



**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo**

PMI-1841 ENGENHARIA DE PERFURAÇÃO

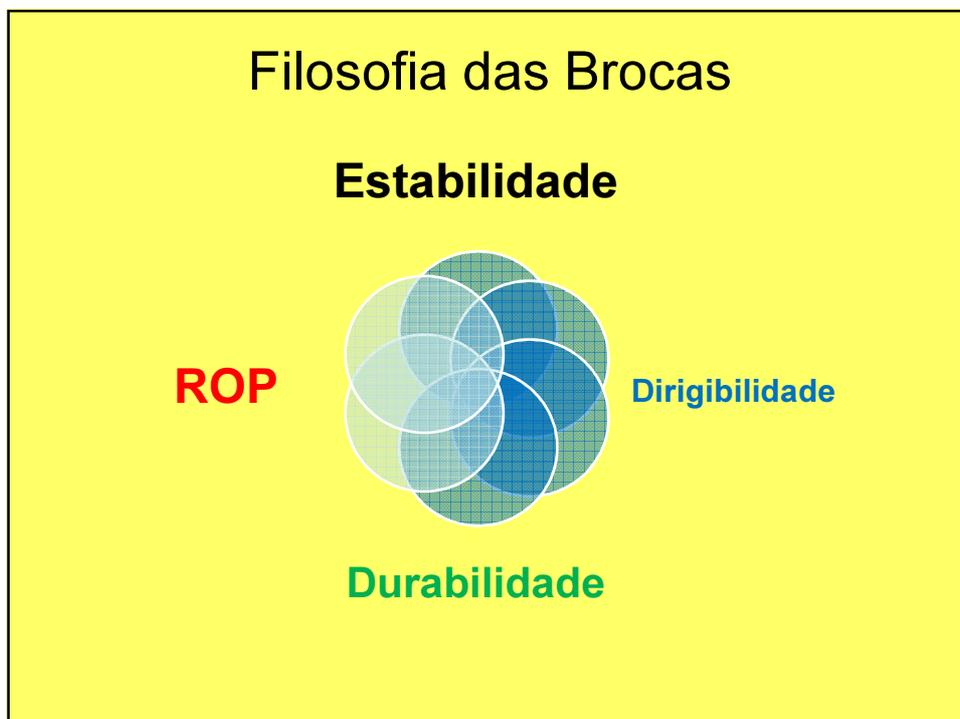
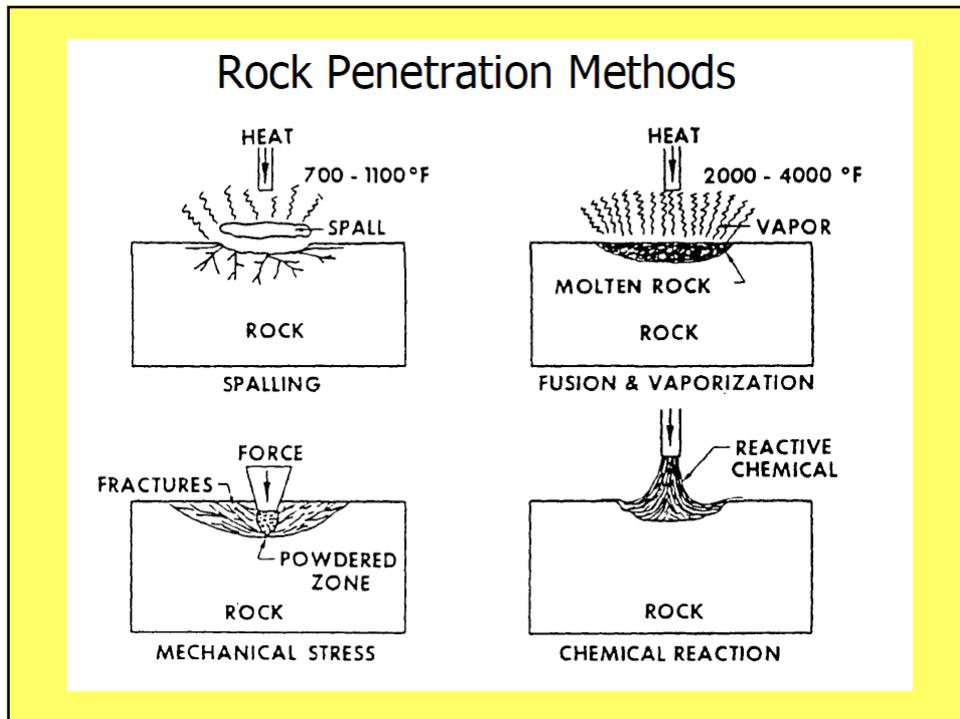
AULA 13 – BROCAS

Wilson Siguemasa Iramina

Santos, outubro de 2016

Conforme explicado anteriormente, a coluna de perfuração apresenta em sua extremidade a broca. A broca causa a fragmentação da rocha devido ao movimento rotativo que lhe é transferido.

Como o fluido de perfuração deve ser bombeado pelo interior da coluna de perfuração, este fluido deve passar pela broca para seguir o seu caminho para o espaço anular. Assim, as brocas, além de possuírem em seu corpo a estrutura cortante, apresentam também jatos, em geral em número de três, por onde o fluido de perfuração sairá. Em alguns tipos de broca, ao invés de termos jatos, temos que a broca é vazada e apresenta caminhos preferenciais em seu corpo para o escoamento do fluido de perfuração.



BROCAS

Função: ruptura e desagregação das rochas ou formações

Dois tipos de brocas: sem partes móveis e com partes móveis

a) Brocas sem partes móveis (draga)

Não existem partes móveis e rolamentos — diminui a possibilidade de falhas

Principais tipos: integral de lâminas de aço, diamantes naturais e diamantes sintéticos (PDC/TSP)

O estudo da broca e o seu desempenho é, sem dúvida, um dos aspectos mais importantes na perfuração de um poço de petróleo. Existe uma grande variedade de brocas sendo fabricadas para perfuração, cada uma adequada às diferentes características das rochas encontradas: rochas moles, médias, duras, abrasivas, plásticas, etc.

2 grupos: brocas draga e brocas de cones cortantes.

BROCAS DRAGA

Constituem um elemento cortante integral, sem partes móveis, ao contrário das de cones, onde os cones giram em torno de seus eixos enquanto a broca gira em torno do eixo do poço.

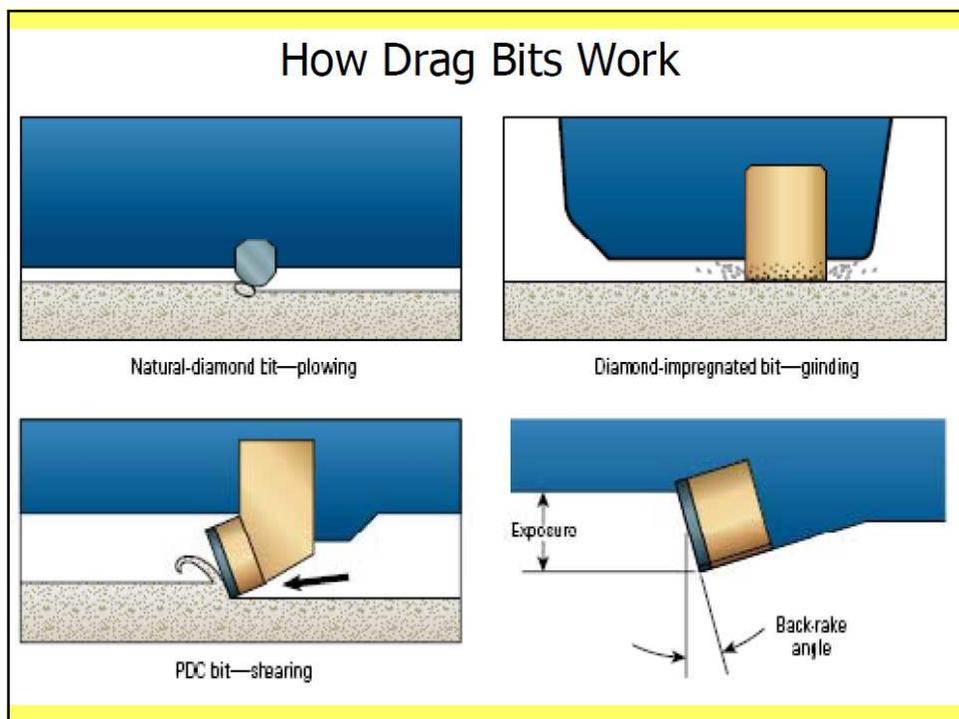
O mecanismo de perfuração das brocas draga é semelhante ao do arado no solo: formação de sulcos por raspagem (inclui as brocas com lâminas integrais de aço, brocas de diamantes naturais e as de diamante artificiais).

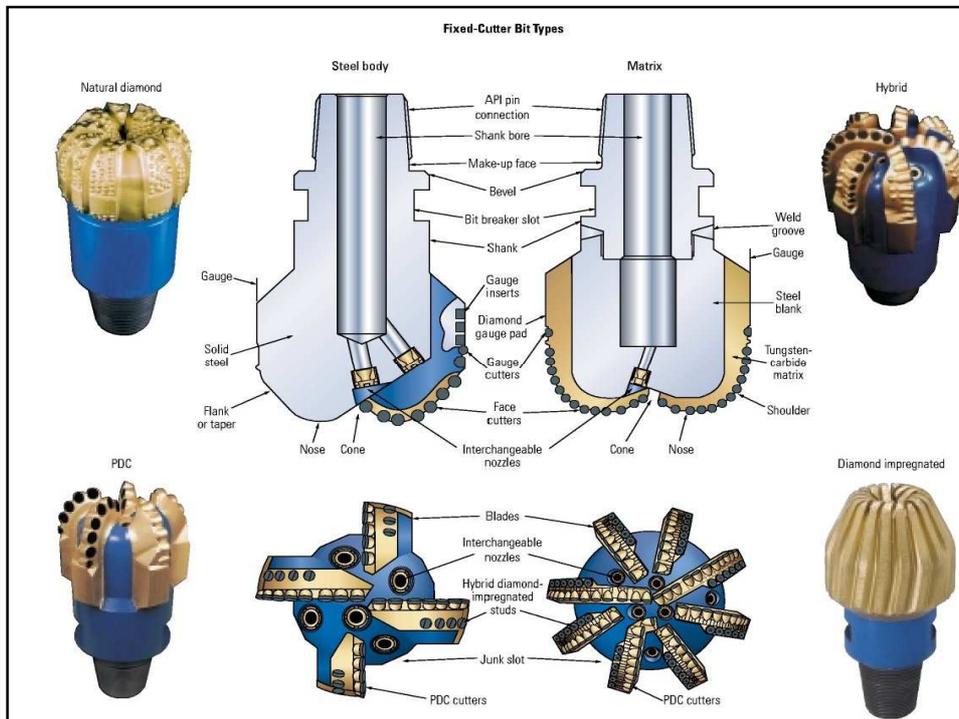
Atualmente este tipo de broca está em desuso.

A característica fundamental desse tipo de broca é sua interação dente/formação: ocorre uma raspagem do fundo do poço acompanhada da ação da força normal devido ao peso-sobre-broca. As brocas de lâmina ou rabo de peixe caíram em desuso, face à sua vida curta devido ao desgaste e sua baixa eficiência em formações mais profundas.

As brocas de diamantes naturais apresentam um campo de aplicação mais amplo, particularmente em formações duras/abrasivas. Este tipo de broca possui parâmetros de projeto que, praticamente, ditam seu desempenho para determinado tipo de formação:

- Forma da coroa
- Tamanho e densidade/distribuição dos diamantes sobre a coroa
- Caminho de fluxo de fluido e cascalhos gerados





Fish tail bits

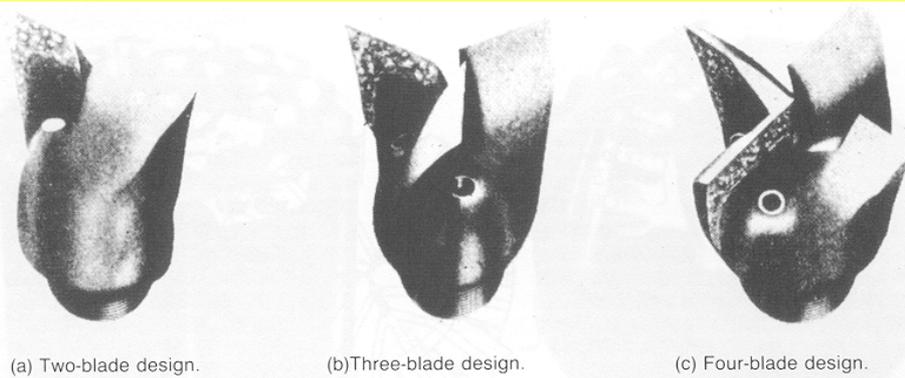


Fig. 5.1—Example steel cutter drag bits dressed with tungsten carbide.

Diamond Bit

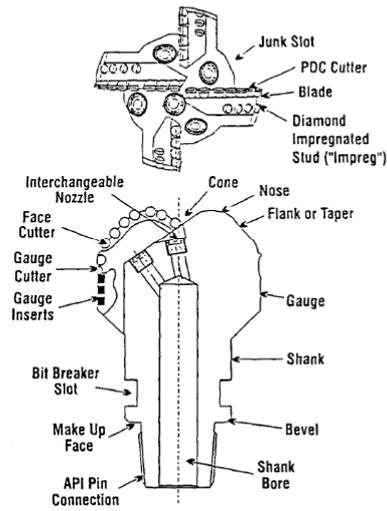


Nas brocas PDC, o elemento cortante consiste em uma pastilha composta por uma camada fina de cristais de diamante (0.5mm) fixada a um substrato de carbureto de tungstênio (3mm de espessura) a altas temperaturas. Essa pastilha é fixada a um cilindro de carbureto de tungstênio de mesmo diâmetro, que compõe o elemento cortante que será cravado na coroa da broca.

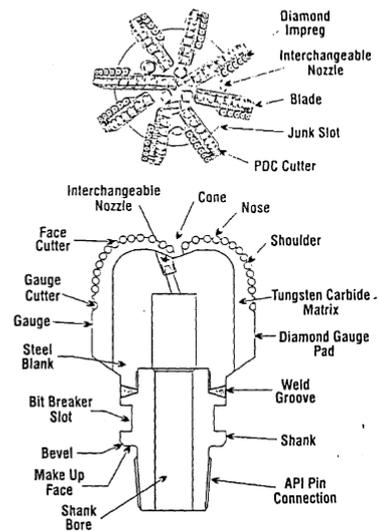


PDC Nomenclature

STEEL BIT NOMENCLATURE



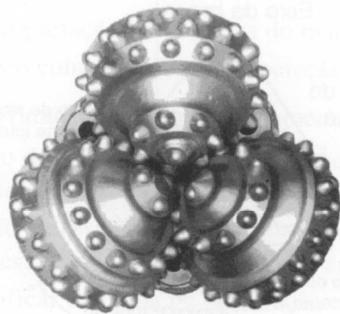
MATRIX BIT NOMENCLATURE



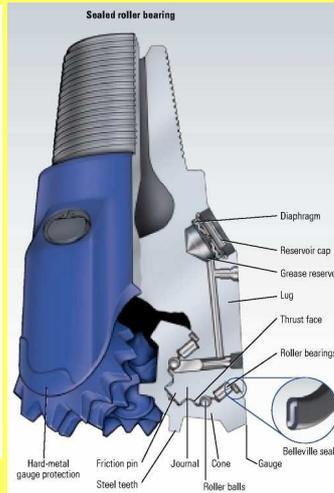
b) Brocas com partes móveis

1 a 4 cones, normalmente as tricônicas são mais utilizadas pela eficiência e menor custo inicial.

2 elementos principais: estrutura cortante e rolamentos



Broca tricônica de insertos de tungstênio.



What the Rock Sees



As tricônicas possuem cones girantes fixos ao corpo da broca, permitindo-se uma ação de força normal de impacto e também de raspagem.

O segundo efeito se acentua quanto maior for o desalinhamento dos eixos de simetria dos cones em relação ao eixo axial do corpo da broca, chamado de *cone offset*.

Um aspecto importante nesse tipo de broca é sua auto-limpeza, facilitada pelo encaixe dos dentes dos cones devido à rotação e também devido ao direcionamento dos jatos da broca.

Os elementos cortantes podem ser dentes consolidados aos cones ou insertos de carbureto de tungstênio, cravados nos cones de forma análoga à da broca PCD. O formato dos insertos depende das características mecânicas das formações a serem perfuradas, tais como: resistência mecânica, dureza, tenacidade, rigidez e ductilidade.

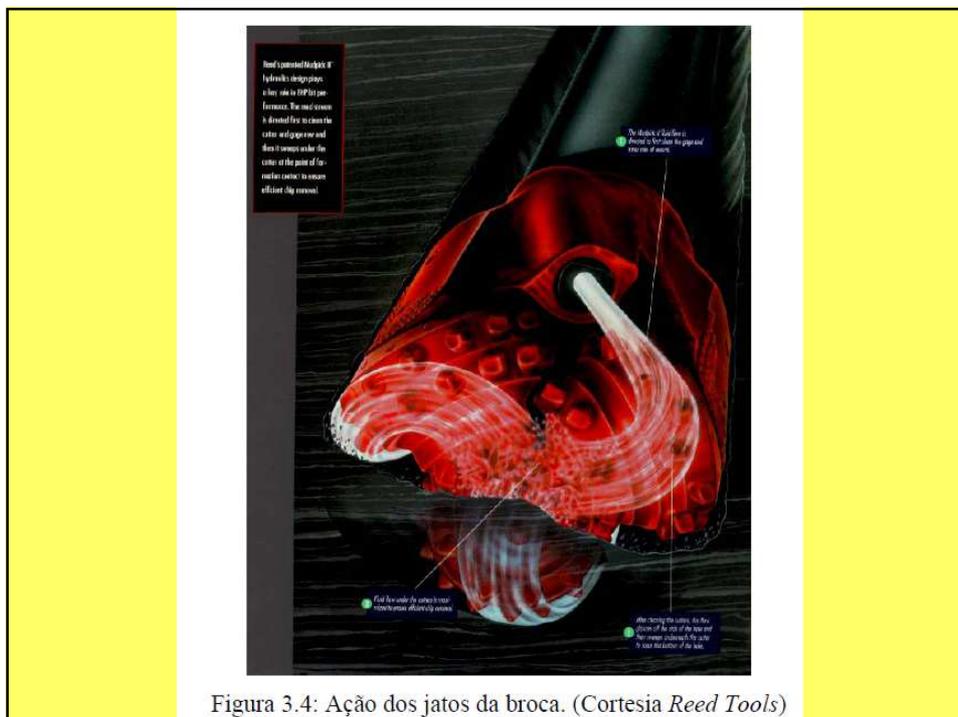
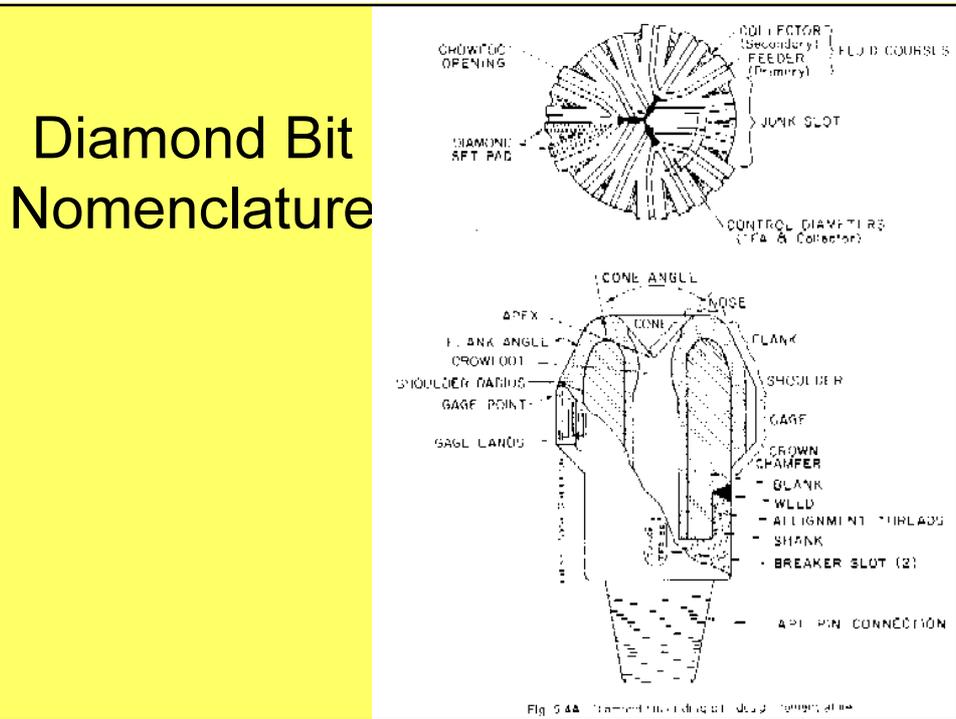


Figura 3.4: Ação dos jatos da broca. (Cortesia Reed Tools)



Diamond Bit Classification

MANUFACTURER
AMERICAN GOLDSET

(a)

FORMA DEV	LAUC SERIES NUMBER	BIT DESIGN FEATURES									
		STEP TYPE 1	JING TAPER 2	SHORT TAPER 3	NOSE TAPER 4	DOWNHILL BIT 5	BALL TRACE 6	DR. BLAST 7	DIFF. LOCATION 8	OTHER 9	
SOFT	D1	0		STRATAGUT				STRATAGUT			
		1	SHARPCOOTH								
		2	" " " "								
		3	" " " "								
MEDIUM SOFT	D2	0		STRATAGUT				STRATAGUT			
		1	SHARPCOOTH								
		2	" " " "								
		3	" " " "								
MEDIUM	D3	0		STRATAGUT				STRATAGUT			
		1	THIN								
		2	" " " "								
		3	" " " "								
MEDIUM HARD	D4	0		STRATAGUT				STRATAGUT			
		1	THIN								
		2	" " " "								
		3	" " " "								
HARD	D5	0		STRATAGUT				STRATAGUT			
		1	THIN								
		2	" " " "								
		3	" " " "								

2.2.9. Operações de manobra

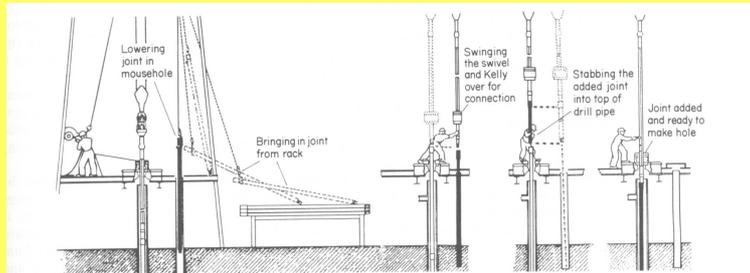
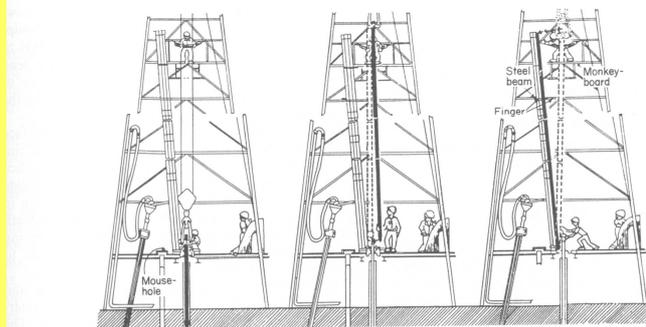


Fig. 1.9. The process of making a connection².



Fatores que afetam a taxa de penetração

- 1. Tipo de broca:** Grande influência na taxa de penetração. Para brocas de partes móveis, a taxa de penetração inicial é frequentemente a mais alta quando se usa brocas com insertos mais longos e um ângulo de offset de cone maior. Apenas para formações mais moles (desgaste prematuro dos insertos). Brocas fixas são usadas para uma taxa de penetração pré-determinada (no projeto). Por exemplo, brocas de PCD são projetadas para oferecer uma dada taxa de penetração por revolução.
- 2. Características da formação:** O limite de elasticidade e a tensão da formação são as características mais importantes da formação que afetam a taxa de penetração. O critério de ruptura de Mohr é usado para caracterizar a tensão na rocha. A permeabilidade também possui efeito significativo. A natureza dos fluidos que preenchem os poros também tem influência sobre a penetração.

Fatores que afetam a taxa de penetração

3. Propriedades dos fluidos de perfuração: 1) densidade do fluido; 2) propriedade reológicas do fluxo; 3) características de filtração; 4) conteúdo de sólidos e a sua distribuição granulométrica; e 5) Composição química.

A taxa de penetração tende a diminuir com o aumento da viscosidade, densidade e presença de sólidos do fluido e tende a aumentar com o aumento da taxa de filtração. Esta última juntamente com a densidade e os sólidos controla a pressão diferencial na zona de trituração da rocha abaixo da broca, enquanto que a viscosidade do fluido controla as perdas parasitas na coluna de perfuração. O aumento na viscosidade produz diminuição na taxa de penetração

Fatores que afetam a taxa de penetração

4. Condições de operação: O efeito do peso da broca e a velocidade de rotação. Existe um limiar de peso aplicado na broca para que se inicie o processo de penetração. A partir deste ponto a taxa de penetração aumenta rapidamente com o aumento do peso na broca. Observa-se um aumento linear até um determinado valor de peso de broca (moderado) e não-linear, quando o aumento é muito maior no peso da broca mas que não se reflete na taxa de penetração. Esta pouca eficiência na taxa de penetração para valores elevados de peso na broca se devem à pouca eficiência na taxa de limpeza do fundo do furo.

Fatores que afetam a taxa de penetração

5. Desgaste do dente da broca: A maioria das brocas tende a perfurar mais lentamente à medida que há desgaste nos seus dentes. Existem mecanismos para promover a auto-afiação, mas a taxa de penetração fica comprometida em função do comprimento reduzido dos dentes. Os insertos de carbeto de tungstênio tendem a se quebrar ao invés de se desgastar por abrasão. Muito frequentemente perde-se o dente inteiro. As reduções na taxa de penetração devido ao desgaste da broca normalmente não são tão severas em brocas com insertos quanto em brocas com dentes fresados a menos que uma grande quantidade de dentes se quebre de uma só vez.

Fatores que afetam a taxa de penetração

6. Hidráulica da broca: a melhoria da taxa de penetração da broca se deve em boa parte à melhoria na ação do jato da broca, ao promover melhor limpeza tanto do fundo do furo como dos dentes da broca. Algumas evidências da melhoria foram observadas ao se utilizar jatos estendidos na broca na qual a descarga final do jato é trazida para bem perto do fundo do furo

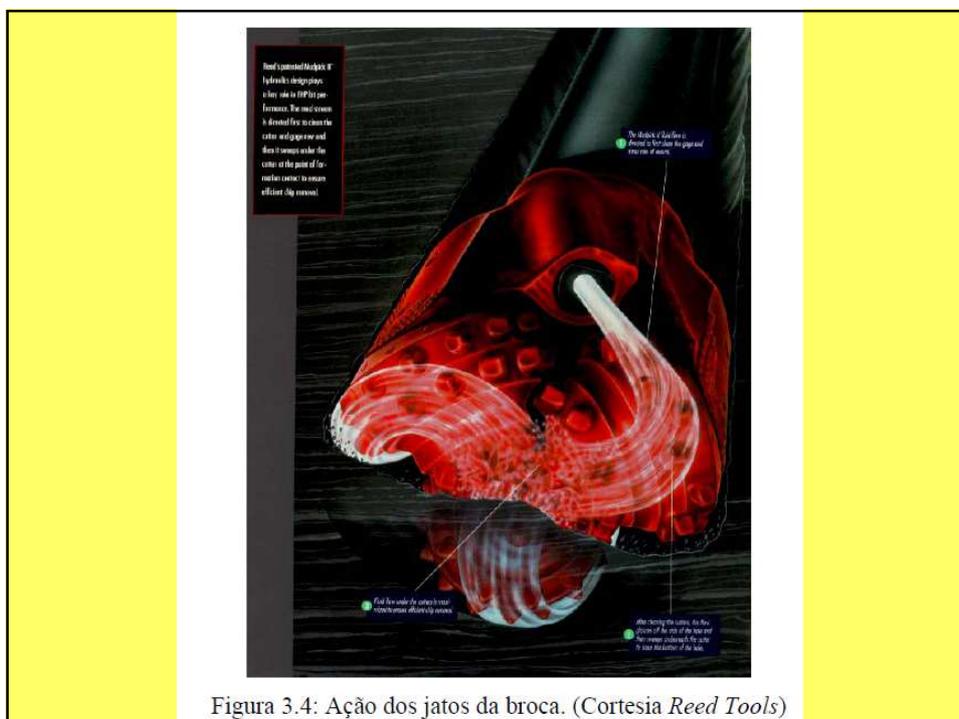
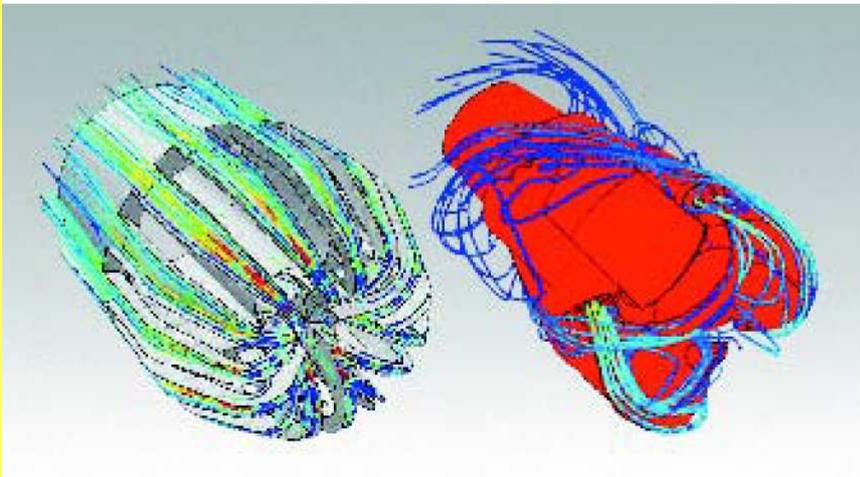


Figura 3.4: Ação dos jatos da broca. (Cortesia Reed Tools)

Computational Fluid Dynamics



Jatos de fluido que resfriam e limpam a broca.

OPERAÇÃO DA BROCA

1. Arranjo do fundo do furo (bottomhole assembly): possui efeito significativo sobre a performance da broca. O comprimento do comando (drill collar) usado deve ser adequado para impedir o desenvolvimento de momentos fletores na coluna de perfuração para as diversas faixas de brocas utilizadas. Deve-se usar ainda estabilizadores acima da broca no comando para impedir a flambagem da porção inferior dos comandos. Uma ação severa de balanço da broca ocorre quando se rotaciona a mesma se os comandos acima da broca não estão fixados em uma posição concêntrica no furo. Isto pode causar:

a) uma carga de impacto muito alta sobre os dentes; b) uma carga de impacto muito alta sobre os PCD ou os dentes de diamante e uma distribuição desbalanceada do fluido sobre as brocas diamantadas; c) diâmetro do furo abaixo do programado, e d) furo torto.

OPERAÇÃO DA BROCA

2. Prevenção de dano acidental na broca: um dano acidental na broca antes de colocá-la no fundo do furo pode reduzir muito a vida útil da broca. A broca deve ser apertada na coluna de perfuração para um torque recomendado usando-se uma peça específica (braker plate) projetada para uma determinada broca. Deve-se prestar atenção para verificar se os jatos estão instalados apropriadamente e minimizar a erosão do fluido nas passagens do jato. A broca é especialmente suscetível a danos durante as operações de manobra. A presença de pontos apertados no furo deve constar nos registros de modo que a velocidade de retirada ou colocação (para brocas novas) seja diminuída nestes pontos. Uma vez que a nova broca atinge o fundo deve-se aplicar um peso e rotação adequados (mais baixos) para colocá-la em operação pela 1ª vez. Isto impede danos e permite o desgaste de partes irregulares da broca e permite maior eficiência.

OPERAÇÃO DA BROCA

3. Seleção do peso da broca e velocidade de rotação: A determinação do melhor peso na broca e a velocidade de rotação para uma determinada broca é mais uma das tarefas rotineiras do engenheiro de perfuração. Ao selecionar estes parâmetros para uma dada formação devem ser levados em consideração:

- a) O efeito das condições de operação selecionadas no custo por metro perfurado para a broca em questão ou para a posterior;
- b) O efeito das condições de operação selecionadas nos problemas de curvatura do furo;
- c) A máxima taxa de penetração desejada para as taxas de circulação e processamento do fluido de perfuração disponível e para a eficiência na detecção do kick;
- d) Limitações de equipamento para o peso e velocidade de rotação disponibilizados.

EXISTE UMA HORA CERTA PARA SE RETIRAR A BROCA?

INDICAÇÕES

- BAIXA TAXA DE PENETRAÇÃO
 - BROCA GASTA
 - BROCA INADEQUADA
 - BIT BALLING
- AUMENTO DO TORQUE
- COLUNA TRAVANDO
- PERDA DE PRESSÃO DA COLUNA
- TEMPO DE BROCA FUNDO
- EXCESSO DE VIBRAÇÃO
- TÉRMINO DA FASE

$$\text{CMP} = (\text{CB} + \text{CS}(\text{TP} + \text{TM})) / \text{CP}$$

ONDE:

CMP=CUSTO POR METRO

PERFURADO (U\$\$/m)

CB-CUSTO DA BROCA (U\$\$)

CS-CUSTO DA SONDA (U\$\$/HR)

TP-TEMPO PERFURANDO (HR)

TM-TEMPO MANOBRANDO (HR)

CP-COMPRIMENTO PERFURADO (m)

EFFECTS OF EXCESSIVE WEIGHT FOR TCI AND STEEL-TOOTH

- √ BREAKS OFF TEETH (CARBIDE & STEEL)
- √ HOLE DEVIATION
- √ BIT BALLING
- √ PREMATURE FAILURE OF BEARINGS

OPERATING PRACTICES FOR ROLLER BITS

- v SOFT FORMATION
 - LONGER TEETH
 - LOW WEIGHT
 - HIGH SPEED
- v HARD FORMATION
 - SHORT TEETH
 - HIGH WEIGHT
 - LOW SPEED

- v SOFTER FORMATIONS,
GEOLOGICALLY YOUNGER AND
SHALLOWER
 - STEEL-TOOTH ROLLER BITS
 - TUNGSTEN-CARBIDE-INSERTS (TCI)
- v MEDIUM HARD FORMATIONS &
HARD SHALES
 - STEEL-TOOTH ROLLER BITS
 - TUNGSTEN-CARBIDE-INSERTS (TCI)
 - PDC
- v HARDER, DEEPER, OFTEN ABRASIVE
 - TCI

RULES OF THUMB

- v PREMIUM ROLLER CUTTING DESIGN FEATURES AND HIGH COST DIAMOND AND PDC TEND TO BE MORE APPLICABLE WHEN THE DAILY COST OF THE DRILLING OPERATION IS HIGH

RULES OF THUMB

- v THREE-CONE BITS ARE THE MOST VERSATILE BIT TYPE AVAILABLE AND ARE A GOOD INITIAL CHOICE FOR THE SHALLOW PORTION OF THE WELL.

RULES OF THUMB

- v WHEN USING A ROLLER-CONE BIT:
 - USE THE LONGEST TOOTH SIZE POSSIBLE
 - A SMALL AMOUNT OF TOOTH BREAKAGE SHOULD BE TOLERATED RATHER THEN SELECTING A SHORTER TOOTH SIZE

RULES OF THUMB

- v WHEN USING A ROLLER-CONE BIT:
 - WHEN THE RATE OF TOOTH WEAR IS MUCH LESS THAN THE RATE OF BEARING WEAR, SELECT A LONGER TOOTH SIZE , A BETTER BERING DESIGN, OR APPLY MORE BIT WEIGHT

RULES OF THUMB

- v DIAMOND DRAG BITS PERFORM BEST IN NON BRITTLE FORMATIONS HAVING A PLASTIC MODE OF FAILURE, ESPECIALLY IN THE BOTTOM PORTIONS OF A DEEP WELL, WHERE THE HIGH COST OF TRIPPING OPERATIONS FAVORS A LONG BIT LIFE, AND A SMALL HOLE SIZE FAVORS THE SIMPLICITY OF A DRAG BIT DESIGN

RULES OF THUMB

- v PDC BITS PERFORM BEST IN UNIFORM SECTIONS OF FORMATION.
- v PDC BITS SHOULD NOT BE USED IN GUMMY FORMATIONS, WHICH HAVE A STRONG TENDENCY TO STICK TO THE BIT CUTTERS.

BIT COMPONENTS

- √ LEGS - Forged Ni-Cr-Mo Alloy
- √ CONES - Forged Ni-Mo Alloy
- √ NOZZLES & TCI - Sintered Tungsten Carbide
- √ ROLLER & BALL BEARINGS - Tool-steel-grade Alloy
- √ JOURNAL BEARINGS - Proprietary with silver inlays