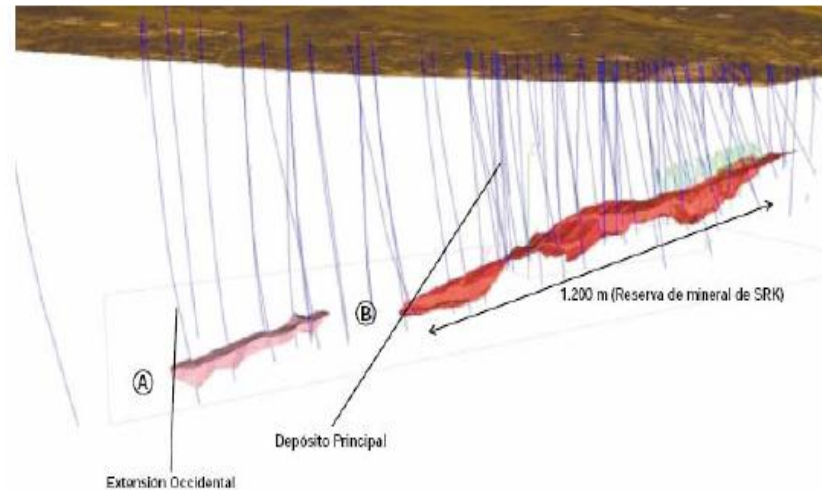


Figura 11 - Corpos de minerais em Águas Teñidas

Fonte: MATSA, 2011

A massa de sulfetos massivos tem largura entre 150 e 300 m. A espessura é variável, diminuindo na direção Sul, aumentando a Norte. A Norte esta massa apresenta contato com a encaixante por meio de falha inversa subvertical. Dentro dos sulfetos massivos aparecem dois tipos de minerais diferenciados:

- Mineral polimetálico: composto de esfarelita e galena rodeados por clastos de pirita, mineral que ocorre principalmente no contato de teto da massa mineral.
- Mineral cúprico: calcopirita finamente disseminada substituindo a pirita.

- *Stockwork*

No muro dos sulfetos surge mineralização tipo *Stockwork* disseminada, especialmente desenvolvida na zona norte do depósito. O *Stockwork* em Águas Teñidas representa uma massa de rocha densamente fraturada e desigual, em todas as direções, através de pequenas fraturas descontínuas ao longo das quais ocorrem mineralizações. Estas apresentam alto teor em cobre (mais de 4% Cu em algumas zonas), Figura 12.

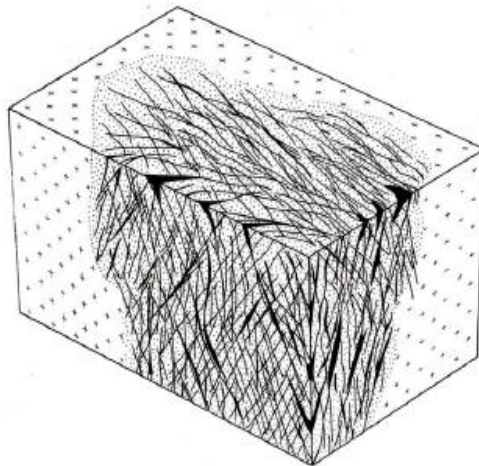


Figura 12 - Bloco ilustrativo de mineralização em Stockwork.

3.3 RESERVAS MINERAIS E VIDA ÚTIL DA MINA

Águas Teñidas foi descoberto nos anos 80, pela associação de empresas Billiton Española S.A. e Promotora de Recursos Naturais (PRN), depois de trabalhos de exploração executados no entorno da antiga Mina de Águas Teñidas.

Billiton e PRN detalharam 32 furos de sonda de superfície, em 1 km do corpo mineralizado. A partir deste trabalho se cubou 28 Mt de sulfetos massivos. Em 1990 Billiton abandona o projeto e surge a Placer Dome Inc. em 1992. Esta empresa executa outros 27 furos de sonda de superfície nos três anos seguintes, começando a redefinir recursos nos *Stockworks*, imediatamente abaixo dos massivos. Navan Resources PLC adquire o projeto em 1995 e começa a desenvolver galerias de acesso e investigação, utiliza geofísica eletromagnética (CSEMM) na parte Oeste do depósito. Concentra-se a malha em 400 m, medidos desde o Leste com sondagens de interior, perfurados em malha 40 m x 40 m, a vez que a mineralização se estende para Oeste, obtendo alcance de 1,5 Km.

Desde 2004 a Mina de Águas Teñidas, trabalha em exploração dos limites do depósito, reconhecendo outros 600 m ao Oeste. Do interior se definem as câmaras a lavrar ao mesmo tempo em que se analisa a mineralização rica em cobre associada ao *Stockwork*. As reservas minerais, se resumem a um total de reservas medidas e indicadas de 10,4 Mt e para o cúprico de 8,81 Mt, totalizando 19,21 Mt de recursos.

A empresa, em 2009, alcançou produção média mensal superior a 120.000 t, planeja aumentar a produção anual, a médio-longo prazo, para 2,2 Mt, estimando vida-útil mínima do projeto até 2018. Esse alcance não considera o potencial de recursos inferidos e de possíveis extensões do depósito, fruto de trabalhos futuros (MATSA, 2011)

3.4 MÉTODO DE LAVRA E ESCALA DE PRODUÇÃO

Planejou-se adotar um método de lavra único para aproveitamento do depósito de Águas Teñidas. Selecionou-se, tendo em conta sua geometria e as características dos materiais das encaixantes, o Método de Lavra de Câmaras por bancos entre subníveis, para tanto se realizam furos largos nas câmaras, carregados com explosivos, podem ser perfurados de forma ascendente ou descendente em leque.

Os acessos para o depósito se estabelecem a partir de transversais que se distanciam em cota aproximadamente 30 m e partem da infra-estrutura, por rampas. Todas elas descendem para aproximar-se do corpo mineral. As rampas auxiliares de serviço e transporte têm parte de seu percurso em espiral com o objetivo de adaptar-se à forma do depósito. O minério é transportado da mina através da rampa Santa Bárbara, e as câmaras se exploram em ordem ascendente, das mais profundas até as mais superficiais. O planejamento a curto prazo pretende alcançar uma produção anual de 1,7 Mt/ano e a médio/largo prazo na ordem de 2,2 Mt/ano. (MATSA, 2011)

Na exploração se planeja o aproveitamento das câmaras, em seguida seu preenchimento, tempo de espera, que garanta a estabilidade do pilar e sua competência como face livre, e assim prossegue-se com o aproveitamento das câmaras seguintes. Também estão incluídos alguns trabalhos auxiliares e de importância para a estabilidade e seqüência de lavra, entre eles:

- Suporte: serviços para assegurar a boas condições das infra-estruturas tanto em desenvolvimentos de mina e quanto em câmaras de produção
- Serviços: eletricidade, água, ar, pasta, elementos de comunicação, entrada e saída de outras matérias, etc.
- Evacuação: águas, sistema de ventilação, sistemas de emergência, etc.

A exploração na mina de Águas Teñidas começou nos anos 90 e foi paralisada devido à tendência do mercado dos metais no final desta década. A dado de conhecimento, no ano 2009 a empresa levava um ano de produção, com ligeira variação entre a produção planejada e a produção real. No mês de Outubro de 2009 se alcançou 120000 t. Já em Outubro de 2011 a produção foi de 220000 t, totalizando para o ano de 2011 1800000 t produzidas.

3.4.1 Infraestruturas da mina

Para realização da lavra do depósito se aproveita o desenvolvimento de infraestruturas realizadas em décadas anteriores, como por exemplo, a Rampa Santa Eulália construída na década de 90 possui seção de 33 m² (5,8m x 5,8 m), em forma de meio ponto, e comprimento de 2009 m, com inclinação média de 18%. Compõe-se de percursos retos e curvos que permitem a aproximação do corpo de minério, desenvolvido na direção Leste-Oeste.

A galeria é suficiente para circulação dos equipamentos de carregamento e transporte com segurança, assim como instalação de tubulações de alimentação de água, deságue, rede elétrica de média tensão e ventilação, necessários ao próprio desenvolvimento da rampa.

Inclui-se, entre as infraestruturas, rampas de transporte e de serviços, galeria de investigação e desenvolvimentos necessários ao estabelecimento de ventilação e movimento de materiais.

- Rampa de transporte

A do Depósito Leste (câmara em lavra atual) possui seção idêntica às rampas principais, de 33 m². É continuação da Rampa Santa Eulália, com comprimento de 705 m e inclinação média de 12,3 %. Para 2018 está previsto a construção de uma rampa de transporte até o setor Oeste, com seção de 33 m², percurso reto para continuar em espiral descendente e assumindo um percurso de 1598 m, inclinação média de 11 %, direção Leste-Oeste.

- Rampa de serviços

A que permite a produção atual no depósito Leste, tem percurso de 523 m com uma seção de 25 m² (5m x 5m), inclinação média de 14% e configuração em espiral.

3.4.2 Ventilação

Para correto desenvolvimento das atividades planejam-se circuitos de ventilação que garantam condição ambiental adequada nos desenvolvimentos principais de entrada e saída de pessoas e equipamentos, e nos pontos de trabalho, tanto em desenvolvimentos, como nas câmaras de produção.

O principal objetivo da ventilação na mina é fornecer quantidade suficiente de ar a todos os postos de trabalho e galerias para diluir, até nível aceitável, os produtos contaminantes que não podem ser controlados por outros meios. Quando a profundidade e temperatura da rocha é tal que a temperatura do ar resulta excessiva, podem-se utilizar sistemas mecânicos de refrigeração para melhorar a ventilação.

As substâncias contaminantes que devem ser controladas, mediante ventilação de diluição, são basicamente gases e poeiras. A quantidade de ar necessária para ventilação de diluição depende da força da fonte de contaminação e da efetividade de outras medidas de controle, como uso de água para supressão de poeiras. O fluxo mínimo de ar de diluição é determinado pelo contaminante que requer maior diluição, uma vez estudado os possíveis efeitos resultantes de mesclas e sinergias que fazem que um contaminante possa potenciar o efeito do outro. Em qualquer caso, a velocidade mínima de ar deve ser de 0,25 m/s, aumentando à medida que sobe a temperatura do ar.

3.4.3 Descrição da exploração

Para transporte de estéril e minério se executam chaminés que comunicam níveis e permitem o carregamento para retirada de materiais. Conectam-se diretamente com as rampas de transporte, de modo que os caminhões se carregam nelas mediante pás e saem por rampas acondicionadas para transporte de material. Os circuitos estão em desenvolvimento, atendendo as necessidades da exploração e será ampliado para 2018. Existem outros elementos necessários para completar a infraestrutura de exploração: centros de transformação, estações de bombeamento e locais desenvolvidos especificamente para servir de estações de salvamento e/ou câmaras de refúgio.

A infraestrutura de Águas Teñidas, assim como explorações deste tipo, se distingue em desenvolvimentos de caráter permanente (durante sua vida-útil) e momentâneos (suficientes para executar funções específicas); podem ser desenvolvidos em minério e/ou estéril, com objetivo de atingir profundidade para aproximação do corpo de minério. Basicamente os desenvolvimentos em estéril são as galerias de investigação e dois tipos de rampa:

- Rampas principais: Santa Eulália e Santa Bárbara;
- Rampas auxiliares: rampas de transporte e de serviço que mediante seus traçados em espiral ganham profundidade e se desenvolvem aproximando-se do depósito, permitindo execução de serviços posteriores, também próximos ao corpo.

Localmente se denominam desenvolvimentos àquelas galerias em estéril que partem das rampas e se aproximam mais da mineralização; geralmente na mesma direção do depósito, executadas em seção quadrada de 5 m.

Denominam-se preparações das galerias Norte-Sul (as galerias que atravessam o muro norte e sul do depósito), as galerias de perfuração (perpendiculares às anteriores) com comprimento de 20 m – de seção 5 m x 4,5 ou 5 m – duas por câmara (uma no nível inferior, outra no superior), com percurso no minério; e, finalmente, chaminés ou “slots” para criar faces livres para desmonte posterior das câmaras de produção, de seção 2 m x 2 m, altura variável de 15 a 30 m. Para poder abrir estas galerias, executa-se: perfuração, desmonte, carga e transporte de estéril, seguidas do suporte e trabalhos de equipamentos necessários.

Para cada nível de câmara a explorar existem galerias Norte-Sul, superior e inferior. Destas galerias se executam cruzamentos Leste-Oeste, com comprimento de 7,5 m cada e seção de 5,0 m x 4,5m ou 5,0 m, feita em duas ramificações, para Leste e Oeste, de maneira que o percurso final dos cruzamentos seja de 20 m (7,5 m de cada lado mais 5,0 m da galeria N-S). Para cada câmara a lavrar se executam cruzamentos, a partir da galeria do nível inferior e superior. Aqueles cruzamentos que interiores às câmaras a explorar podem ser denominados de galerias de perfuração.

Quando os cruzamentos superior e inferior são concluídos, executa-se o *slot*, sondagem descendente da cota superior até o cruzamento inferior. Deste furo, o *Raise Boring* amplia a chaminé entre níveis. Tal chaminé, de comprimento variável entre 15 e 30 m, tem seção de 2 m x 2 m. A partir desta escavação se amplia a face livre ao largo do cruzamento, onde são

executados furos com equipamento apropriado; ao final se obtém uma escavação com 5 m de largura, 20 m comprimento e 15-30 m de altura.

A Figura 13 ilustra esquema de acesso ao depósito, desde os desenvolvimentos em estéril, e como se planeja as câmaras dentro do modelo de depósito,.

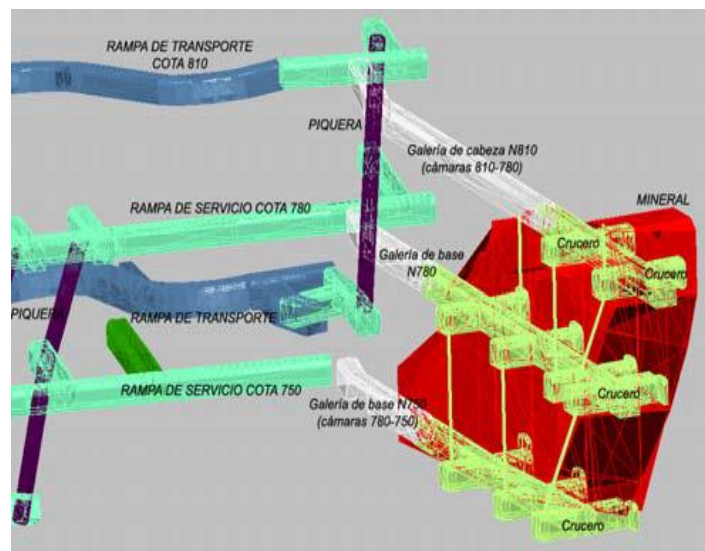


Figura 13 - Acesso ao depósito a partir das galerias

O método consiste em fazer bancos de massa mineral existente entre níveis. A distância entre eles, e, portanto a altura do banco, depende das características geotécnicas e geométricas da massa de minério, tais como potência, presença de fraturas, etc. A abertura desses níveis, do topo à base, se pode realizar completamente ou, caso seja necessário, por instabilidade do teto dos níveis, por câmaras, o que supõe que câmaras contínuas possam atuar como pilares provisórios, posto que posteriormente sejam recuperados, após o preenchimento das câmaras anteriores.

O nível de topo serve para realizar a perfuração do banco e o carregamento de explosivo. Previamente ao carregamento se realiza a abertura da face livre, mediante realização da chaminé. Posteriormente se faz o desmonte integral do banco. O carregamento da rocha desmontada se faz pela câmara inferior, mediante equipamento de perfil baixo (LHD, Load Hauling and Dumping) provida de controle remoto, com o qual se evita a entrada de pessoas à zona aberta da câmara, Figura 14.



Figura 14 - Operação de carregamento e transporte em câmara, Águas Teñidas

Fonte: MATSA, 2011

Após extração da rocha desmontada, se procede ao preenchimento da câmara vazia, através do bombeamento de pasta de cimento, alimentado desde o nível superior. Uma vez que a câmara esteja preenchida, este atua como pilar e pode prosseguir-se, após a cura, a explorar as câmaras seguintes. O desenvolvimento das galerias é chave para integridade do método de lavra e para garantir a segurança (não somente das galerias, mas das câmaras que se vão abrir, a partir da estrutura anterior).

3.4.4 Perfuração

A perfuração é variável, quando em avanço em galerias é horizontal, e de acordo com a frente de rocha. Se a perfuração é em câmaras, ela pode ser realizada tanto ascendente como descendente. Pode-se executar furos descendentes em leque, a partir do teto, de maneira centralizada. O padrão de perfuração é projetado e aprovado para cada desmonte, e depende do contorno real a desmontar, levando-se em consideração o resultado do desmonte da galeria, ou câmara anterior. Para perfuração se empregam equipamentos de última tecnologia do tipo jumbo (também para perfuração de chaminés), Figura 15.

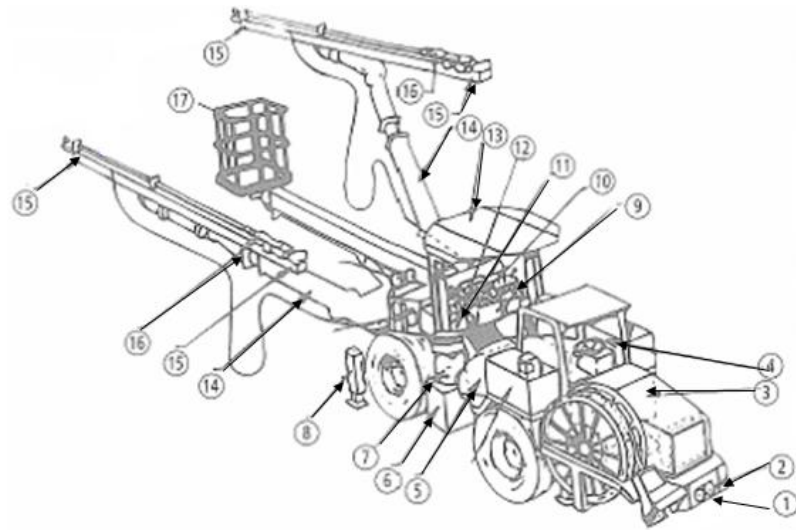


Figura 15 - Representação da perfuratriz jumbo

- | | |
|----------------------------------|--|
| (1) (2) – Sistemas de iluminação | (9) (10) (11) (12) – Comando de perfuração |
| (3) – Motor diesel | (13) – Teto de proteção |
| (4) – Cabine de comando | (14) – Braço hidráulico |
| (5) – Tanque principal | (15) – Coluna do martelo hidráulico |
| (6) – Bomba hidráulica | (16) – Martelo hidráulico |
| (7) – Motor elétrico | (17) – Cesta ou plataforma de trabalho |
| (8) – Sistema de estacionamento | |

3.4.5 Carregamento

O controle de carregamento se dá por via remota, cujo operador se encontra em local apropriado, Figura 16. O carregamento se faz a partir da câmara onde ocorreu o desmonte e os caminhões são posicionados o mais próximo possível das vias de serviço e/ou transporte.



Figura 16 - Pá carregadeira LHD Caterpillar R2900G

3.4.6 Transporte

Utiliza-se de caminhões rodoviários que são carregados diretamente por carregadeiras; o trajeto principal de saída utiliza a rampa principal, Santa Bárbara, Figura 17.



Figura 17 - Caminhão Volvo sendo carregado através da LHD

3.4.7 Preenchimento

Para continuidade da lavra em condições que assegurem estabilidade e segurança do projeto se procede ao preenchimento das câmaras lavradas com uma pasta de material cimentante. Após preenchimento e tempo de cura, que garante a estabilidade, se pode proceder a extração das câmaras do mesmo nível ou superior. O preenchimento das câmaras vazias apresenta vantagens:

- Melhor aproveitamento do depósito;
- Maior segurança e estabilidade;
- Ambiental: garantir que não ocorra subsidência e redução de depósitos controlados no ambiente externo.

3.5 METODOLOGIA

O explosivo que se utilizava era ANFO, a granel, carregado diretamente no furo. A seção escavada corresponde a uma superfície de $24,4 \text{ m}^2$ (aproximadamente $5\text{ m} \times 5\text{ m}$). Para o carregamento do desmonte se utiliza dinamite de $32 \times 200 \text{ mm}$ para iniciar os furos pelo fundo.

O consumo de ANFO em um desmonte padrão é de 327 Kg aproximadamente para uma densidade de 900 kg/m^3 e $44,0 \text{ kg}$ de dinamite de $32 \times 200 \text{ mm}$, como cartucho iniciador do furo.

Para um arranque médio de 81% sobre a perfuração real de $4,2 \text{ m}$, se estima um consumo específico de $4,47 \text{ kg/m}^3$ sobre os $3,62 \text{ kg/m}^3$ teóricos. As explosões secundárias eram frequentes.

3.5.1 Testes

Planejou-se uma série de testes para verificar a possibilidade de utilizar produto a granel na Mina de Águas Teñidas. Para tanto os testes se realizam segundo critérios próprios,

de modo que a serem feitos em galerias específicas, com explosivo a granel. Por outra parte, a empresa fornecedora de explosivos também propôs realizar uma série de testes variando-se explosivos encartuchados, de diferentes energias (potência e gases), com objetivo de indicar aquele mais adequado para as atividades desenvolvidas na mina.

Com a intenção de melhorar o desempenho do desmonte realizado na Mina de Águas Teñidas, propôs-se mudança do tipo ANFO por um explosivo tipo emulsão, a granel. Outra opção foi testar outro programa de perfuração e de sequência de iniciação, de maneira a aproximar mais os furos do pilão, tanto em distância como nos tempos de saída, buscando concentrar mais energia na liberação dos furos do pilão.

3.5.2 Planos de desmonte

3.5.2.1 Troca de explosivo

Os desmontes de desenvolvimento (avanço em galeria 5 x 5m) foram realizados com furos horizontais de diâmetro de 51 mm, profundidade média de 4,2 m e como carga de fundo cartuchos de dinamite 32 x 200 mm (iniciador dos furos), com alta potência e densidade. Os furos são carregados com emulsão ($\rho = 1,20 \text{ g/cm}^3$), agente explosivo sensibilizado por micro esferas, de alta energia, densidade e boa resistência a água. O sistema de iniciação é o não elétrico (Série LP), iniciados pelo fundo da mina, com diferentes tempos para realizar a sequência mais adequada.

Os detonadores não-elétricos são conectados por uma linha-tronco de cordel, com gramatura de 6g/m, que é iniciado por detonador elétrico apropriado. O carregamento dos furos não é homogêneo, devido às características da perfuração e variação da concentração de cargas. Dos 4,2 m perfurados deixa-se 0,5 m livre, para servir de tampão. Com este sistema de desmonte são realizados 6 furos centrais sem carga (de 4" ou 102 mm), totalizando 58 furos carregados mas 64 perfurados. A densidade linear de carga é de 2,45 kg/m, e o total de explosivo consumido varia entre 400 e 500 kg de emulsão. Na Figura 21 observa-se recipiente de armazenamento para emulsão a granel utilizado em minas subterrâneas, que serve para carregamento de furos na frente de rocha, através de bomba disposta abaixo dele.

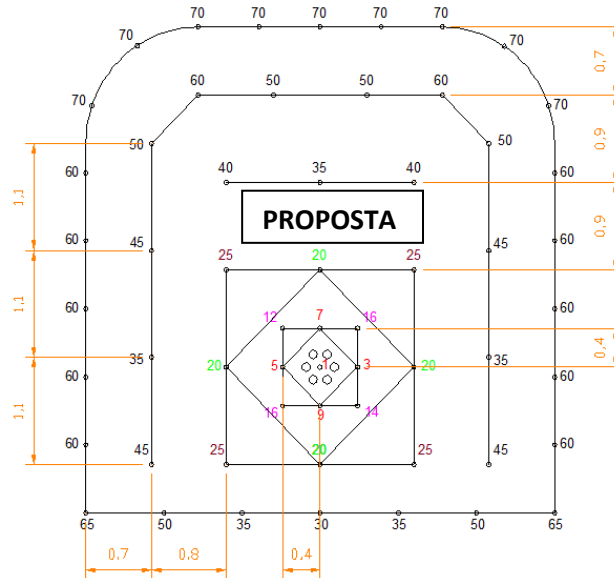


Figura 18 – Modelo proposto

Para uma perfuração eficiente é essencial uma localização precisa dos furos a serem executados. Em geral, isto é feito utilizando-se tinta spray, de cor vermelha, que oferece boas condições de visibilidade para posicionamento da perfuratriz na frente de rocha. Figuras 24 e 25.



Figura 19 – Marcação de esquema de furos para execução.



Figura 20 - Perfuratriz em operação na frente de rocha.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 TESTE 11-04-2012

Em 11 de abril de 2012 perfura-se a rocha em 51 mm para realizar o primeiro teste com o novo explosivo e projeto de perfuração. A rocha a ser desmontada apresentou alto teor, em minério, dura e com densidade de 4 g/cm^3 .

A quantidade de explosivo, emulsão a granel foi de aproximadamente 550 kg e o arranque médio foi de 3,5 m, com os furos possuindo profundidades distintas (3,5 m, em média) e sendo carregados integralmente, com bastante dificuldade devido à presença de material advindo da perfuração. Isso reduz o consumo específico do desmonte.

Inconvenientes ocorreram, por exemplo, os furos do lado direito do realce apresentaram baixa profundidade, se comparados com os demais, o que poderia afetar no resultado do desmonte.

A emulsão apresentou densidade média de 1250 kg/m^3 e o consumo de dinamite (cartuchos de 32 x 200 mm) no desmonte foi de 13,5 kg. A Figura 26 ilustra uma operação realizada neste dia.



Figura 21 - Serviço de conexão dos detonadores

O resultado foi o corte com 100 % de eficiência sobre a perfuração real de 3,5 metros. Isto foi relevante para o primeiro teste, acrescenta-se que não ocorreram explosões secundárias de

enxofre. A fragmentação foi classificada como boa e a operação de carregamento realizada das 16h30min às 17h35min, com mais rapidez de que aquela com ANFO.

Os resultados deste primeiro teste permitiu projetar-se outro, na medida em que supriu os efeitos desejados e correspondeu ao que estava planejado.

4.2 TESTE 19-04-2012

Em 19 de abril de 2012 manteve-se a perfuração em 51 mm, porém a rocha era estéril com densidade de $2,7 \text{ g/cm}^3$.

O carregamento foi iniciado às 13h30min e finalizado às 14h20min. Neste desmonte foram perfurados 62 furos, dos quais 56 foram carregados. Neste desmonte dois furos que não foram perfurados fariam parte do realce e devido a falhas na operação de perfuração não puderam ser executados, o que representou uma interferência no planejamento do desmonte.

O consumo total de explosivo foi de 556,25 kg, sendo 542,92 kg de emulsão e 13,33 kg de dinamite. A distribuição de explosivos por furos está na Tabela 1.

Tabela 1 – Carga de explosivo por zonas da galeria perfurada

Furo	Pilão	Contra-Pilão	Realce	Levante	Contorno
Quantidade	5	4	21	7	19
Dinamite (kg)	1,190	0,952	4,998	1,666	4,522
Emulsão (kg)	51,21	40,43	209,97	73	168,56
Total de Explosivo (kg)	52,40	41,38	214,96	74,43	173,08

Note-se a quantidade de explosivo aplicado por zona do programa de perfuração e observe-se que apesar da maioria parte do explosivo ser aplicado no realce, o bom resultado deste depende do explosivo localizado no pilão e contra-pilão.

Neste teste o avanço médio foi de 3,2 metros sobre os 3,5 metros perfurados. Também não ocorreram explosões secundárias de enxofre e a fragmentação foi considerada boa.

A análise que se pode fazer é que a ausência dos dois furos reduziu o consumo específico do desmorte, apresentando deficiência de energia de explosão para que o arranque de rocha fosse de 100%. Ainda assim os resultados continuaram sendo importantes, principalmente porque novamente não houve explosão secundária.

4.3 TESTE 27-04-2012

No dia 27 de Abril de 2012 segue perfurando-se em 51 mm e a rocha a desmontar é de minério, rocha dura, com densidade de 4 g/cm^3 . A operação de carregamento dos furos começa as 14:45 e é finalizada as 15:30.

Neste desmorte dois furos não foram carregados, um localizado no levante e o outro na zona de realce. O avanço real em rocha foi de 3 metros sobre os 4 metros perfurados, apresentando um arranque de 75 %, sendo o consumo específico real do desmorte de $7,8 \text{ kg/m}^3$ sobre $5,85 \text{ kg/m}^3$ teóricos. O consumo de emulsão foi de 572,32 Kg e 13,33 Kg de dinamite.

Mais uma vez não houve explosões secundárias de enxofre e a fragmentação considerada boa. A figura 27 representa uma das operações realizadas em tal dia.



Figura 22 - Operação de carregamento dos furos de levante

4.4 TESTE 18-05-2012

No dia 18 de Maio de 2012 perfura-se em 51 mm e a rocha a desmontar é de minério, com densidade de 4 g /cm³. A operação de carregamento do desmorte começa as 13:35 e é finalizada as 14:15.

Neste desmorte três furos não foram carregados, todos localizados no lado esquerdo do contorno do teto. Este fato ocorreu devido às péssimas condições de perfuração, sendo que os furos estavam interconectados por fissuras na rocha, isto porque os furos foram perfurados muito próximos um do outro, estando fora dos padrões do plano de desmorte. Além disso, na parte superior esquerda do realce um furo foi carregado somente pela metade devido à presença de material da perfuração.

Estes fatos prejudicam a eficiência do desmorte, representam perda de tempo e compromete os testes, por isso a necessidade de um responsável técnico na frente de rocha, até mesmo para que possa explicar e justificar o baixo rendimento do desmorte.

O avance real foi de 3 metros sobre os 4 metros perfurados, apresentando arranque de rocha de 75 % sobre a perfuração. Não houve explosões secundárias por enxofre e a fragmentação considerada boa.

5 CONCLUSÕES

Se pode concluir com os dados apresentados nos testes que não se podem garantir maiores considerações acerca da otimização de arranque de rocha por desmorte. Esta otimização dos desmontes seria objeto de uma série de testes mais exaustiva que indicaria a seleção do desenho de perfuração mais adequado em função do arranque obtido para um consumo determinado, e da sequência ótima dos furos. A tendência das anteriores provas demonstra, em principio, que o diâmetro adequado seria de 51 mm; também deveria otimizar a profundidade do tampão para obter o máximo rendimento.

Um maior custo do desmorte não supõe um maior custo de produção do produto final, sendo necessário analisar todos os elementos em jogo para compreender que um incremento no custo do desmorte supõe na maioria das vezes uma redução do custo de produção. Assim,

se propõe a continuação dos testes, e que sejam mais exaustivos e programados, de maneira que se possa verificar a possibilidade de redução do número de furos nos e comparar os resultados obtidos para então poder eleger a melhor combinação.

A emulsão utilizada nos testes é totalmente segura em sua manipulação e finaliza a questão de explosões secundárias. A maneira de carga a granel com emulsão consta de todos os elementos de segurança necessários e suficientes para este tipo de lavra e melhora o ambiente na frente de lavra se comparamos com o ambiente de carregamento de um desmonte com ANFO. Quanto à otimização das condições de contorno do teto das galerias uma proposta é a troca de detonadores não elétricos por detonadores eletrônicos.

6 REFERÊNCIAS

ALDANA, L, Las minas de Riotinto, Espanha, editora La prensa 1875

CARRASCO, I., Historia da Faixa Piritosa Ibérica, 2003)

IEES, International Society of Explosives Engineers, Blasters Handbook, Cleveland, 1998.

JOSÉ G. E., Geologia e Geoquímica da FPI, 2007

LOPEZ JIMENO, C., Manual de perforación y voladura de rocas, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 1994.

MATSA, 2011

SANCHIDRIAN, J. A., MUÑIZ, E., Curso de Tecnología de Explosivos, Fundación Gómez Pardo, Madrid, 2000.

UEE S.A., Manual de Empleo de Explosivos, Unión Española de Explosivos S.A., Madrid, 1997.

ANEXO A: TOPOGRAFIAS DOS DESMONTES COM RIOMEX UG (ANALIZE DOS AVANÇOS).

Na ordem:

Teste realizado no dia: 11/04/2012

Teste realizado no dia: 19/04/2012

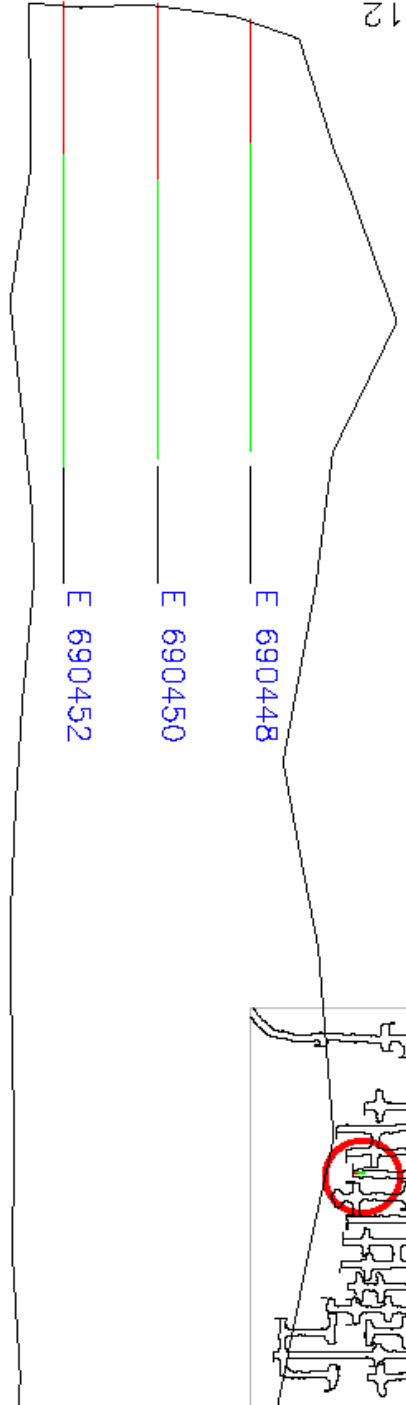
Teste realizado no dia: 27/04/2012

Teste realizado no dia: 18/05/2012



2012

2102-40-01



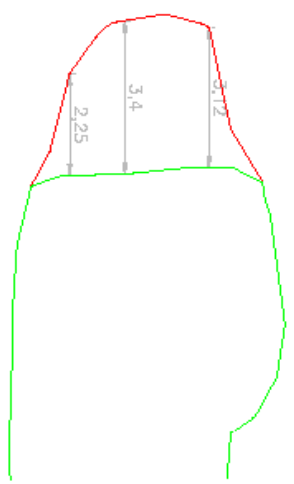
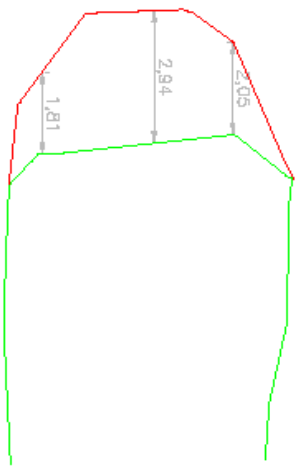
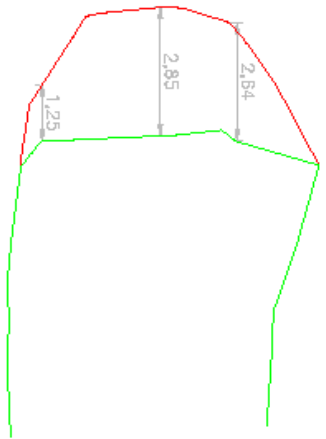
VOLADURA 28/04/2012

15-09-2010

E 690448

E 690450

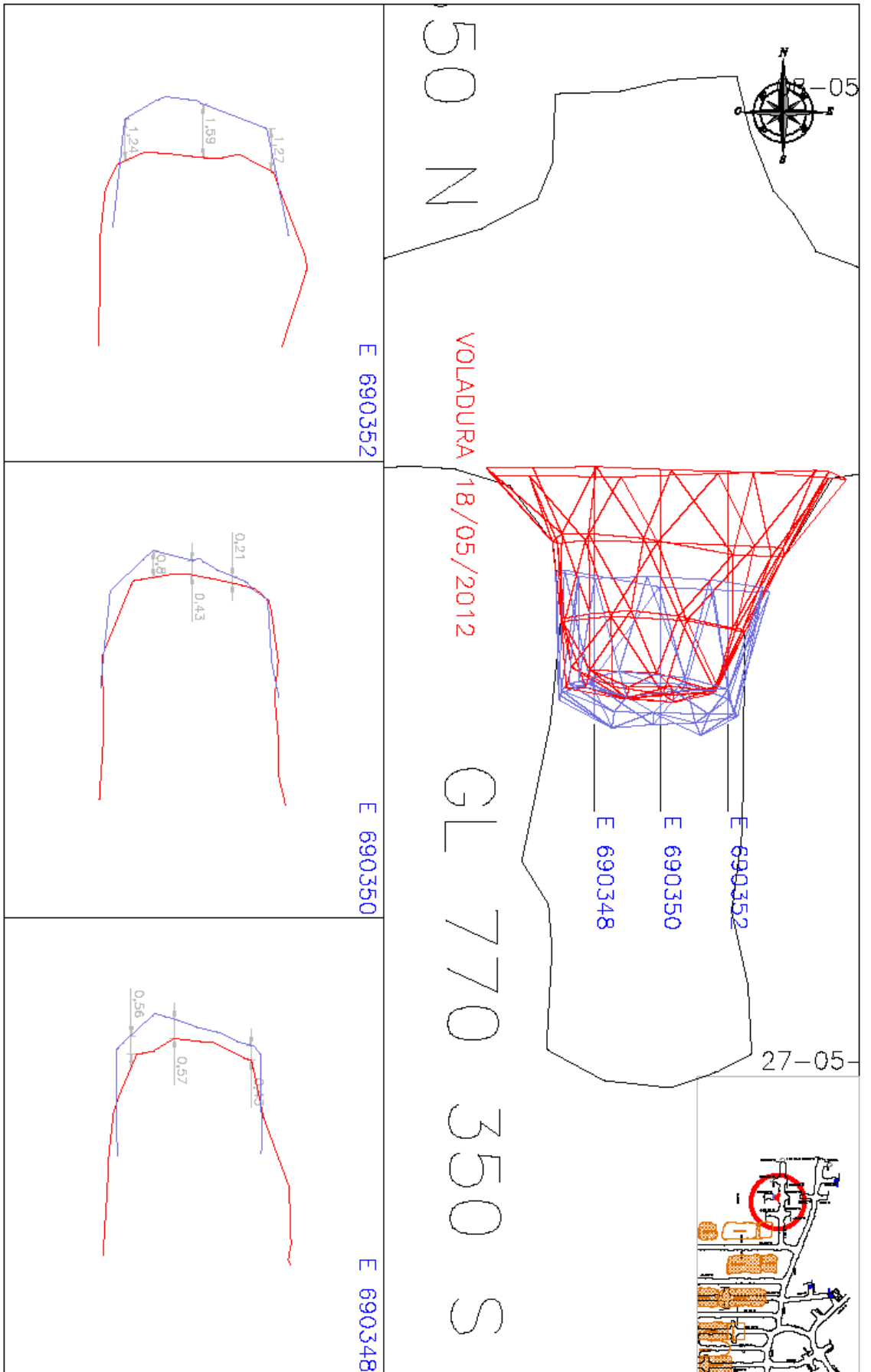
E 690452



AREA	PROY	FECHA	AREA	PROY	FECHA	AREA DE AVANCE 28/04/2012	DESCRIPCION	ESCALA	DEFINICION	AREA	NUMERO	REU
			Dr. Paulinho			28/04/2012	ESTUDIO DE AVANCE CON EMULSION	1/100	TOPOGRAFIA	780 450	1	1
			Dr. de Nira									
			Seguridad									
			Operativa									



MAQUINARIA DE ALTA PRECISION



AREA	FINCA	FECHA	AREA	FINCA	FECHA	Proyecto	ESCALA	DEPARTAMENTO	AREA	NUMERO	REG.
						area de aguas servidas, s.a.	1/100	BOGOTÁ	1	1	
Titulo			Dir. Geométrica			18/05/2012					
Linea			Dir. de Mro								
Geometria			Seguimiento								
Ordenamiento			Diferencias								

ESTUDIO DE AVANCE CON EMULSIÓN
GL 770 350 S

matrsa
MINISTERIO DE AGUAS TERRESTRES