

SISTEMAS DE PERFURAÇÃO COM AR COMPRIMIDO

Urandi Moreno Pires Corrêa¹

RESUMO

A perfuração rotopneumática com martelos de fundo, e a perfuração rotativa com circulação direta de ar, utilizando brocas tricônicas são os principais sistemas de perfuração com ar comprimido utilizados na construção de poços tubulares. Ambos os sistemas são influenciados por vários fatores, tais como: rotação, pull-down, pressão e vazão do compressor, rendimento do martelo de fundo, bits e tricônes.

Palavras-chave: Perfuração; Rotopneumático

1- SISTEMA ROTATIVO COM CIRCULAÇÃO DIRETA DE AR

1.1 Definição

É um conjunto de ferramentas com um movimento de rotação dado por uma mesa rotativa (fixa ou móvel). Por esse conjunto, circula o fluido de perfuração (ar), que vem do(s) compressor(es) passando internamente pela coluna de perfuração e saindo na broca. O ar retorna à superfície pelo espaço anular entre a coluna de perfuração e as paredes do poço, carregando os detritos resultantes da ação da broca; uma vez atingida a superfície estes detritos vão de encontro a uma coifa cônica perdendo a velocidade e depositando-se ao lado da boca do poço.

1.2 Aplicação

Em perfuração de poços para água, este sistema é aplicado para perfurar pequenas camadas sedimentares e rochas decompostas, em pequenos diâmetros (normalmente diâmetro 6.1/2" a 9.7/8"), sobre a rocha sã quando deve-se prosseguir o furo pelo sistema rotopneumático com martelo "Down-the-hole".

¹ Prominas Brasil Equipamentos Ltda. - Rua Dr. Alderico Vieira Perdigão, nº 1601 - Jardim Cruzeiro do Sul - 13572-060 - São Carlos - SP - Fone: 016 275-3111 - Fax: 016 275-3110-E-Mail: prominas@linkway.com.br

1.3 Principais fatores que influem no rendimento de perfuração

1.3.1 Rotação e tipos de brocas

Como este sistema em poços para água é aplicado apenas em alguns casos, geralmente utiliza-se das mesmas brocas tricônicas empregadas no sistema com lama, na mesma faixa de pesos e rotações.

Para assegurar uma ótima vida útil da broca, deveremos ter volume de ar suficiente, a uma pressão adequada, com o peso e a velocidade de rotação recomendadas.

As brocas deverão ter boquilhas (bico injetor de ar) com aberturas adequadas, por onde o ar deve ser expelido com alta energia para refrigerar a broca, remover todos os detritos da formação perfurada e manter o fundo dos dentes da broca limpos todo tempo. Em alguns casos injeta-se água ou espumante.

1.3.2 Coluna de perfuração

a) Hastes

Para este sistema, o diâmetro das hastes é um fator muito importante, pois terá que ter diâmetro compatível com o diâmetro do furo e capacidade do compressor (vazão) para promover uma velocidade anular dentro de valores estabelecidos para a operação do sistema.

b) Comandos

É tão importante como na perfuração com lama, tem as mesmas finalidades.

1.3.3 Compressor

O compressor deverá produzir um volume de ar suficiente para provocar uma velocidade anular de retorno de 3000 pés/min para detritos leves de 5000 pés/min para detritos mais pesados.

Para determinarmos o volume de ar requerido do compressor, utilizaremos da equação:

$$Q = \frac{V}{183,35} (D^2 - d^2)$$

onde:

Q = volume de ar necessário (pés³/min)

V = velocidade anular de retorno (pés/min)

D = diâmetro do poço (polegadas)

d = diâmetro do hasteamento (polegadas)

Quando tivermos a capacidade do compressor disponível para operação, o diâmetro do poço e das hastes, calcularemos a velocidade anular pela equação.

$$V = \frac{183,35 \times Q}{(D^2 - d^2)} \text{ (pés/min)}$$

2- SISTEMA DE PERFURAÇÃO ROTOPNEUMÁTICA

2.1 Generalidades

O esforço para substituir as sondas percussoras a cabo convencionais por novas concepções que apresentassem rendimentos de perfuração maiores, levou à construção das sondas roto-pneumáticas. Inicialmente foram desenvolvidos equipamentos rotopercussores que atuavam sobre as hastes de perfuração, fora do furo, denominadas sondas “DRIFTER”, ou de cravação.

As sondas “DRIFTER” utilizavam martelos pneumáticos ou hidráulicos instalados na torre da perfuratriz. O martelo, ou pistão, descarregava sua energia sobre a rocha através de golpes aplicados no topo da coluna de hastes, comandos, subs e broca, rompendo-a na forma de fragmentos. O ar comprimido injetado através da coluna de perfuração, e saindo através dos orifícios existentes na broca, executava a limpeza do furo, trazendo os fragmentos de perfuração para a superfície. Entretanto, a medida que a profundidade aumentava e outras hastes eram adicionadas à coluna de perfuração, a energia produzida pelos golpes do martelo chegava à broca cada vez mais reduzido, dissipando-se, devido à massa e às propriedades elásticas das hastes. Consequentemente, a velocidade de penetração na formação diminuía com a profundidade, chegando a anular-se. Somente quando foi iniciada a construção e introduzido o uso de martelos pneumáticos, tipo “Down-the-hole”, combinados com sondas rotativas, a perfuração a rotopercussão se impôs, sendo hoje aplicada na perfuração de diversos minérios, poços para água, furos de grande diâmetro para fundações, poços de petróleo, etc. Estes martelos retiram a energia necessária do ar comprimido injetado através das hastes e a transmitem diretamente a broca, que através de sucessivos impactos em alta frequência, perfura a formação rochosa. Portanto, uma vez que se forneça ao martelo a pressão e o volume de ar necessários, a velocidade de penetração na formação não diminuirá com a profundidade.

2.2 Vantagens do sistema de perfuração rotopneumática

O sistema rotopneumático foi utilizado originalmente para aumentar a produtividade (taxa de penetração) quando se perfuravam formações de rochas duras a muito duras. Posteriormente, uma série de outras vantagens permitiu a sua popularização na perfuração de formações consolidadas, onde a circulação de ar ou ar-espuma pode ser empregada. Entre estas vantagens destacamos:

1) Uma carga de pull-down sobre o bit de 500 lbs/pol (9 kg/mm) de diâmetro é suficiente para o uso de martelos “Down-the-hole”, ao passo que com brocas tricônicas a carga passaria a 3000 - 7000 lbs/pol (53,7 - 125,3 kg/mm). Elimina-se o uso de pesados comandos e por conseqüência diminui-se o pull-back necessário ao equipamento de

perfuração. Poços mais profundos podem ser perfurados pelo sistema rotopneumático utilizando-se sondas de perfuração de pequeno porte;

2) Os martelos tipo “Down-the-hole” perfuram poços com melhor verticalidade, pois seu poder de perfuração vem de uma percussão de alta-frequência, e não de elevadas cargas de pull-down. O pistão do martelo golpeia o bit diretamente, evitando que a coluna de perfuração se flambe e desvie o furo, pois a carga de pull-down, neste caso, é relativamente pequena;

3) O torque e a velocidade de rotação necessária, ambos aplicados à coluna de perfuração, são menores em relação à perfuração pelo sistema rotativo com brocas tricônicas;

4) A limpeza dos fragmentos de perfuração existentes no furo é muito mais efetiva com uso de ar comprimido do que com uso de lama de perfuração. Isso mantém o bit de perfuração sempre em contato percussivo com a rocha, aumentando o rendimento da perfuração.

3 - DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DE UM MARTELO DOWN-THE-HOLE

O martelo é o principal responsável pelo rendimento da perfuração, pois é ele que transmite a energia de impacto que faz o bit romper a rocha. Um pistão existente no interior da camisa do martelo é acionado pelo ar comprimido, batendo, no final de seu curso, sobre a cabeça da broca ou “bits”.

O bit por sua vez é dotado de botões de metal duro (carbeto de tungstênio), e fragmenta a rocha ao golpeá-la. Após acionar o pistão, o ar comprimido injetado é expelido através do próprio bits, saindo por orifícios existentes na cabeça do mesmo, efetuando a limpeza do furo, e trazendo à superfície os fragmentos da perfuração. Quando o martelo está em posição retirada com relação à superfície da rocha, no fundo do furo, o bit fica em posição inoperante, permitindo que o ar flua livremente. Isto proporciona um efeito especial de sopro ou de lavagem, o qual é freqüentemente empregado durante a perfuração, para que sejam expelidos os materiais grosseiros “flutuantes” sobre o martelo, ou para aliviar a coluna d’água existente no poço.

Apesar de não ocorrer dissipação de energia nas hastes, como descrito no item anterior, o atrito do ar no interior das hastes e no espaço anular entre as hastes e a parede do poço, produz uma perda de energia que reduz lentamente a velocidade de penetração para uma mesma rocha. Aumentando-se a pressão do ar, esta perda de energia é compensada. Em um aumento superior aumenta-se a energia do pistão e, conseqüentemente, se obtém uma maior velocidade de penetração.

4- PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUEM NO RENDIMENTO DA PERFURAÇÃO ROTOPNEUMÁTICA

A) Rotação:

Em perfuração roto-pneumática a única função da rotação é dirigir o impacto de cada botão do bit para novos pontos de rocha sã. Por outro lado, os botões periféricos dos bits, são responsáveis pelo seu calibre do furo, sendo muito sensíveis à velocidade de rotação. Assim, se a velocidade de rotação for muito baixa, ocorrerá o impacto dos botões contra material já fragmentado, resultando em uma redução da taxa de penetração e uma pulverização desnecessária dos fragmentos de perfuração. Se a velocidade de rotação for muito elevada, os botões periféricos sofrerão desgaste acelerado, devido ao atrito com as paredes do poço, reduzindo a vida útil do bit.

A velocidade de rotação adequada é um recalco entre a velocidade de penetração e a vida útil do bit. O sondador, como regra geral, deve reduzir a rotação gradativamente até que se inicie uma redução na taxa de penetração. Este é o ponto da velocidade da rotação.

A pressão do ar comprimido também afeta a rotação, pois quanto maior a pressão, maior será a frequência de golpes do bit e, portanto, maior deverá ser a rotação para evitar-se que os botões golpeiem material já fragmentado.

Cada fabricante de martelos "Down-the-hole" e bits recomenda uma faixa de velocidade de penetração diferente. Na prática, rotações baixas (10 a 15 rpm) para rochas duras e abrasivas dão vida útil longa ao bit, mas diminuem sua taxa de penetração.

B) Coluna de Perfuração:

B.1- Hastes

Geralmente para este sistema de perfuração a haste é selecionada em função da capacidade do(s) compressor(es) e diâmetros dos furos a serem perfurados. Terá que proporcionar uma área anular suficiente para que ocorra um bom rendimento de limpeza dos detritos perfurados. Para perfurações nos diâmetros de 6", 6.1/2" e 8", com compressores de 600 a 750 cfm, a haste de diâmetro 4.1/2" é a mais indicada e utilizada.

B.2- Comandos

É aconselhável a utilização de uma ou duas barras de comandos logo acima do martelo, pois elas darão ao furo uma melhor verticalidade e alinhamento.

B.3- As hastes e comandos devem ser externamente lisas, fabricadas em tubos API de alta qualidade e os tools-joints macho e fêmea com rosca API cônica. A execução completa deverá ser de acordo com a norma API, afim de assegurar que sejam cumpridas as exigências referentes à fadiga do material, que estará sujeito às constantes pancadas e vibração.

C) Pull-Down e Pull-Back

As sondas roto-pneumáticas possuem, em geral um sistema de avanço combinado com um sistema de empuxo (peso) balanceado, que a qualquer instante e profundidade mantém o peso ideal sobre o martelo, com uma velocidade de avanço uniformemente variável de acordo com a dureza da rocha. Com isso obtém-se uma melhor taxa de penetração e uma maior vida útil dos bits e martelo.

Freqüentemente, as sondas percussoras a cabo são adaptadas com cabeçotes ou mesas rotativas para trabalho com martelos Down-the-hole. Neste caso, a inexistência de um sistema de avanço, como descrito acima, é compensada pelo uso de comandos sobre o martelo, combinado à uma constante tração da coluna de perfuração pelo cabo auxiliar da percussora, que suporta o cabeçote rotativo ou o Kelly da mesa rotativa.

A carga máxima a ser mantida sobre o martelo depende de cada modelo e de normas estabelecidas pelo seu fabricante. A Ingersol-Rand recomenda, para sua linha DHD, um peso de 250 a 500 lbs (113,4 a 226,8 kg) para cada polegada de diâmetro do bit. Assim, por exemplo, para um bit de diâmetro 6" necessitaríamos um peso de aproximadamente 680,4 kg.

A aplicação de maiores cargas sobre o martelo acelera o desgaste dos bits, exige mais capacidade de torque do sistema rotativo (mesa ou cabeçote móvel) e pode causar deformações no corpo do martelo, sem que qualquer aumento de produtividade seja assim obtido.

Por outro lado, a falta de peso sobre o martelo é causa comum da ruptura do pescoço (shank) do bit e perda dos botões do mesmo. A energia de impacto do pistão do martelo é quase totalmente absorvida pelo bit, com pequena transmissão à rocha, gerando trincas internas no metal e fazendo com que os botões "saltem fora" do corpo.

D) Compressor

Qualquer sondador de uma sonda rotativa sabe que quanto mais peso tenha sua coluna de perfuração e quanto mais vazão tenha sua bomba de lama, maior será o rendimento da perfuração e melhor a limpeza do furo. O mesmo ocorre em perfuração roto-pneumática. A pressão do compressor determina a taxa de penetração (m/h) para um mesmo martelo, em um mesmo diâmetro e no mesmo material rochoso. Por exemplo, dados da Ingersoll-Rand para seu martelo DHD-260, já fora de linha, indicam que, no granito duro, no diâmetro de 6.1/2", a 100 psi a taxa de penetração é de 5,8 m/h, a 150 psi é de 10,4 m/h, e a 250 psi é de 18,9 m/h, em média.

A profundidade máxima que pode ser perfurada por uma sonda roto-pneumática, depende, não só do peso de hastes e comandos que a máquina pode levantar, mas também da pressão máxima de trabalho do compressor. A profundidade máxima poderá ser calculada pela relação entre a pressão máxima de trabalho do compressor deduzindo-se a coluna hidrostática de água no furo, as perdas de carga (pressão) que ocorrem no acionamento do martelo e as perdas por atrito nos condutos de ar da sonda, hastes e na área anular no poço.

A vazão do compressor determina a velocidade anular de saída dos detritos da perfuração. A velocidade de subida do material perfurado na área anular nunca deverá

ser inferior a 15 m/s (3000 fpm), sendo o ideal 25 m/s (5000 fpm). Se a vazão do compressor for insuficiente, os fragmentos de rochas perfurados não atingirão a superfície até que tenham sido reduzidos a um tamanho compatível com a velocidade anular existente. Isto reduz a taxa de penetração à medida que a energia do martelo está sendo utilizada na trituração de material já fragmentado e não na perfuração da rocha sã.

Para determinar se a velocidade anular é suficiente ou não, observe a saída das partículas na boca do poço. Deve ocorrer um fluxo contínuo e estável de partículas e/ou água a alta velocidade. Caso a saída das partículas se de a baixa velocidade ou descontinuamente, na forma de “golfadas”, a vazão de ar estará sendo insuficiente.

Normalmente, as sondas rotopneumáticas utilizam compressores com capacidade de 150 psi (10,5 bar) a 175 psi (12,3 bar), e 600 cfm (17 m³/min) a 750 cfm (21 m³/min), para profundidades de 100 a 150 metros e diâmetros de perfuração até 6.1/2", ou 80 a 100 metros e diâmetro de 8", para vazões de água nunca superiores a 10 m³/h.

Para grandes profundidades, de 200 a 250 m e vazões de água acima de 10 m³/h, são empregados compressores de 250 psi (17,5 bar) a 350 psi (24,6 bar). A vazão do compressor, neste caso, varia de 750 cfm (até 8" de diâmetro) a 900 cfm (diâmetros acima de 8").

Os compressores acima descritos geralmente são do tipo parafuso. Neste tipo de compressor, o ar é comprimido, em um ou dois estágios, pela ação de rotores de aço forjado, alojados dentro de uma carcaça e refrigerados a óleo. Existem vários fabricantes de compressores por todo o mundo. Entre os mais famosos, podemos citar:

- Gardner Denver: 600 cfm/300 psi
900 cfm/350 psi

- Hollman Compair: 750 cfm/170 psi
850 cfm/250 psi

- Sullair: 600 cfm/150 psi
750 cfm/150 psi
750 cfm/350 psi
900 cfm/350 psi

- Chicago Pneumatic: 750 cfm/150 psi
900 cfm/280 psi
750 cfm/350 psi

- Ingersoll Rand: 600 cfm/350 psi
750 cfm/300 psi
900 cfm/350 psi

E) Martelo “Down-the-hole”

Os martelos sofreram uma profunda evolução na última década, de maneira que hoje apresentam maior rendimento de perfuração, menor consumo de ar e menor número de peças. Ocorreram alterações não apenas a nível de projeto, mas sobretudo nos materiais aplicados na confecção dos martelos. Assim, metais mais resistentes às deformações físicas e ao desgaste por atrito, permitiram um adelgaçamento da camisa interna do martelo e um aumento do diâmetro do pistão. Aumentando-se a massa do pistão, aumenta-se a energia do golpe sobre o bit, e consequentemente a velocidade de penetração, para uma mesma rocha.

A aplicação de materiais com maior resistência ao desgaste permitiu aumentar significativamente a vida útil dos martelos. Para cálculo de custo sobre perfuração rotopneumática, a durabilidade dos martelos e os bits é de importância fundamental.

O mercado oferece hoje, vários tipos de martelos, que se distinguem pelas características construtivas, sendo indicados aqueles que possuem o menor número de peças móveis e válvulas, de modo a se garantir o menor número possível de interrupções. Entre as marcas existentes podemos citar:

- Diamantul - Brasil
- Fortez - Brasil
- Ingersoll-Rand - E.U.A
- Sandvick - Suécia
- Secoroc - E.U.A
- Epley - E.U.A
- Numa - E.U.A
- Bulroc - Inglaterra
- Halco - Inglaterra

Todos estes fabricantes garantem uma vida útil de seus martelos superior aos 7.000 m de perfuração, sendo que alguns os garantem até 10.000 m. Com exceção de Fortez e Diamantul, as demais empresas são também fabricantes dos bits, mencionados a seguir.

F) Bits

Os bits utilizados em perfuração rotopneumática são exclusivamente os chamados “Button Bits”, compostos de um corpo em aço-liga, com botões de carbeto de tungstênio inseridos no mesmo. Estes botões, por serem altamente resistentes ao impacto e desgaste, são distribuídos na face do bit, preservando-o do desgaste e aumentando seu poder de trituração, velocidade de penetração e vida útil. O bit apresenta saídas de ar com posicionamento fora de centro, o que permite uma melhor limpeza do furo, pois aumenta a área varrida diretamente pelo fluxo de ar. Chapinhas de metal, geralmente de uma liga de cobre, são colocados abaixo de cada botão, funcionando como absorvedores dos impactos e prevenindo assim a fratura dos botões.

Para alcançar altos rendimentos de perfuração e longa vida útil do bit, é imprescindível que os botões de carbeto de tungstênio sejam reafiados após um determinado desgaste. As Normas Técnicas e Procedimento para essa operação são discutidas no Apêndice I.

Os bits são fornecidos pelos seus fabricantes em diversas formas, com o objetivo de se obter a melhor performance possível para cada tipo de material perfurados.

O bit tipo FACE PLANA é o de configuração mais tradicional e de uso geral. É extremamente eficiente em material fraturado, tanto em formações de rochas duras como brandas, que tem a tendência de desviar o furo da vertical. Por outro lado, não é recomendável para as formações desmoronantes ou extremamente moles, pois a ausência de canais de fluxo para o ar, na face do bits, pode levar à obstrução dos orifícios de saída do ar.

O bit de Face Côncava apresenta uma face de formato côncavo que tem um efeito estabilizador, resultando em perfurações de alimento vertical mais perfeito e transmitindo ao equipamento na superfície menos vibrações. Apresenta canais de fluxo na face, os quais otimizam a limpeza do furo. É um bit geralmente empregado em formações brandas.

O bit Face Convexa é utilizada em formações duras onde a taxa de penetração é mais importante que a verticalidade do furo. Sua face convexa transfere mais energia para uma menor área da rocha, gerando uma alta de taxa de penetração.

Os Bits Alargadores são especialmente projetados para reaberturas de furos já existentes, ou perfuração de poços de grande diâmetro em duas passadas, piloto e alargador. O bit alargador possui um guia que centraliza o mesmo no furo piloto já existente. Quando se deseja perfurar vários poços de grande diâmetro, é mais econômico efetuá-los em uma única perfuração de grande diâmetro, com martelo, compressor e bits apropriados. Porém, para uma empresa que efetua perfurações de grande diâmetro apenas ocasionalmente, um bit alargador seria uma solução mais econômica.

Os bits tipo TUBEX, ODEX, etc são empregados em operações de perfuração e revestimento simultâneo através de formações muito desmoronantes, que poderiam causar a prisão de ferramentas. O projeto deste tipo de bits baseia-se em um bit piloto acoplado a um bit alargador excêntrico. O bit alargador perfura um diâmetro grande o suficiente para a passagem da tubulação de revestimento. Os fragmentos da perfuração são expelidos para cima, por dentro do revestimento. Quando a perfuração atinge alguns metros dentro da rocha sã, a coluna de hastes é levemente girada ao contrário, de maneira que o bit alargador se “fecha” sobre o bit piloto. Feito isso, a coluna de perfuração é retirada do furo pelo interior da coluna de revestimento. Com a ajuda do próprio martelo, golpeia-se o topo da coluna de revestimento na superfície, de maneira que a mesa se “crava” na rocha sã. A seguir, baixa-se novamente a coluna de perfuração, com um bits normal e dá-se continuidade à perfuração.

5- EQUIPAMENTOS AUXILIARES

A) Lubrificador de linha

Na lubrificação do martelo é essencial injetarmos um determinado volume de lubrificante especial juntamente com o ar, para fazer a lubrificação do martelo no fundo do poço. O volume e o tipo de óleo a ser aplicado dependerá do tipo de martelo e das normas do fabricante.

Como regra geral recomenda-se um volume de 0,16 l/h para 100 cfm de ar injetado através do martelo. Assim, para um compressor de 750 cfm teríamos 1,2 l/h. Quando se trabalha com injeção de espumantes, recomenda-se um aumento desde volume, pois parte do mesmo é retirado do martelo pelo agente espumante, em geral um detergente industrial neutro.

A lubrificação correta dos martelos é uma condição primordial para a manutenção dos mesmos. A lubrificação deficiente leva ao desgaste rápido e a possíveis falhas.

B) Bomba de injeção de água ou espuma

Durante a perfuração rotopneumática, pode-se injetar uma determinada quantidade de água e/ou espuma, o que apresenta uma série de vantagens:

1) Eliminação da poeira

- Condições mais "limpas" de trabalho.
- Melhor saúde do sondador.
- Prolonga vida útil da perfuratriz.
- Sem problema com a legislação de poluição do ar.

2) Diminui pressão hidrostática no poço

- Torna a coluna de água mais leve.
- Reduz a carga no compressor e aumenta sua capacidade de perfuração.

3) Melhor limpeza do furo quando a velocidade anular é baixa.

- Aumenta eficiência do bits.
- Aumenta taxa de penetração.

Enquanto a velocidade anular para limpeza do furo, apenas com ar, está entre 3.000 e 5.000 fpm, com ar, água e espuma, situa-se entre 1.500 e 3.000 fpm.