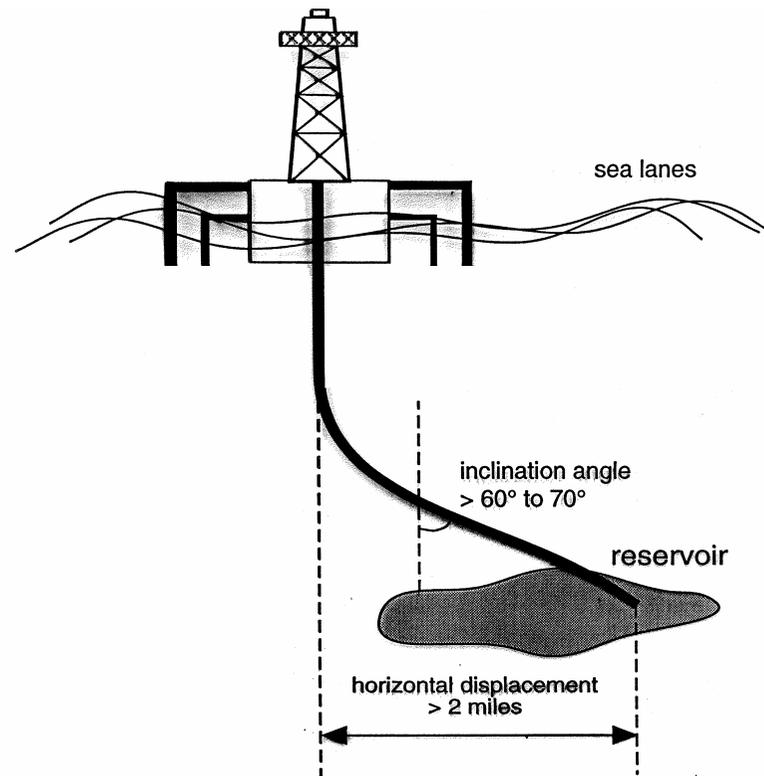


Fundamentos da Perfuração Direcional

INTRODUÇÃO

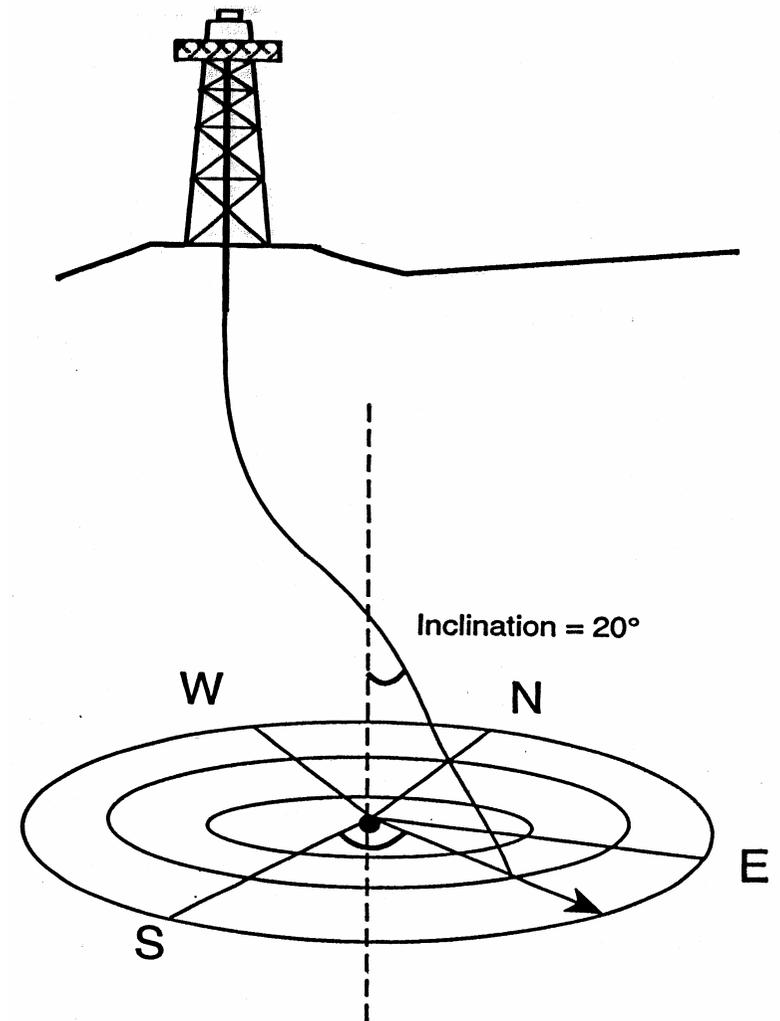
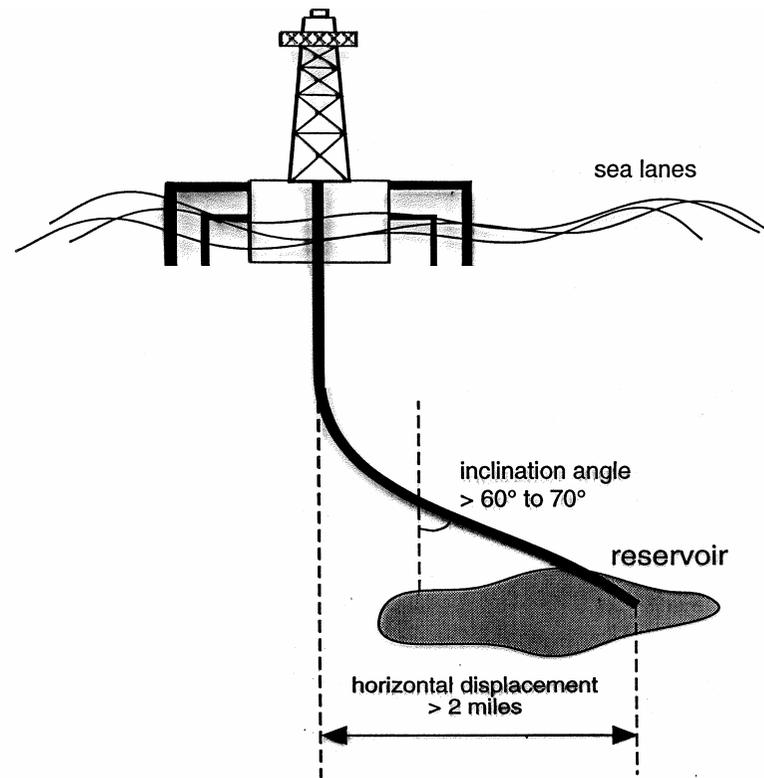
Um poço é direcional quando o objetivo a atingir não se encontra na mesma vertical da locação da sonda, sendo necessário utilizar técnicas especiais não empregadas na perfuração de poços verticais.



Fundamentos da Perfuração Direcional

INTRODUÇÃO

Um poço é direcional quando o objetivo a atingir não se encontra na mesma vertical da locação da sonda, sendo necessário utilizar técnicas especiais não empregadas na perfuração de poços verticais.



APLICAÇÕES

- CONTROLE DE POÇOS VERTICAIS

- LOCAÇÕES INACESSÍVEIS

- PERFURAÇÃO EM DONO SALINO

- POÇOS EM ESTRUTURAS MÚLTIPLAS

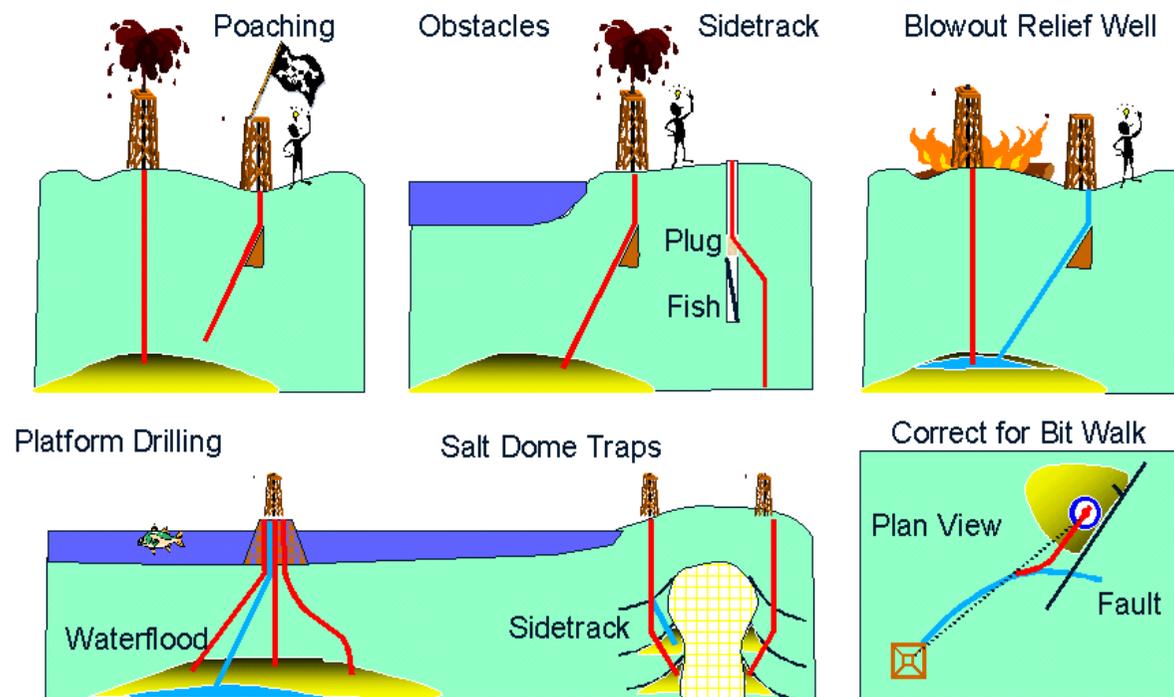
- POÇOS DE ALÍVIO

- POÇOS DIRECIONAIS NATURAIS

APLICAÇÕES

- CONTROLE DE POÇOS VERTICAIS
- LOCAÇÕES INACESSÍVEIS
- PERFURAÇÃO EM DONO SALINO

- POÇOS EM ESTRUTURAS MÚLTIPLAS
- POÇOS DE ALÍVIO
- POÇOS DIRECIONAIS NATURAIS



- POÇOS HORIZONTAIS

- POÇOS DESIGNER WELLS

- POÇOS DE GRANDE AFASTAMENTO

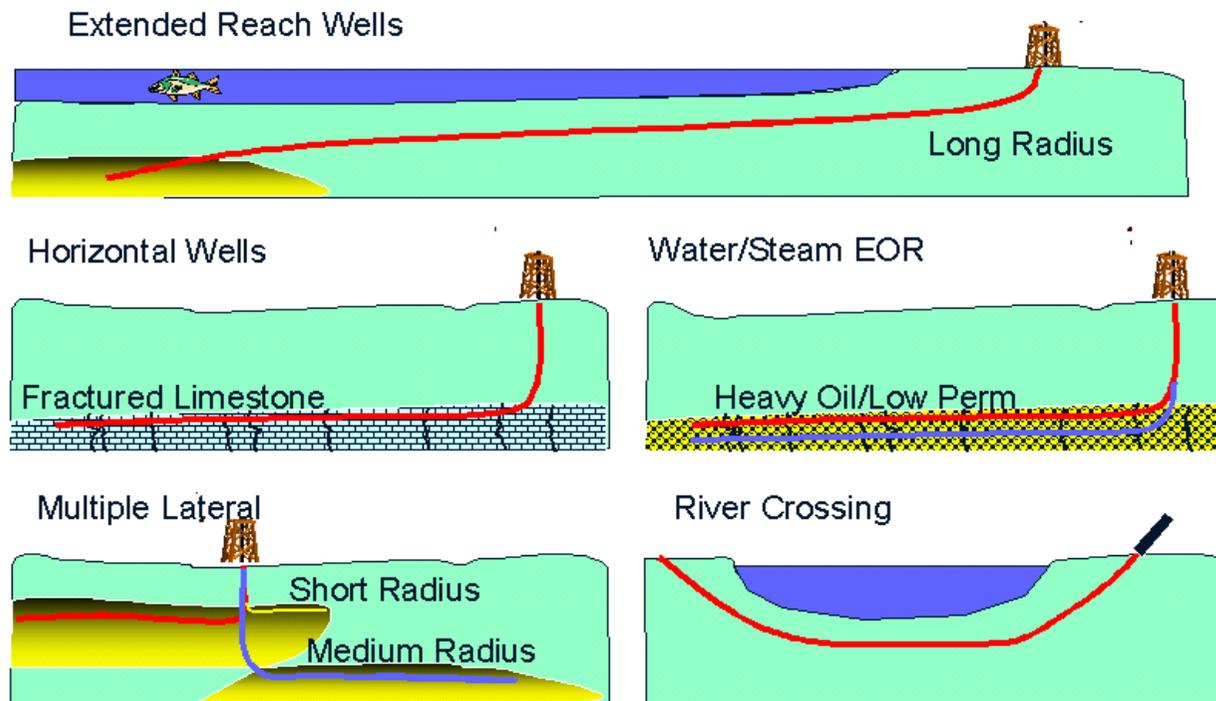
- POÇOS RIVER CROSSING

- POÇOS HORIZONTAIS

- POÇOS DE GRANDE AFASTAMENTO

- POÇOS DESIGNER WELLS

- POÇOS RIVER CROSSING

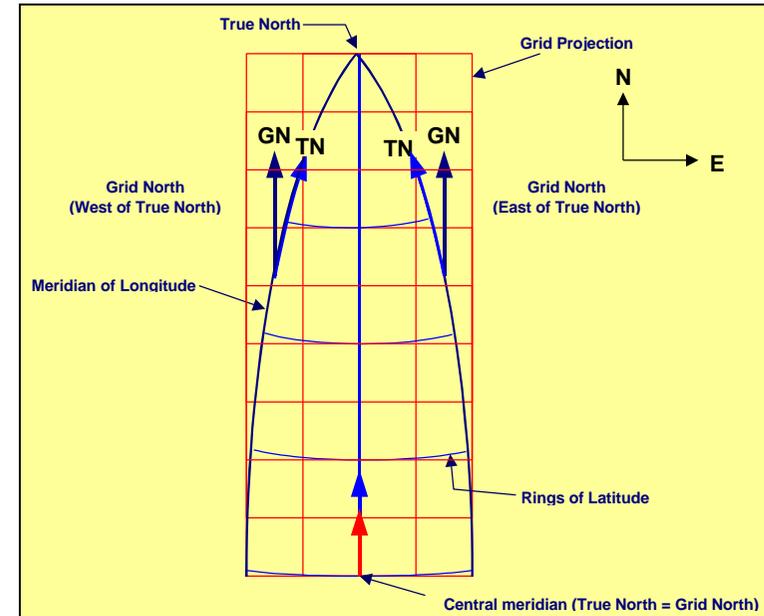
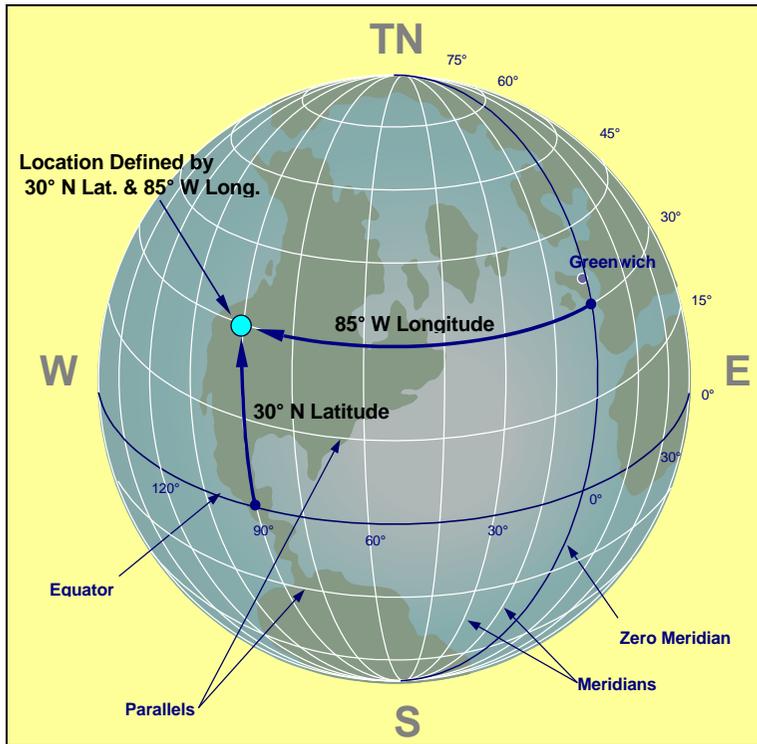


PROJETO DE POÇOS DIRECIONAIS

O projeto consiste na determinação da trajetória que o poço deverá seguir para atingir o objetivo. Para se elaborar o projeto do perfil de um poço direcional, devemos inicialmente coletar as informações necessárias ao cálculo e à adequação do perfil às diversas formações que serão atravessadas durante a perfuração. Como principais elementos para a definição do perfil direcional, podemos destacar:

- **Coordenadas U.T.M. da Locação da Sonda (Base) e do Objetivo**
- **Coluna Geológica prevista, Profundidade Vertical do Objetivo e Profundidade Vertical Final**
- **Determinação do Ponto de Desvio Orientado do Poço (KOP) e Seção de Crescimento da Inclinação (Build Up).**
- **Escolha do Perfil do Poço.**

- Coordenadas U.T.M. da Localização da Sonda (Base) e do Objeto



$$D = \sqrt{(n_1 - n_2)^2 + (e_1 - e_2)^2}$$

$$\text{Direção} = \text{Arctg} \left| \frac{e_1 - e_2}{n_1 - n_2} \right|$$

- D - Afastamento Base - objetivo
- Direção- Direção Base - objetivo
- e1 - Coordenada E do objetivo
- n1 - Coordenada N do objetivo
- e2 - Coordenada E da base
- n2 - Coordenada N da base

COORDENADAS UTM:

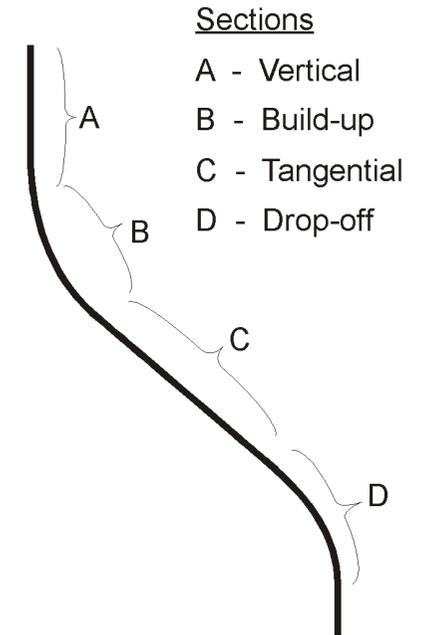
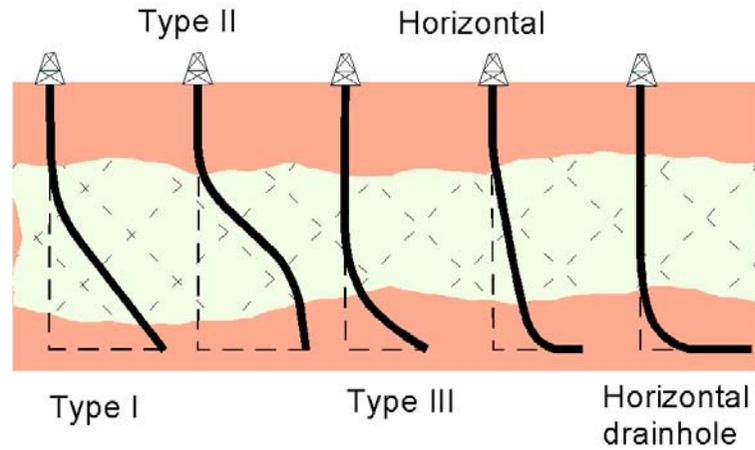
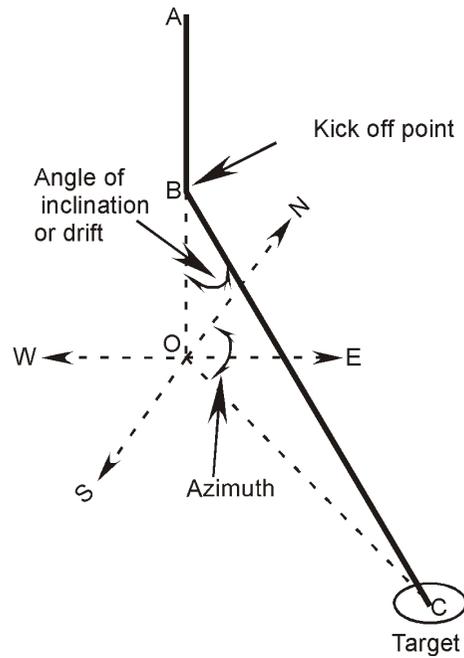
BASE : N = 8.609.888,17 m
E = 540.506,33 m

Objetivo: N = 8.609.755,00 m
E = 540.357,00 m

Afastamento Base – Alvo = 200 m

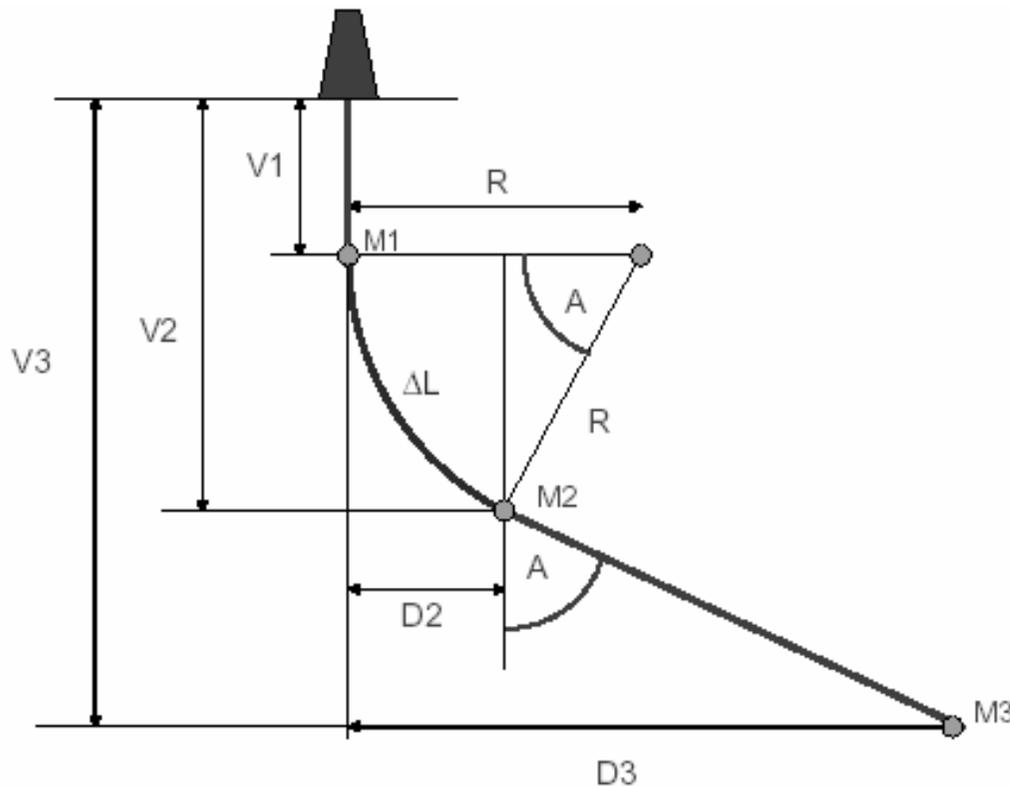
Direção Base – Objetivo = S 48,27° W

- Coluna Geológica prevista, Profundidade Vertical do Objetivo e Profundidade Vertical Final
- Determinação do Ponto de Desvio Orientado do Poço (KOP) e Seção de Crescimento da Inclinação (Build Up).
- Escolha do Perfil do Poço.



TIPO I (SLANT)

Deve ser escolhido quando o afastamento horizontal é grande em relação à profundidade do poço e o KOP deve ser feito próximo à superfície. Caracteriza-se por ter um trecho de crescimento de inclinação (build-up), com taxa constante, e termina com um trecho de inclinação constante (Slant), passando pelo centro do alvo, prosseguindo até atingir a profundidade final. É o mais comumente usado devido a maior facilidade de execução, ter o KOP mais próximo da superfície, facilitando a orientação da ferramenta defletora e possibilitando economia no tempo de manobra e no custo final do poço.



$$A = \text{Sen}^{-1} \left[\frac{R}{\sqrt{(D3 - R)^2 + (V3 - V1)^2}} \right] + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{D3 - R}{V3 - V1} \right]$$

$$V2 = V1 + R \cdot \text{Sen}A$$

$$D2 = R (1 - \text{Cos}A)$$

$$M2 = V1 + R \cdot A$$

$$M3 = M2 + \left[\frac{V3 - V2}{\text{Cos}A} \right]$$

$$\Delta L = R \cdot A_{\text{rad}}$$

$$R = \frac{180 \cdot 30}{\pi \cdot \text{BUR}}$$

TIPO II (POÇO EM "S")

Pode ser escolhido sempre que o afastamento horizontal for pequeno em relação à profundidade do poço e o KOP deve ser feito próximo à superfície. É preferido em substituição a um poço que, quando calculado para o tipo I, resulte em baixa inclinação final, portanto de difícil controle direcional. Caracteriza-se por ter, após os intervalos de "build-up" e inclinando constante, um intervalo de perda de inclinação a taxa constante (Drop-off) até atingir a vertical ou uma inclinação próxima a esta. Como inconveniências, na execução deste tipo de perfil, destacamos: alto desgaste das colunas de perfuração e de revestimento, aumento da possibilidade de formação de chaveta e conseqüente prisão de coluna. No ponto de vista econômico, pode implicar no uso de mais um revestimento para cobrir o trecho em "drop-off".

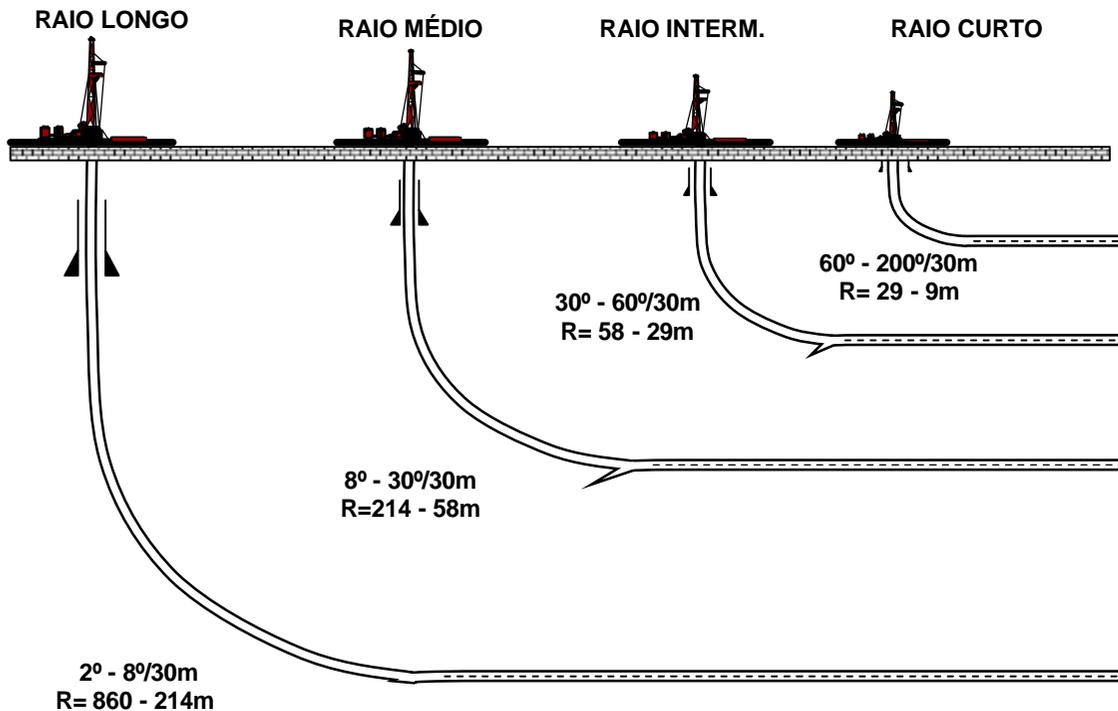
TIPO III

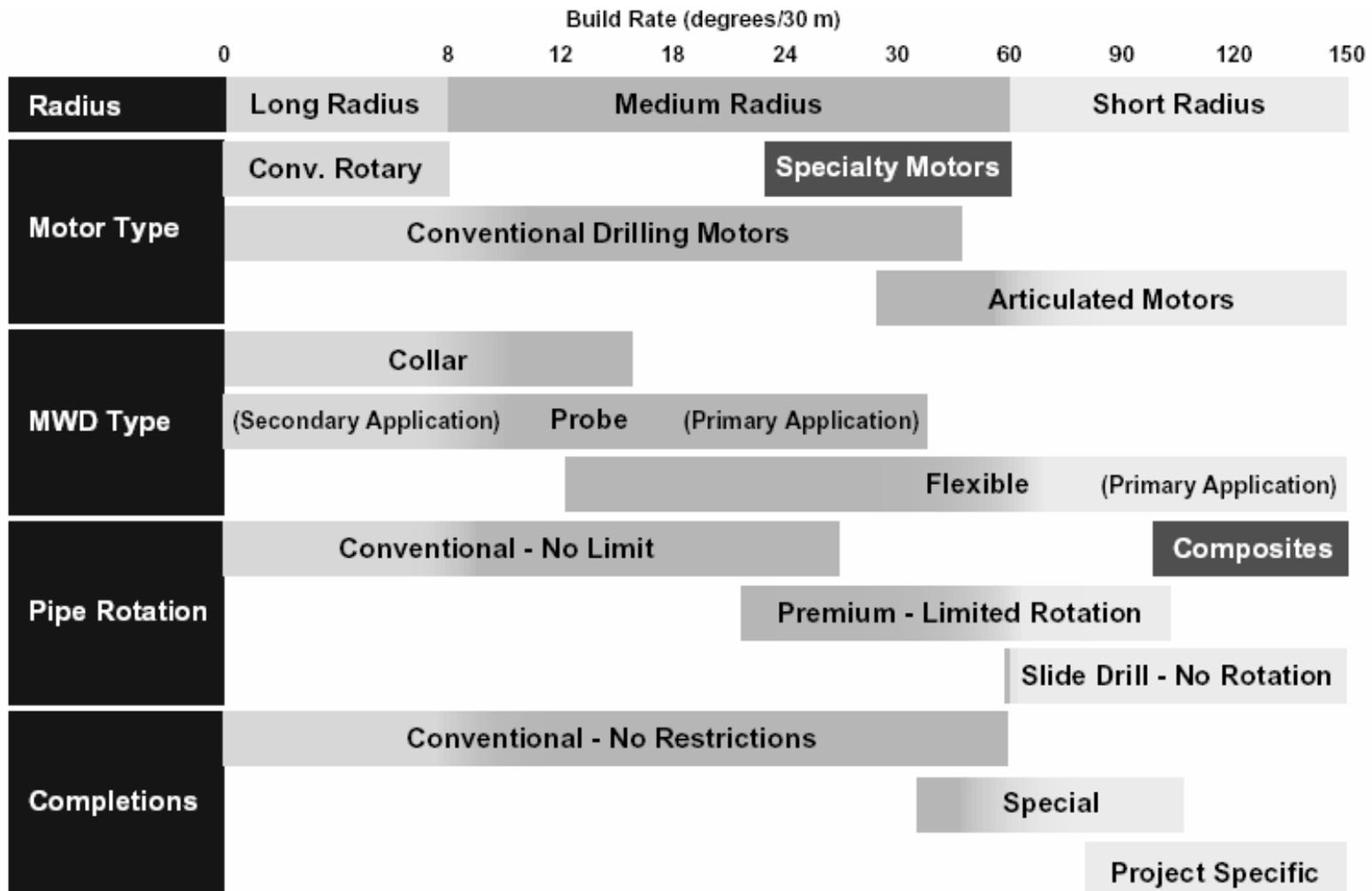
Assemelha-se ao tipo I com a diferença de o KOP ser mais profundo. Caracteriza-se por terminar na fase de "build-up", sem o trecho de inclinação constante. São utilizados em geral para aproveitamento de poços verticais secos. Como o KOP é profundo, pode ser necessária a utilização de ferramentas especiais na orientação da ferramenta defletora.

- Taxa de “Build Up” Poços Direcionais

A taxa de "build-up" mais comumente usada é de 2.5°/30m que implica num raio de curvatura de 688m e normalmente não tem apresentado problemas. Dependendo do caso pode-se usar taxas mais suaves como 2°/30m ou 1°/30m que minimizarão problemas de "drag", torque e repasses. Taxas tão fortes como 4°/30m ou superiores só deverão ser usadas quando for imperativo um crescimento mais rápido da inclinação.

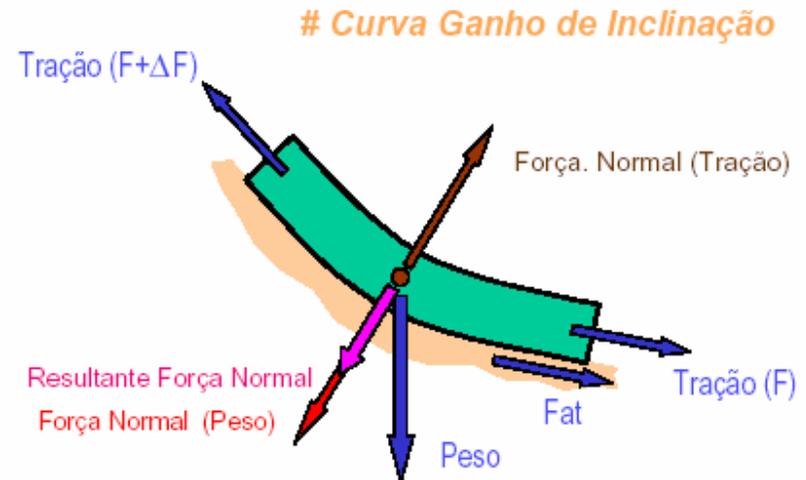
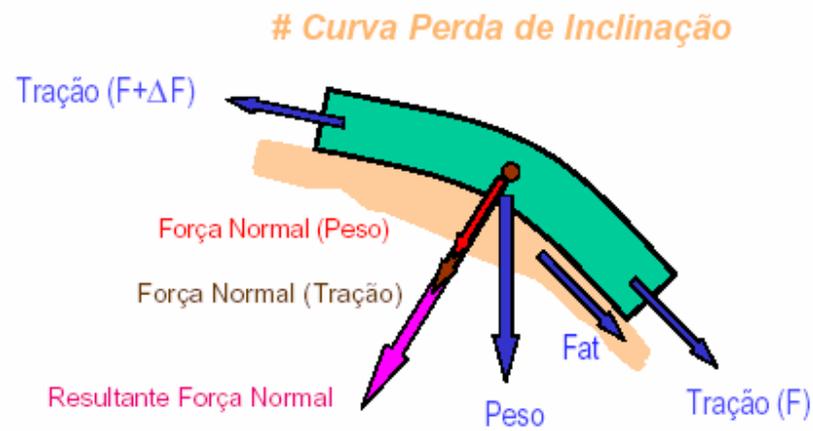
- Taxa de “Build Up” Poços Horizontais





- Taxa de “Drop Off” Poços Direcionais

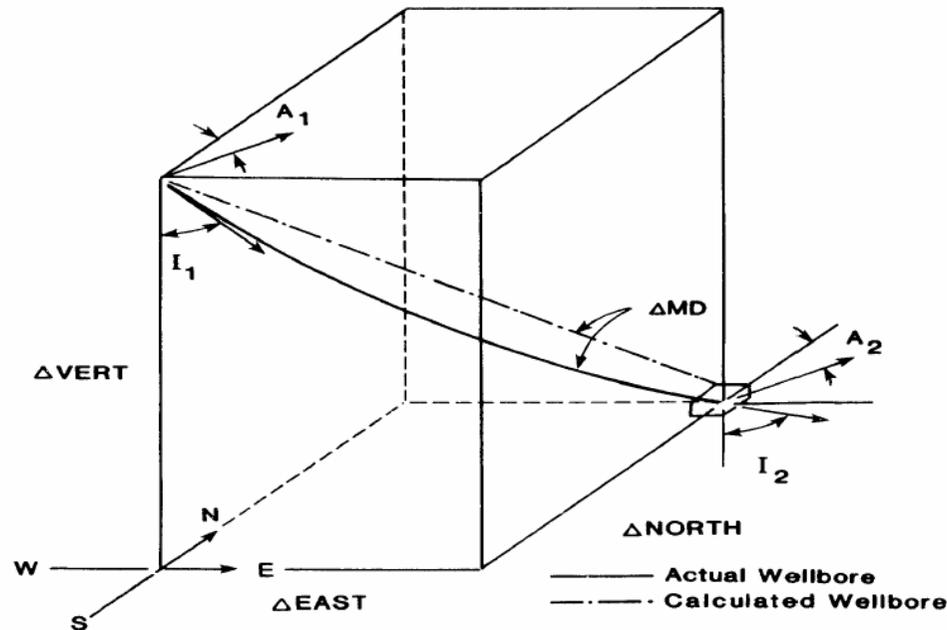
Para um mesmo projeto, a taxa de "drop-off" escolhida é normalmente menor do que a taxa de "build-up" utilizada. Exemplo: para taxa de "build-up" de 3°/30m usar taxa de "drop-off" de 1.5°/30m, ou menor.



Acompanhamento Direcional

Para se saber a posição do poço após cada registro, são feitos alguns cálculos para se encontrar as coordenadas do fundo do poço em relação à superfície. Entre os métodos existentes, Ângulo Médio e Mínimo Curvatura são os mais usados.

The Average Angle Method



$$I_{AVG} = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

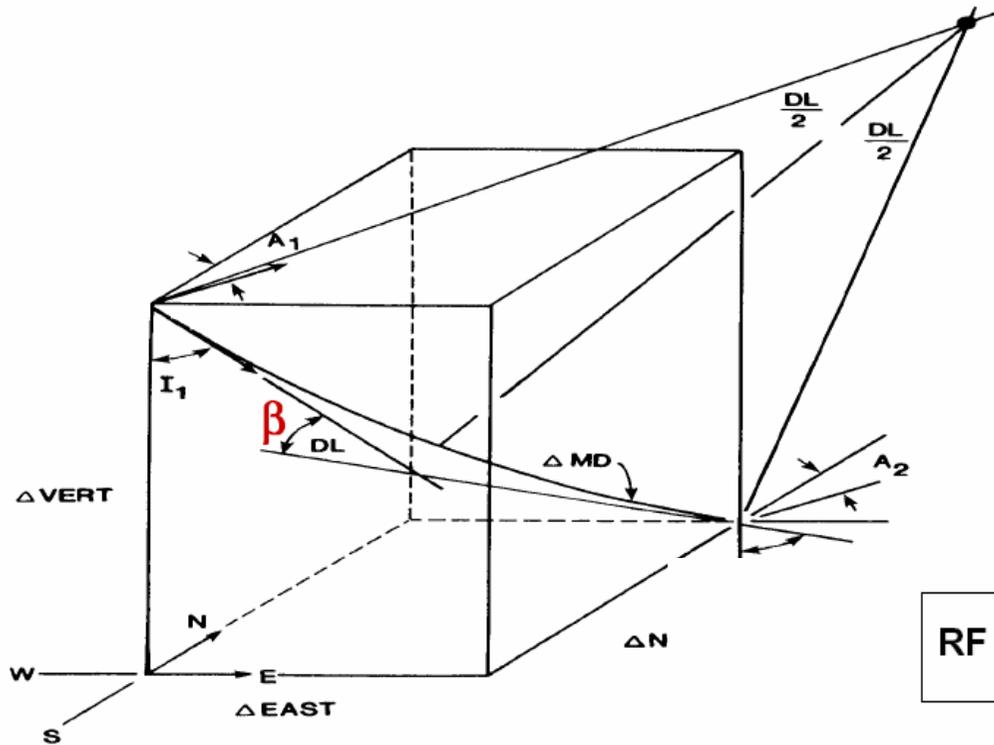
$$A_{AVG} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$\Delta East = \Delta MD \sin I_{AVG} \sin A_{AVG}$$

$$\Delta North = \Delta MD \sin I_{AVG} \cos A_{AVG}$$

$$\Delta Vert = \Delta MD \cos I_{AVG}$$

Minimum Curvature Method



$$RF = \frac{2}{\beta} \tan \frac{\beta}{2} \quad (\text{DL} = \beta \text{ and must be in radians})$$

$$\Delta \text{East} = \frac{\Delta \text{MD}}{2} [\sin I_1 \cdot \sin A_1 + \sin I_2 \cdot \sin A_2] \cdot RF$$

$$\Delta \text{North} = \frac{\Delta \text{MD}}{2} [\sin I_1 \cdot \cos A_1 + \sin I_2 \cdot \cos A_2] \cdot RF$$

$$\Delta \text{Vert} = \frac{\Delta \text{MD}}{2} [\cos I_1 + \cos I_2] \cdot RF$$

$$\cos \beta = \cos (I_2 - I_1) - \sin I_2 \sin I_1 (1 - \cos (A_2 - A_1))$$

- “Dog Leg Severity”

"Dog Leg" é o resultado da variação da trajetória do poço detectada através de registros de inclinação e direção entre duas estações. Como essa variação, se muito brusca, pode acarretar problemas sérios para o poço, é necessário um acompanhamento avaliando a cada registro a sua intensidade. Para proceder a essa avaliação faz-se necessária uma unidade padrão (graus/100 pés ou graus/30m) a partir da qual se pode estabelecer comparações com valores preestabelecidos de "dogleg". O "dog leg" expresso nessa unidade é conhecido como "Dog Leg Severity" (D.L.S). Um limite seguro para o "Dog Leg Severity" depende da formação que está sendo perfurada, diâmetro do poço, diâmetro dos componentes da coluna de perfuração, diâmetro do revestimento a ser descido.

$$D.L.S. = \frac{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 - 2 * I_1 * I_2 * \cos(A_1 - A_2)}}{\Delta P_m} * 30$$

Onde: D.L.S. = "Dog Leg Severity" (graus/30 m)

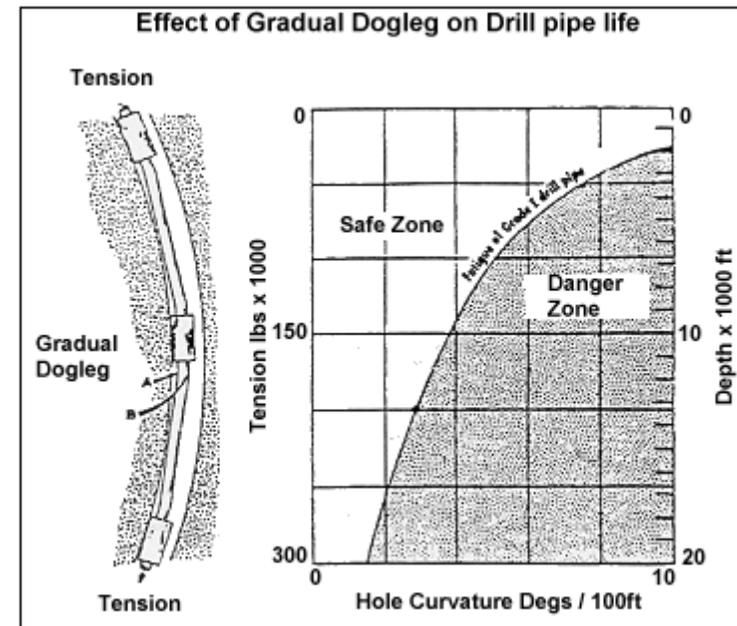
I1 = inclinação do 1º registro em graus

I2 = inclinação do 2º registro em graus

A1 = azimute do 1º registro em graus

A2 = azimute do 2º registro em graus

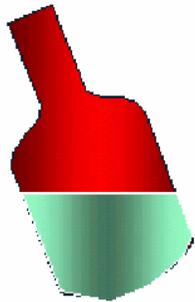
ΔP_m = intervalo entre os dois registros em metros.



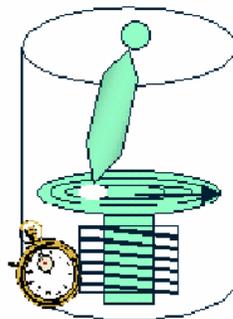
- Equipamentos de Registro Direcionais

Existem diversos tipos de equipamentos para efetuar registros direcionais, podendo ser classificados como equipamentos de registros simples, múltiplos e contínuos. Podem ser também giroscópicos ou magnéticos. Cada registro direcional traz como informações principais a inclinação e a direção do poço na estação onde foi tomado. Além dessas informações o registro poderá indicar a orientação da face da ferramenta (tool face), temperatura no fundo do poço, existência de interferência magnética, etc. Os equipamentos de registros direcionais mais utilizados são:

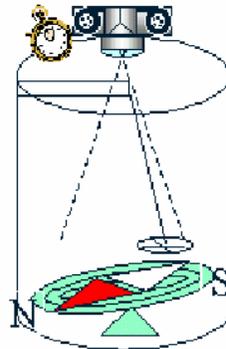
Acid Bottle



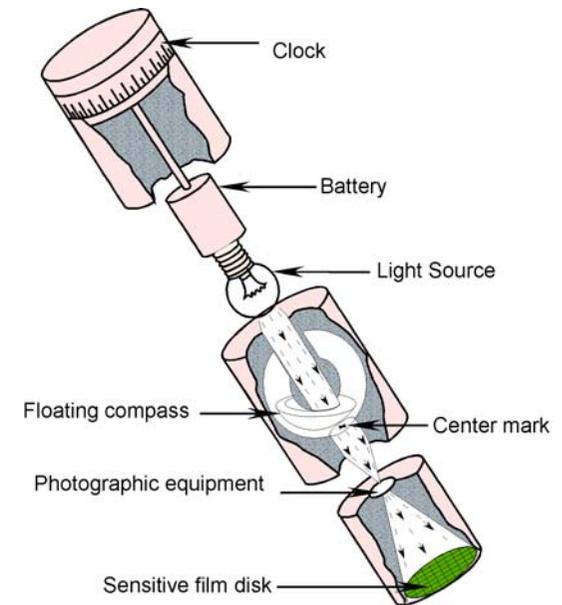
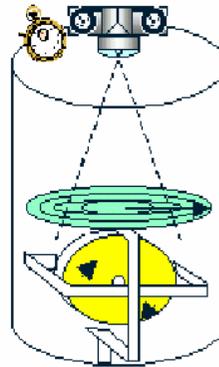
Punched Disc

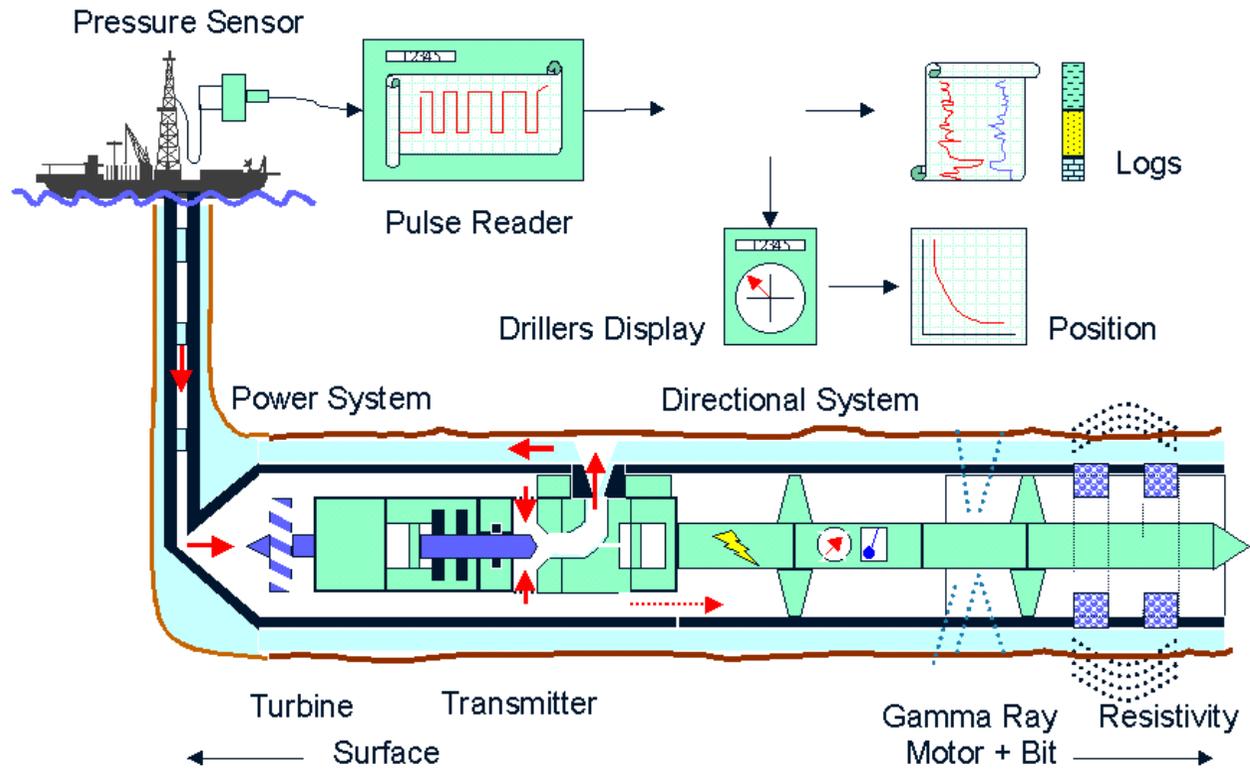


Single Shot



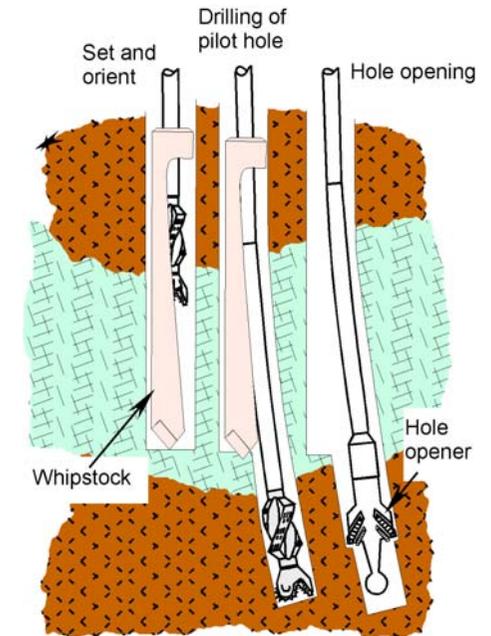
Gyroscope



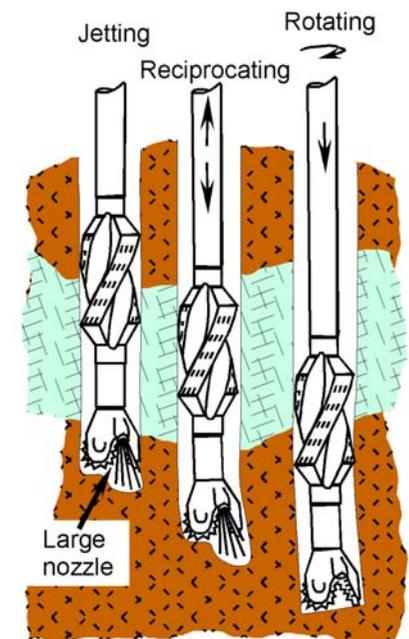


Métodos de Deflexão

Whipstock: O whipstock é uma cunha de aço temperado com a extremidade em forma de ponta, com uma ranhura côncava que guia a broca do whipstock (menor do que a broca de perfuração) de encontro à parede do poço. O whipstock é anexado à coluna de perfuração através de um pino de cisalhamento (shear pin), que é cizalhado após ter sido feita a sua orientação dentro do poço. Depois que um rat hole de +/-6m é perfurado, a coluna deve ser trocada e um hole opener é descido. O rat hole é então alargado e uma coluna de build-up é descida para se obter mais alguma inclinação.

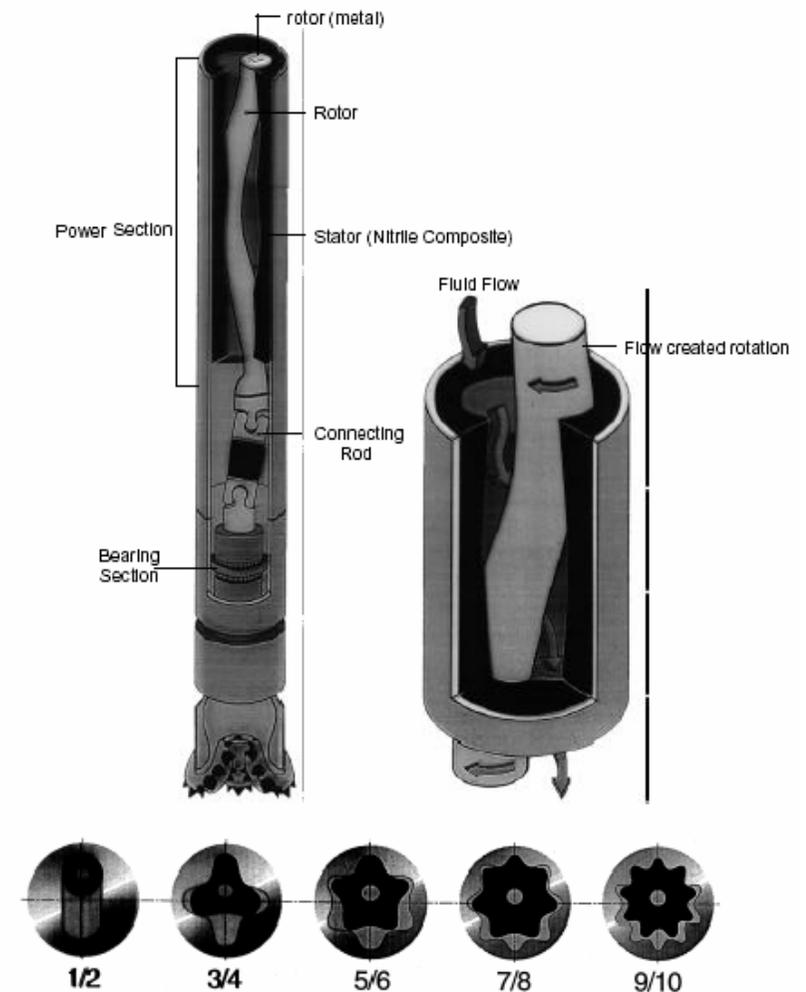
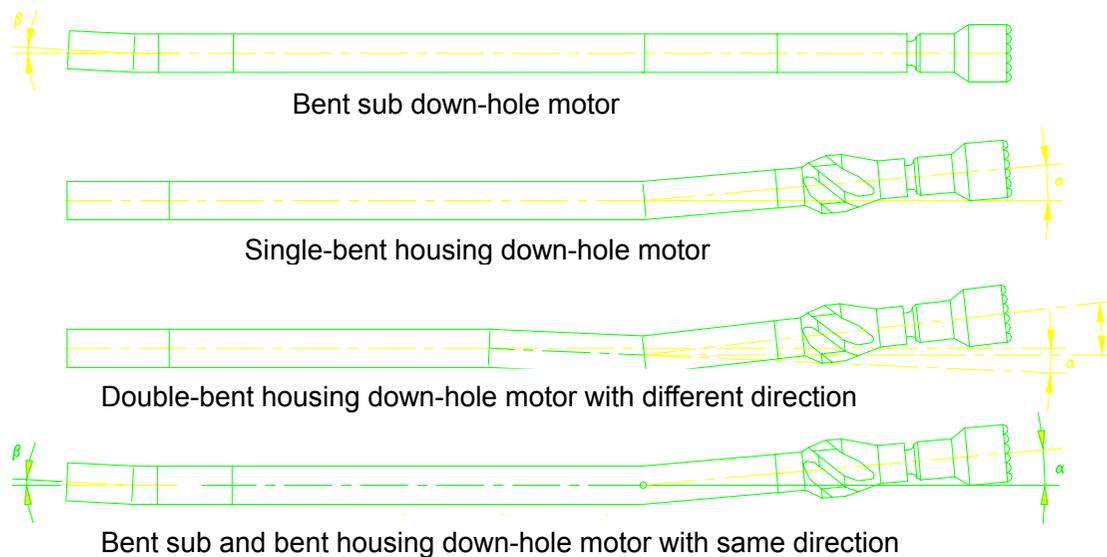


Jetting (Jateamento) – Quando a formação é muito mole, este sistema de deflexão pode ser usado. brocas tricônicas são usadas na operação, com um ou dois dos jatos maiores que o terceiro. A força hidráulica “lava” o poço na direção em que a vazão é maior, permitindo a deflexão do mesmo. Este método usa alternadamente Jateamento e Perfuração Rotativa e registros direcionais são constantemente tomadas para se evitar dog legs muito severos.



- Motores de Fundo

É um motor hidráulico movido pelo fluxo do fluido de perfuração que passa pelo seu interior e é conectado imediatamente acima da broca para transmitir torque e rotação à mesma. A deflexão pode ser obtida através de um sub torto (bent sub) posicionado acima do motor durante a perfuração orientada (slide) ou através da deflexão no próprio corpo (bent housing) do motor, os motores com “bent housing” conhecidos com “Steerable” podem ser utilizados para perfuração orientada (slide) ou rotativa. Quando associados a um conjunto de medição contínua sem cabo (MWD), formam o que chamamos de STEERABLE SYSTEMS.

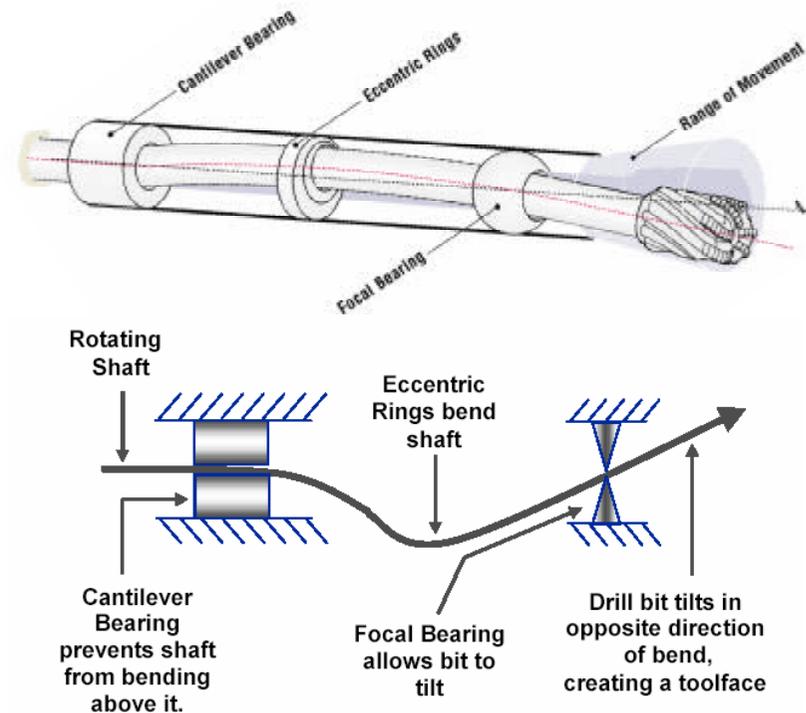
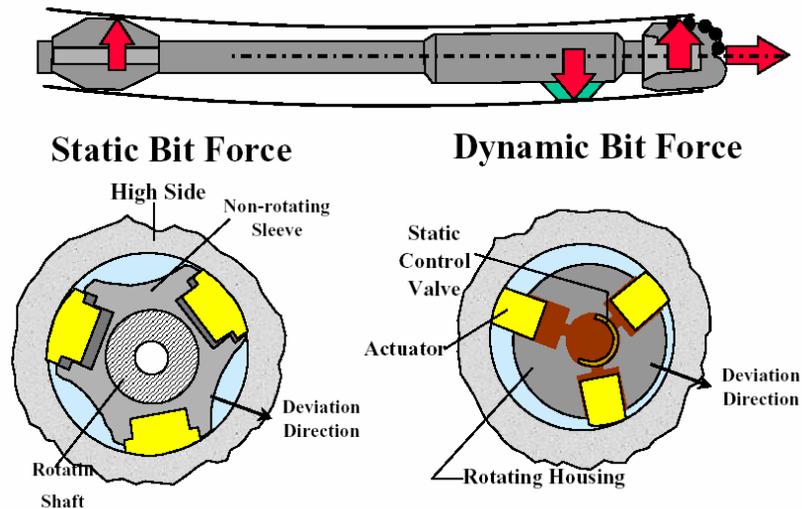


- Rotary Steerable Tool (RST)

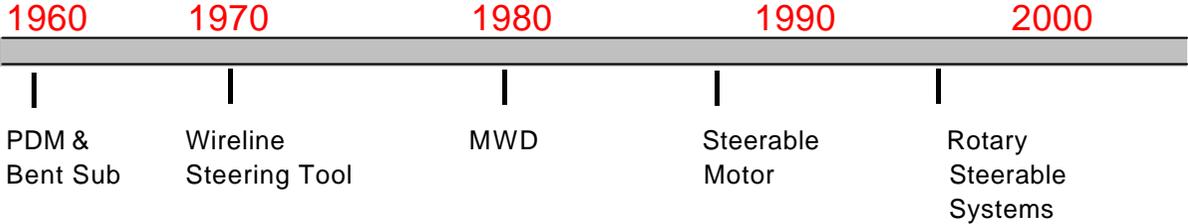
O RST, é uma ferramenta defletora que é conectada imediatamente acima da broca, na qual permite a alteração com taxa controlada na trajetória do poço em qualquer direção e inclinação, sem que seja necessário parar a rotação da coluna.

Sistema “Push the Bit” - Operam através de pistões posicionados logo acima da broca, na qual empurram a parte inferior da coluna no sentido desejado e com intensidade necessária para obter a alteração da trajetória programada.

Sistema “Point the Bit” - Operam através de um sistema de anéis excêntricos, na qual é criada uma flexão no eixo principal da ferramenta, que resulta na orientação da broca na direção oposta.



Evolution of Steerable Systems



Drilling Tool Type	Deflection Tool Type	Well Inclination	Survey Method
D500 Single-Lobe Motors	Bent Sub	25-35 deg Type I, II, III Wells	Singleshot
Multi-Lobe Motors	Bent Sub	25-55 deg Type I, II, III Wells	Steering Tool
Steerable Motors	Adjustable Bent Housing	25-90 deg Type I-III & Horizontal Wells	MWD / LWD
Dynamic Rotary Steerable Tools	Pistons or Paddles	25-90 deg Type I-III Horizontal & ERD Wells	MWD / LWD
Static Rotary Steerable Tools	Circumferential Forces	25-90 deg Type I-III Horizontal & ERD Wells	MWD / LWD