

Tratamento do túnel de Santa Marina da linha de alta velocidade Madri-Extremadura

PABLO JIMÉNEZ GUIJANO*, AGUSTÍN TEJEDOR CASTAÑO**, RAQUEL CIENFUEGOS ÁLVAREZ***

Este é um claro exemplo de como resolver os problemas de abundância de água nos túneis em construção.

O túnel de Santa Marina tem um comprimento de 3 595 metros e faz parte da rota da linha de alta velocidade Madrid-Extremadura, Talayuela-Cáceres, seção Grimaldo-Casas de Millan. A obra foi adjudicada à UTE Ave Grimaldo-Casas de Millan (Construcciones Sánchez Domínguez - Sando S.A.; Obras Subterráneas S.A. - Ossa; Construcciones Sevilla Nevado) e o trabalho de assistência de controle foi adjudicado à UTE Santa Marina (Euroconsult; Paymacotas).

Os trabalhos de escavação do portal sul (localizado no terminal Casas de Millan) do túnel começaram em abril de 2011. Desde então os diversos canais que corriam ao longo da encosta drenavam as águas da escavação. Materiais escavados na boca do túnel, essencialmente compostos de ardósia, permitiam a circulação da água muito lentamente por meio do escoamento superficial. A primeira usina de tratamento de águas residuais da obra possuía capacidade de processamento de 35 m³/hora. Assim, enquanto a escavação passava por materiais predominantemente compostos por ardósia, os fluxos foram sendo absorvidos por esse sistema de purificação (figura 1).

À medida que a escavação progride, o volume de água e a quantidade de lama ge-



Figura 1 - Estação de tratamento inicial para o tratamento de 35 m³/hora

rada aumentam. Esse aumento no volume é favorecido pela presença de níveis decimétricos de ardósia e quartzito, o que favorece a circulação de água por fraturamento. Isso força a obra a dimensionar uma nova estação de tratamento capaz de depurar esse aumento no fluxo.

Decidiu-se construir maiores reservatórios de decantação e fazer uma ampliação na usina inicial para que ela pudesse tratar 80 m³/hora. Previamente à usina, foi instalado um aforador Pharsall de 6" e, em seguida, foram iniciadas as medições de vazão diária. Os valores medidos foram tão elevados que foi necessária a paralisação da escavação em andamento para abrir caminho para as obras de injeção e impermeabilização, reduzindo o fluxo (figuras 2 e 3).

Paralelamente ao túnel principal corre

uma galeria de evacuação, que vai sendo construída ao mesmo tempo em que o túnel. Quando se para a escavação do túnel em construção, os trabalhos na galeria continuam. Como resultado do agravamento à frente na galeria, gerando um fraturamento maior de quartzitos, presença de argila nas juntas e grande abundância de água, um desprendimento é originado, o que provoca aumento nos fluxos. Para resolver esses problemas, se estuda a possibilidade de ampliar a usina de tratamento de efluentes para que ela trate até 510 m³/hora, reforçando-a com dois filtros, um espessante de lama e um

maior número de reservatórios de decantação. Ao mesmo tempo em que o nível freático se reduz, o desprendimento se estabiliza completamente.

Continuando com os trabalhos na galeria de evacuação, o fluxo permanece praticamente inalterado. À medida que a escavação progride, o fraturamento à frente novamente aumenta, produzindo aumento do fluxo por vários dias (figura 4).

AMPLIAÇÃO

Dado que o volume de águas residuais gerado era de aproximadamente 510 m³/hora, com uma concentração média estimada de



Figura 4 - Andamento da construção do túnel



Figura 5 - Ampliação da estação depuradora

3 000 mg/l e máximo de até 25 000 mg/l, foi construída uma estação de tratamento de efluentes capaz de tratar esse fluxo.

O projeto de tratamento de efluentes foi realizado com a finalidade de se obter índices finais de qualidade que cumprissem com os requisitos da Confederação Hidrográfica do Tejo sobre a matéria e para a sua descarga em canal público; esses índices são: pH: 6,0-9,0; S.S.: ≤35 mg/l; DBO₅: ≤5 mg/l; DQO: ≤125 mg/l; óleos e gorduras: < 20 mg/l.

A unidade de tratamento instalada permite o tratamento de águas industriais e lama gerados nas obras de perfuração do túnel principal e da galeria de evacuação (figura 5).

ETAPAS DE TRATAMENTO

Considerando o sistema de operação

1) Sistema de entrada do tratamento: esse sistema consiste de um labirinto tranquilizador e de mistura, onde são aditivados coagulantes e floculantes para possibilitar a separação por gravidade dos sólidos presentes na água.

2) Reservatórios de entrada: foram construídos cinco reservatórios para a recepção, adequação e distribuição das águas residuais. A água entra no primeiro reservatório, com dimensões 10 000 x 10 000 x 4 000 mm, do qual passa por transbordamento para o segundo reservatório, de neutralização, de 200 m³ de capacidade, no qual existem duas grades difusoras de CO₂. A água passa também por transbordamento para um terceiro reservatório e esses três reservatórios formam um sistema, a partir do qual a água é enviada, por tubulação, aos dois últimos reservatórios. Esse conjunto de reservatórios tem capacidade total de 1 000 m³.

3) O primeiro reservatório realiza a decantação primária e, a partir da neutralização,

a água é bombeada para uma sequência de decantadores laminosos. Também é feito o bombeamento de lama por meio de duas bombas submersíveis para extração da lama com passagem livre de 30 mm, que enviam a lama para tratamento.

4) Devido à quantidade do fluxo a ser tratado, o terceiro reservatório conduz parte da água por encanamento a uma nova sucessão de reservatórios. Esse conjunto é composto de um novo reservatório de neutralização com dimensões 80 000 x 8 000 x 4 000 mm, com duas novas grades difusoras para o ajuste do pH da água de entrada. Por transbordamento, passa a um novo reservatório onde a água é bombeada para uma segunda sequência de decantadores.

5) Sistema de tratamento das águas: consiste em dois subsistemas paralelos com os mesmos tratamentos, diferenciando-se o fluxo de água de cada uma. O bombeamento das águas residuais a partir do reservatório de neutralização é realizado por meio de bombas submersíveis. Na câmara de floculação ocorre uma diminuição da velocidade da água, de forma a se obter uma correta mistura dos coagulantes e floculantes.

6) O decantador de lama consegue separar e decantar as partículas e lamas floculadas. As lamas separadas são extraídas por uma válvula automática e enviadas para o tratamento correspondente. Ao final do tratamento, a água pode ser vertida para o canal (figura 6).

SISTEMA DE TRATAMENTO DAS ÁGUAS

As águas residuais entram no pro-

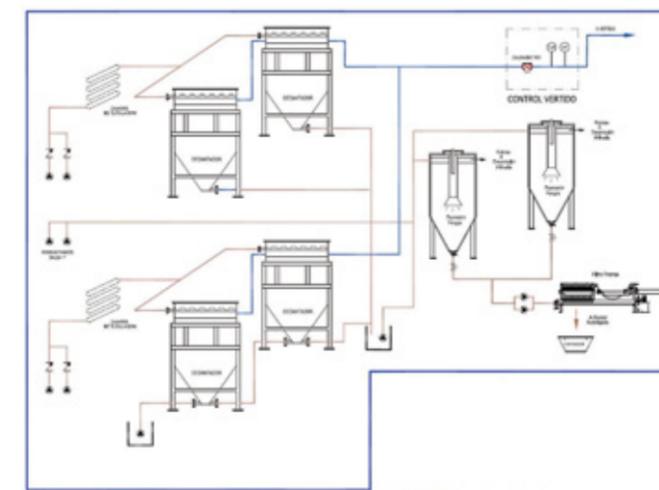


Figura 6 - Diagrama do fluxo

cesso diretamente pelo labirinto tranquilizador, fazendo com que a água que entra corra a uma velocidade adequada. Nesse labirinto também se utiliza o misturador adicional de coagulação e floculação.

Na saída do labirinto as águas são enviadas para os reservatórios de decantação primária e neutralização. No primeiro reservatório de decantação primária e nos dois reservatórios de neutralização ocorre a deposição de lamas, dado que em cada um se instalou uma bomba de extração que envia para o sistema específico de tratamento. A entrada em operação das bombas é controlada por boias de nível que são instaladas na caixa de bombeamento.

Nessa estação de tratamento, são empregadas duas câmaras de floculação, uma para cada subsistema descrito, de projeto serpenteante para facilitar a turbulência adequada da água e produzir uma mistura adequada com o aditivo. É nessas câmaras que se introduzem o coagulante e o floculante, de acordo com o fluxo de entrada para tratamento. A determinação da quantidade exata de coagulante e floculante é fixada experimentalmente, e, em sua seleção, se avaliam tanto o desempenho como o custo do aditivo. Para a dosagem do aditivo é utilizada uma bomba dosadora para uso em baixas pressões de descarga. Essas bombas podem funcionar a seco sem que sejam da-

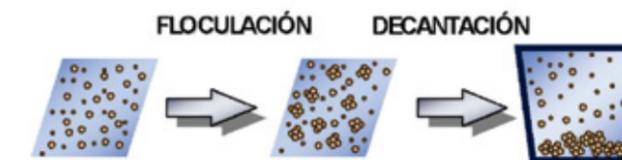


Figura 7 - Diagrama de floculação e decantação



Figuras 2 e 3 - Medidor Pharsall de 6"

nificadas e estão preparadas para funcionar ininterruptamente por 24 horas.

A água residual adequadamente aditivada entra numa série de decantadores para que se proceda à adequada separação dos flocos formados, clareando o fluxo de água. Nesse tipo de decantador, os flocos se aglomeram entre si durante a queda, aumentando gradualmente de tamanho e, portanto, a velocidade de sedimentação (figura 7).

Nesses equipamentos, o sólido, ao passar através das grades, decanta sobre sua superfície e desliza por causa de sua inclinação até cair no fundo do tanque, onde ocorrem a remoção ou extração. Uma vantagem desses equipamentos é que requerem menos espaço e são unidades mais compactas.

Foram instalados quatro decantadores laminares, dois de dimensões 2 500 x 3 000 x 5 000 mm e dois de 4 000 x 4 000 x 5 000 mm, com maior capacidade de decantação. O tempo de retenção do decantador com fluxo máximo é de 20 minutos, facilitando a adequada decantação dos sólidos.

Para a extração dos sólidos separados pelo decantador há uma bomba pneumática, com projeto de conduto umedecido, tecnologia de diafragma progressivo e operação livre de escapamento durante a vida útil da bomba.

Essas bombas extraem as lamas separadas por meio de seu acionamento programado e as enviam ao espessante de lamas.

Para controle do extravasamento, foram instalados um medidor de fluxo, um medidor de pH e um medidor de turbidez, o que permite verificar, a qualquer momento, se o derramamento está dentro dos limites estabelecidos por lei.

SISTEMA DE TRATAMENTO DE LAMAS

As lamas separadas nos reservatórios são bombeadas para seu respectivo tratamento por meio de bomba especial para transferência de lama, que se move pelo reservatório suspensa por um diferencial, o qual envia as lamas para os espessantes.

As lamas bombeadas a partir dos reservatórios e o material extraído dos decantadores laminares por meio de bombas pneumáticas se unem no mesmo sistema de tratamento, sendo tratados por um sistema de espessamento por gravidade, procedimento que permite aumentar o teor de sólidos da lama por eliminação de parte da fração líquida. Nesse caso, o flutuante obtido retorna ao reservatório de entrada para posterior tratamento.

A segunda etapa do tratamento da lama corresponde à desidratação acima mencionada por filtro prensa. Nesses equipamen-

tos, a desidratação é feita forçando a evacuação da água existente na lama pela aplicação de alta pressão. Suas vantagens são várias, incluídas as altas concentrações de sólidos no bolo, a obtenção de um líquido filtrado muito claro, a elevada captura de sólidos e o baixo consumo de produtos químicos (figura 8).

As lamas espessadas e secas, após considerável redução de seu volume, são removidas por meios mecânicos e levadas para aterros.

DIMENSIONAMENTO DA ESTAÇÃO

O cálculo foi feito para um fluxo médio de trabalho de 510 m³/hora e carga poluente média de sólidos em suspensão de 3 000 mg/l, com máximo de 25 000 mg/l.

Os dados iniciais para o cálculo do tamanho da estação de tratamento foram os seguintes: volume de água diário: 12 240m³/dia; fluxo médio horário: 510 m³/hora; fluxo máximo horário: 520 m³/hora; carga SS: 3 000 mg/l (figura 9).

Dimensionamento do sistema de água

Na decantação primária, levando-se em consideração para o projeto os valores de 45 m³/m².d de carga superficial para um fluxo médio e 2h de tempo de retenção, obtém-se:

$$Carga = \frac{Q}{S} \Rightarrow 45 \frac{m^3}{m^2 \cdot d} = \frac{12240 \frac{m^3}{d}}{S} \Rightarrow S \approx 272 m^2$$

$$V = Q \cdot t, \Rightarrow V = \left(12240 \frac{m^3}{d} \cdot \frac{1d}{24h} \right) \cdot 1h \Rightarrow V \approx 510 m^3$$

$$V = Q \cdot t, \quad V = S_s \cdot x \cdot h$$

Igualando essas fórmulas:

$$h = \frac{Q \cdot T_r}{S_s} = \frac{510 \frac{m^3}{h}}{200 m^2} = 2,55 m$$

Foram construídos cinco reservatórios com um volume global de decantação de 3 600 m³ de capacidade. Com esse dimensionamento, conseguimos um rendimento mínimo para a carga poluente de 50%, de modo que a concentração de saída dessa etapa será



Figura 8 - Filtro prensa da estação de tratamento



Figura 9 - Localização da estação de tratamento

de 1 500 mg/l, que consideraremos a carga de entrada para a etapa seguinte (figura 10).

A dosagem ótima de coagulante pode ser estimada em 25-30 mg/l. Considerando-se essa dose, a quantidade de coagulante consumida diariamente por uma operação contínua de 24 horas, é:

$$\frac{11.25 L_{coag}}{h} \cdot 24 h = 270 L$$

Para determinar o tamanho dos equipamentos de decantação laminares, utilizou-se o índice de sedimentação. Para partículas típicas de água residual, pode-se estimar o parâmetro de 1,15 m³/hora por m² de área projetada horizontal.

$$IS = \frac{Q}{S} = 1,5 \frac{m^3}{m^2 \cdot h} = \frac{510 \frac{m^3}{h}}{S} \Rightarrow S = 340 m^2$$

Considerou-se o uso de embalagens laminares com uma inclinação de 60° e espaçamento laminar de 80 mm com placas de 1 040 x 940 mm. A superfície equivalente de cada uma delas foi de:

$$\cos 60 = \frac{L}{1.040} \Rightarrow L = 611$$

$$S_{equiv} = L \cdot 940 \Rightarrow S_{equiv} = 0,57 m^2$$



Figura 10 - Reservatório de decantação



Figura 11 - Estação de tratamento 510 m³/hora

Dimensionamento do sistema de lamas

Considerou-se um fluxo médio de águas residuais de 510 m³/h e um conteúdo médio de sólido em suspensão de 3 000 mg/l. A quantidade diária de sólidos trazidos para a estação é de 27 360 kg de fração seca. Uma saída adequada de 50 mg/l de sólidos gera 180 kg diários; assim, a diferença entre a primeira e a segunda é o total de kg de sólidos em suspensão a serem extraídos. Essa quantidade atinge o valor de 27 180 kg diários.

O espessamento pela gravidade requer um tempo de retenção aproximado de 2 horas, o que demanda um volume de espessante de 60 m³. Foram instalados dois espessantes: um de 50 m³, 4 000 mm de diâmetro e altura de 6 830 mm; e outro de 20 m³ e 3 000 mm de diâmetro.

A geração de lama é realizada por partes e seca 1 140 kg de sólidos em uma hora. Esses sólidos são extraídos do espessante de lama com uma umidade de 90%, o que significa que um volume de lama de 11 400 kg/h, com uma densidade de 1,3gr, resultará em um volume a ser tratado de:

$$11.400 kg \cdot \frac{1.000 dia}{kg} \cdot \frac{1cc}{1.3 gr} \cdot \frac{1l}{1.000 cc} \cdot \frac{1m^3}{1.000 l} = 8,77 m^3/h$$

O filtro prensa possui 80 placas com dimensões 1 000 x 1 000 mm de superfície e 0,03 m de espessura. Depois da filtragem, o bolo apresenta uma umidade máxima de 40%, de modo que a fração seca do bolo deve ficar em torno de 60% do volume total do filtro, ou seja, 1 848 kg, após uma hora. Isso supõe uma capacidade de filtragem superior à necessária em uns 20%.

Além disso, o tempo de duração do ciclo de filtragem é estimado em 40 minutos. Em 40 minutos, o filtro prensa pode tratar a lama em até 20% a mais do que aquela que é gerada em uma hora de trabalho, requerendo um filtro prensa superdimensionado em 50% a mais do que é necessário para o trabalho. Isso permite tratar possíveis picos de geração de lama e mesmo de outras lamas.

Consumo de aditivos

Em princípio, os aditivos envolvidos em tratamentos de água são: policloreto de alu-

mínio a 18% (coagulante); polieletrólito catiônico/aniônico (floculante); CO₂.

O consumo anual estimado, considerando-se 24h de tratamento por dia durante 365 dias por ano, isto é 4 467 600 m³/ano, são de: policloreto de alumínio: 475 Tm/ano; polieletrólito aniônico /catiônico: 24 Tm/ano; CO₂: 72 Tm/ano.

Potência elétrica instalada

Para o cálculo da potência elétrica necessária a ser instalada, foram levados em conta vários fatores, como o bombeamento de água, bombeamento de lama, dosagem de aditivos, preparação de polieletrólito, filtro prensa, compressor e a neutralização do CO₂. Considerando o modelo, características, unidades e potência necessária de cada um dos fatores acima, instalou-se uma potência de 150,18 KVA (figura 11).

Hoje...

Hoje estão terminados os trabalhos de escavação do túnel principal e da galeria de evacuação. A estação de tratamento de águas residuais conseguiu resolver todos os problemas surgidos durante a fase de escavação, depurando a grande abundância de águas e adequando-as para o cumprimento dos parâmetros de água poluente previstos nos regulamentos em vigor para a descarga em canais públicos.

A unidade de tratamento de águas residuais continua a funcionar 100% para um regime de 17 l/s, enquanto a execução do túnel está em fase de impermeabilização e revestimento.

CONCLUSÕES

Para cortar os materiais quartzíticos com ardósia durante a fase de escavação em andamento na boca sul do túnel de Santa Marina, geraram-se grandes volumes de água não previstos, e o sistema de depuração existente não foi suficiente. Com isso, foi necessário optar por projetar uma estação de tratamento de efluentes capaz de tratar os grandes volumes de água gerados, apesar de terem sido feitas injeções de impermeabilização no túnel. Os fluxos foram medidos com um medidor de nível Pharsall de 730 m³/hora.

Tomou-se a decisão de ampliar a estação de tratamento inicial de um fluxo de processamento de 35 m³/hora para uma estação de tratamento com capacidade de processamento de 510 m³/hora. Para essa finalidade, foram construídos vários reservatórios de decantação de grande capacidade, ampliando-se significativamente o sistema de tratamento de depuração-decantação.

Depois de instalada, a usina de tratamento de água pode tratar vazões de até 510 m³/hora, com uma concentração média estimada de 3 000 mg/l e pico de até 25 000 mg/l. Para isso, criou-se um sistema de entrada do tratamento que consistia de um labirinto tranquilizador e de mistura, onde se adiciona o coagulante e floculante para possibilitar a separação por gravidade dos sólidos presentes nas águas.

A etapa seguinte consistiu na construção de cinco reservatórios de decantação para a recepção, adequação e distribuição das águas residuais; a água entra no primeiro reservatório, a partir do qual, por transbordamento, passa para o segundo reservatório, que é a neutralização (nos quais se encontram as grades difusoras de CO₂). A água também passa por transbordamento para o terceiro reservatório. Esses três reservatórios estão ligados e enviam o material para os dois últimos reservatórios através de dutos.

Na terceira fase, instalou-se o sistema de tratamento de água, composto por dois subsistemas paralelos com os mesmos tratamentos. Instalou-se o bombeamento de efluentes do reservatório de neutralização, a câmara de floculação e quatro decantadores laminares. Para a desidratação mecânica utilizou-se um filtro prensa, obtendo-se grandes vantagens, tais como altas concentrações de sólidos no bolo, um líquido filtrado muito clarificado, elevada captura de sólidos, e baixo consumo de produtos químicos. ☺

* Pablo Jiménez Guijano, ICCP, chefe de infraestrutura da Adif
 ** Agustín Tejedor Castaño, ICCP, diretor de obra da Ineco
 *** Raquel Cienfuegos Álvarez, ICCP, responsável pela qualidade, meio ambiente e I+D+i da Ossa Ossa Brasil: E-mail: alberto.hilaria@ossaint.com