



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

## **PMI-1841 ENGENHARIA DE PERFURAÇÃO**

**AULA 2 – SISTEMAS DE UMA SONDA DE PERFURAÇÃO  
AULA 3 - SISTEMAS DE UMA SONDA DE PERFURAÇÃO –  
EXERCÍCIOS DE MOTORES E GUINCHO**

**Wilson Siguemasa Iramina**

**São Paulo, agosto de 2016**

### **MÉTODO ROTATIVO CONVENCIONAL (ROTARY DRILLING) - Resumo**

A rotação transmitida à broca provém da mesa rotativa posicionada na superfície. Na parte superior da coluna de perfuração existe uma haste de seção hexagonal ou quadrada que desliza livremente dentro da mesa rotativa (kelly). Assim, a mesa transmite rotação à haste quadrada que por sua vez transmite à coluna de perfuração, indo girar, finalmente, a broca.

A coluna de perfuração exerce ainda duas importantes funções: aplicação de peso sobre a broca, através dos comandos de perfuração, e circulação de um fluido de perfuração, que por sua vez tem, entre outras, a função de refrigerar a broca e remover os cascalhos até a superfície.

Todo o conjunto constituído pela broca, coluna de perfuração, haste quadrada e cabeça de injeção fica suspenso pelo gancho que é movido verticalmente por um sistema de polias, chamado de bloco-catarina ou simplesmente catarina. O bloco se apoia na torre, que por sua vez transmite toda a carga à subestrutura e esta à fundação ou base.

### **VANTAGENS E DESVANTAGEN DO MÉTODO ROTATIVO CONVENCIONAL**

As principais vantagens são:

- a) Permite rapidez nas operações, propiciando baixo custo por metro perfurado;
- b) Possibilita a perfuração de poços de grandes diâmetros;
- c) Permite a retirada contínua dos cascalhos;
- d) Possibilita a perfuração de poços direcionais;
- e) Permite o controle dos fluidos das formações, impedindo “blowouts”;
- f) Proporciona poços de boa calibragem;
- g) Possibilita alcançar grandes profundidades devido ao emprego do fluido de perfuração.

### **VANTAGENS E DESVANTAGEN DO MÉTODO ROTATIVO CONVENCIONAL**

As principais desvantagens são:

- a) Determinação imprecisa das características das formações penetradas – devido à formação do reboco nas paredes do poço e penetração do filtrado da lama, junto às paredes do poço;
- b) Poço tortuoso, a depender dos parâmetros empregados;
- c) Custo elevado da sonda de perfuração;
- d) Custo operacional elevado;
- e) Tempo de manobra – bastante elevado

## **Etapas da perfuração de poço**

1. Verifique os dados de sísmica e outras informações
2. Alugue/compre ou obtenha a concessão do terreno.
3. Calcule/estime da forma mais precisa possível.
4. Se as estimativas se mostrarem promissoras prossiga.
5. Obtenhas as licenças necessárias.

## **Etapas da perfuração de poço**

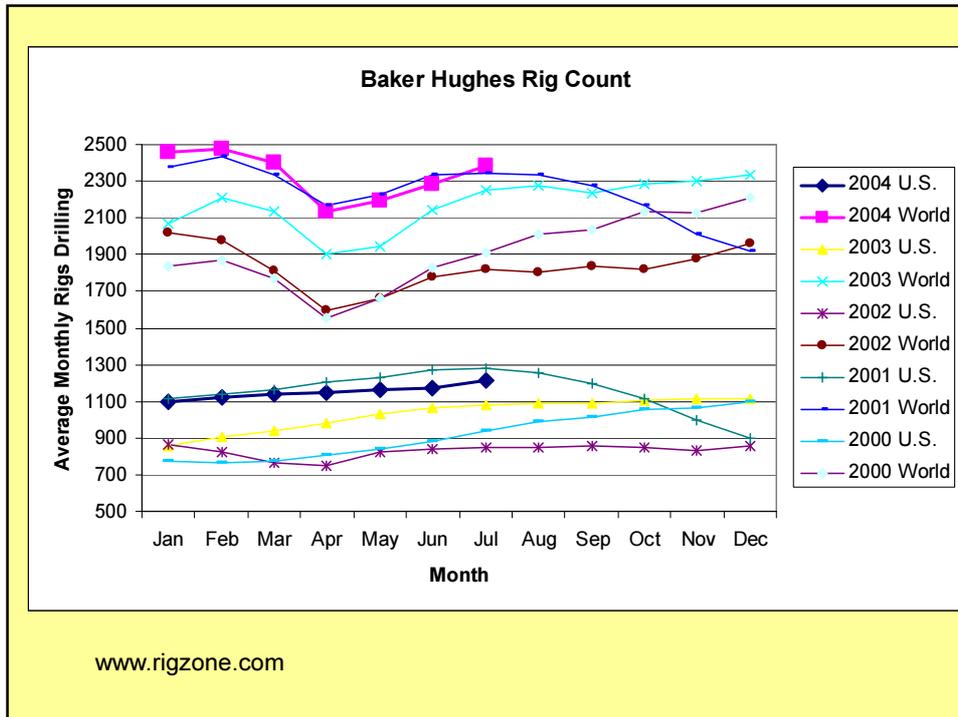
6. Prepare o programa de perfuração e completação.
7. Faça editais/leilões para metragem perfurada, dias de trabalho ou uma combinação por meio de empresas contratadas baseado no seu programa de perfuração.
8. Se for o caso modifique o programa para se adequar aos equipamentos.

## **Etapas da perfuração de poço**

9. Construa estradas, locações/plataformas e outros equipamentos (marítimos) necessários para acessar o local.
10. Junte todo o pessoal envolvido antes de iniciar a perfuração (pre-spud meeting)
11. Se for o caso modifique novamente o programa.
12. Perfure o poço.

## **Etapas da perfuração de poço**

13. Contrate a empresa que vai iniciar a completação.
14. Complete o poço.
15. Instale os equipamentos de superfície.
16. Faça a análise das operações com pessoas especializadas.



## 1. EQUIPAMENTOS DA Sonda DE PERFURAÇÃO

Os equipamentos são agrupados nos chamados “sistemas de uma sonda”. São divididos em **SISTEMAS DE SUPERFÍCIE** e **SISTEMA DE SUBSUPERFÍCIE**. Os sistemas de superfície são

- Sustentação de cargas;
- Geração e transmissão de energia;
- Movimentação de carga;
- Rotação;
- Sistema de circulação;
- Sistema de segurança do poço;
- Sistema de monitoramento.

### 1.1 SISTEMA DE SUSTENTAÇÃO DE CARGAS

- Constituído do mastro ou torre, da subestrutura e da base ou fundação.



### FUNDAÇÕES OU BASES

As fundações ou bases devem suportar com segurança, as cargas para as quais a torre e a própria subestrutura foram dimensionadas. Portanto, as cargas atuantes numa fundação são decorrentes do:

- a) Peso da torre, com sua carga máxima;
- b) Peso da subestrutura;
- c) Peso da mesa rotativa com sua carga;
- d) Peso do guincho completo (transmissão, motores, etc).

As fundações, bem como suas subestruturas, são padronizadas e devem ser rígidas a fim de resistir às deflexões, vibrações e deslocamentos.

## **FUNDAÇÕES OU BASES**

**Fundações em concreto:** apresentando as seguintes características: são caras, não podem ser removidas após a perfuração do poço, apresentam boa resistência à decomposição e podem receber grandes cargas.

**Fundações em madeira:** constam de um estrado composto de pranchões de madeira, unidos por parafuso. O estrado é assentado sobre o solo, previamente nivelado. O solo deve ser seco, denso e bem drenado. Possuem a desvantagem de não assegurar à sonda boa estabilidade quanto à ação dos ventos e vibrações.

**Fundações em grelha de aço:** formadas por perfis “I”, soldados em seções de tamanho que facilite o transporte. São mais duráveis que os de madeira, porém de maior custo inicial.

## **FUNDAÇÕES OU BASES**

**Fundações especiais:** para perfurações em pântanos ou mares rasos, empregam-se tipos especiais de fundações em estacas ou ilhas artificiais. As estacas são cravadas até que se consiga subsolo de consistência compatível com as cargas a serem suportadas, unindo-se, a seguir, os topos das mesmas por tubos ou blocos de concreto. As ilhas artificiais são construídas transportando-se para a locação materiais como pedras, pedregulhos, areia, folhelho e promovendo um aterro

## SUBESTRUTURAS

A torre não pode ser pousada diretamente sobre o solo para se dispor de um espaço para trabalho abaixo da plataforma. Este espaço depende do tipo de sonda e das pressões das formações esperadas, tendo em vista a necessidade de se utilizar os equipamentos de segurança (BOP).

As subestruturas são metálicas e devem ser projetadas de modo que possam ser rapidamente desmontadas, transportadas e montadas noutra locação de maneira mais unitária possível. Há ainda, a subestrutura dos motores para facilitar a transmissão de energia.

Existem vários tipos de subestruturas padronizados pela API – American Petroleum Institute: Tipo “A”, tipo “B” e tipo treliçado ou monobloco. Existem outros não padronizados ou especiais.

Substructure



## SUBESTRUTURAS

Estaleiros para tubos (pipe rack): são várias vigas em perfis “I” estendidas paralelamente nos lados da passarela. São apoiados em pilares e servem para manter os tubos em nível acima do solo.



Tubulações mantidas no estaleiro

### **TORRE (DERRICK)**

É o equipamento fundamental à função de elevação da coluna, promovendo uma folga vertical para permitir as manobras (içamento de uma seção de tubos a ser descida ou ser retirada do poço. As torres mais comuns tem uma altura útil de trabalho na faixa de 40 m.

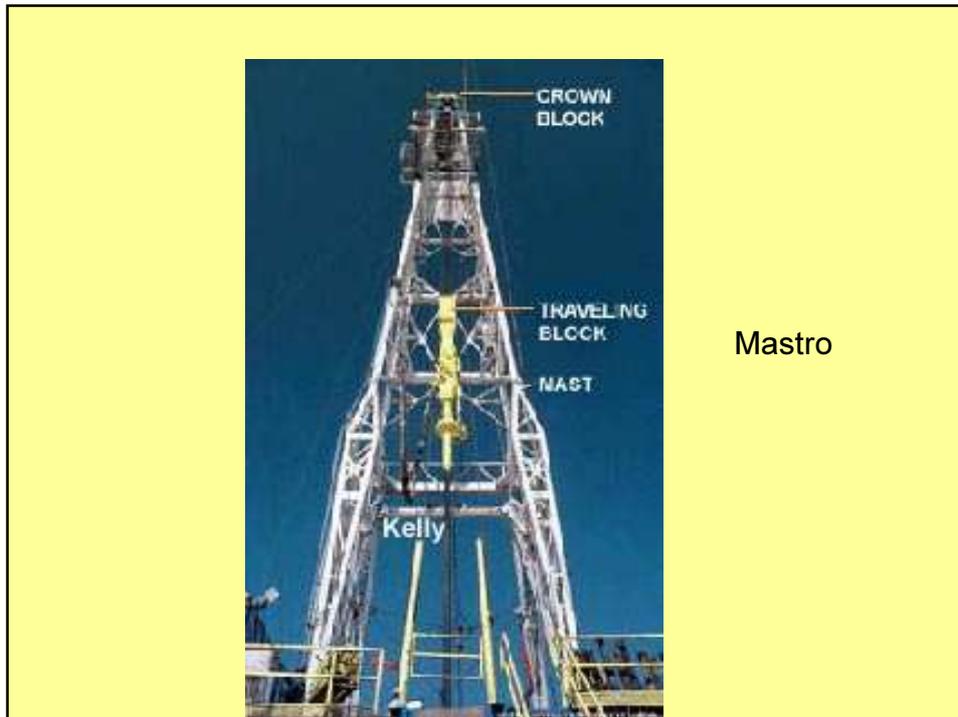
Como torres podemos designar as torres convencionais e os mastros, terrestres ou para perfuração marítima.

As torres convencionais são estruturas em treliça que exigem a desmontagem e a montagem das vigas uma a uma. Com isto, conseqüentemente o custo operacional é bastante significativo. Os mastros são estruturas semelhantes às torres, só que montados ou desmontados em seções. Com isto, o tempo de DTM (Desmontagem – Transporte – Montagem) da sonda fica sensivelmente reduzido.

### **TORRE (DERRICK)**

Além da altura, as torres são também especificadas por sua resistência aos esforços desenvolvidos pelo peso suspenso no gancho, peso estaleirado na plataforma e ação de vento.

As torres para perfuração marítima são projetadas para resistirem, também, aos esforços dinâmicos que ocorrem durante as operações de reboque das unidades de perfuração.



Mastro

## 1.2.SISTEMA DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA

A energia que move as sondas de perfuração modernas vem de motores a diesel de combustão interna. O número e a potência dos motores variam de acordo com a capacidade projetada para a sonda.

As sondas são geralmente classificadas em sondas mecânicas ou diesel-elétricas, dependendo do método de transmissão da energia aos equipamentos.

Motores diesel, para o acionamento dos equipamentos de uma sonda de perfuração

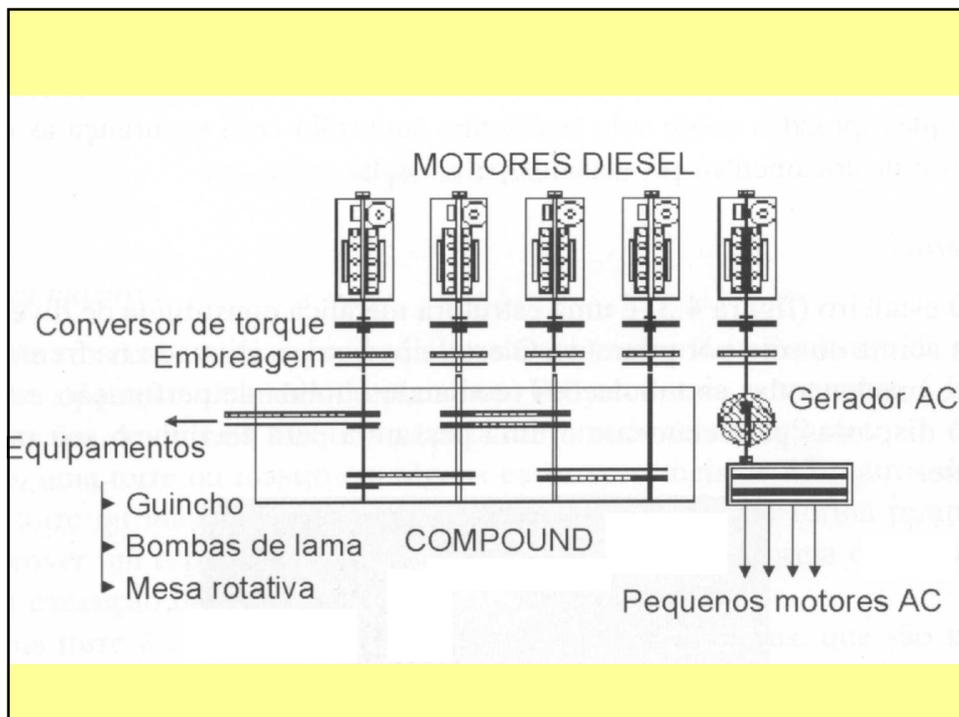
Turbinas a gás (para sondas marítimas com produção de gás) – comum e mais econômica para gerar energia para toda a plataforma

Energia elétrica, vantajosa se houver disponibilidade da rede pública e quando o período de permanência da sonda for elevado

## SONDA MECÂNICA

Em uma sonda mecânica as potências de vários motores diesel são coletados numa transmissão comum, conhecida como compound. Os principais equipamentos de perfuração – guincho, mesa rotativa e bombas de lama – são conectados ao compound via rodas dentadas, correntes e engrenagens.

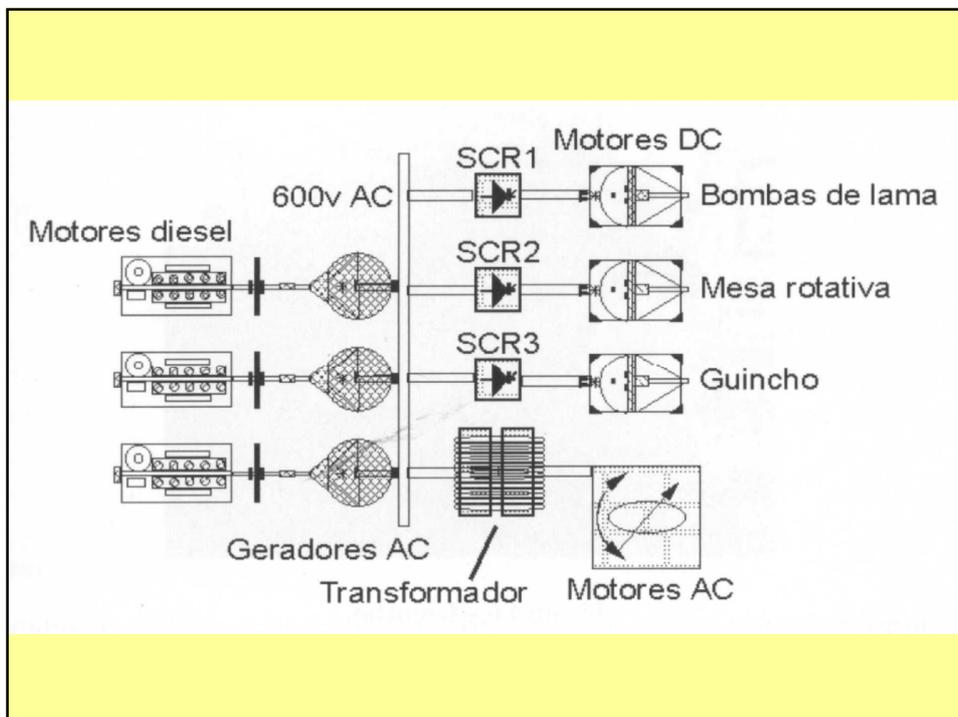
O torque requerido nas operações de perfuração é variável. Como a variação de torque no motor diesel é muito pequena mesmo para grandes variações na rotação, coloca-se um dispositivo entre o motor diesel e o compound para multiplicação do torque. Este dispositivo é o conversor de torque.



## SONDAS DIESEL-ELÉTRICAS

Nas sondas diesel-elétricas, os motores diesel são acoplados diretamente a geradores de energia elétrica. Se os geradores são de corrente contínua a sonda é do sistema DC-DC; se os geradores são de corrente alternada a sonda é do sistema AC-DC. Nos dois sistemas, os motores elétricos dos equipamentos de perfuração (guincho, mesa rotativa e bombas de lama) são de corrente contínua (DC), cujas características de torque x rotação são bastante apropriadas às operações de perfuração.

O sistema mais usado atualmente é o sistema AC-DC, onde vários conjuntos moto-geradores de corrente alternada (AC) geram energia elétrica para um único barramento. Esta potência elétrica, retificada e com sua tensão controlada por pontes de SCR ("silicon controlled rectifier") é dirigida para os motores de corrente contínua dos equipamentos de sonda. A energia para iluminação e sistemas auxiliares é "coletada" diretamente do barramento principal.



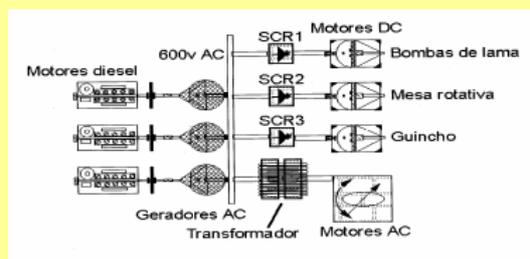
## SONDAS DIESEL-ELÉTRICAS

As sondas diesel-elétricas proporcionam maior flexibilidade no arranjo físico dos equipamentos economizando tempo na desmontagem e montagem da sonda. A grande vantagem deste sistema é o aumento da eficiência global da operação.

## Sistema de Geração de Energia

- Sondas diesel-elétricas ou sonda AC/DC

- Nas sondas diesel-elétricas a potência gerada nos motores a diesel é primeiro convertida em eletricidade
- O acionamento dos sistemas de elevação de carga, de circulação de fluidos e e rotação da coluna são feitos com motores de corrente contínua

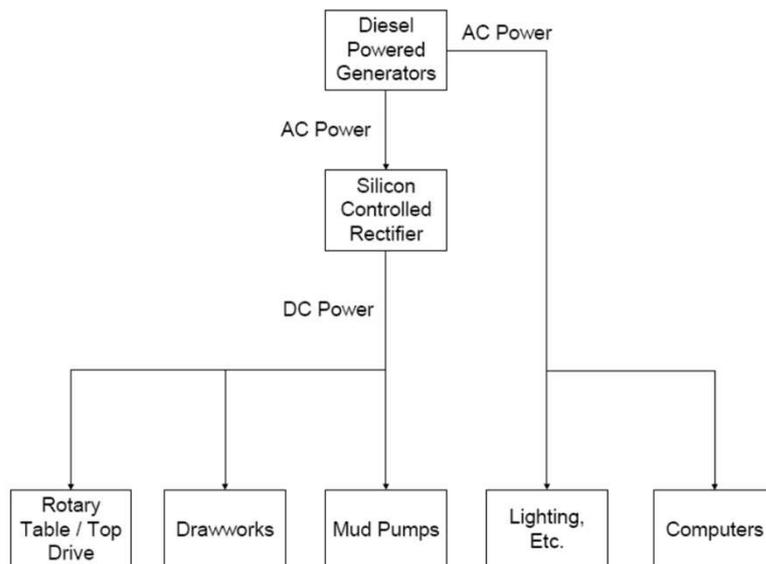


- Mais usadas no mar
- Uso de eletricidade confere flexibilidade
- SCR: sistema de controle e retificação de tensão

## Diesel Generators and SCR House



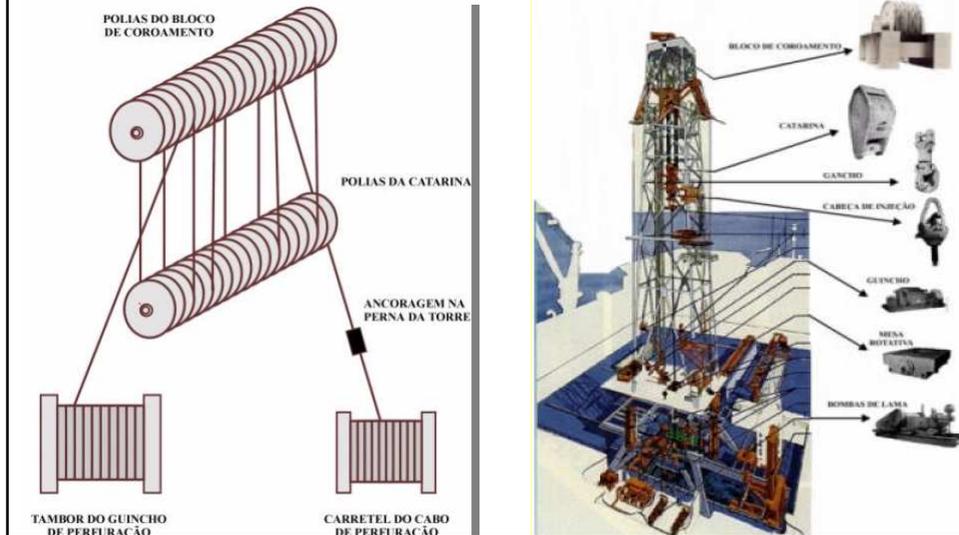
## Electrical Power Distribution



### 1.3. Sistema de movimentação de carga

**Função:** movimentar as colunas de perfuração, de revestimento e outros equipamentos.

**Principais componentes:** guincho, bloco de coroamento, catarina, cabo de perfuração, gancho e elevador



## Sistema de Elevação de Carga

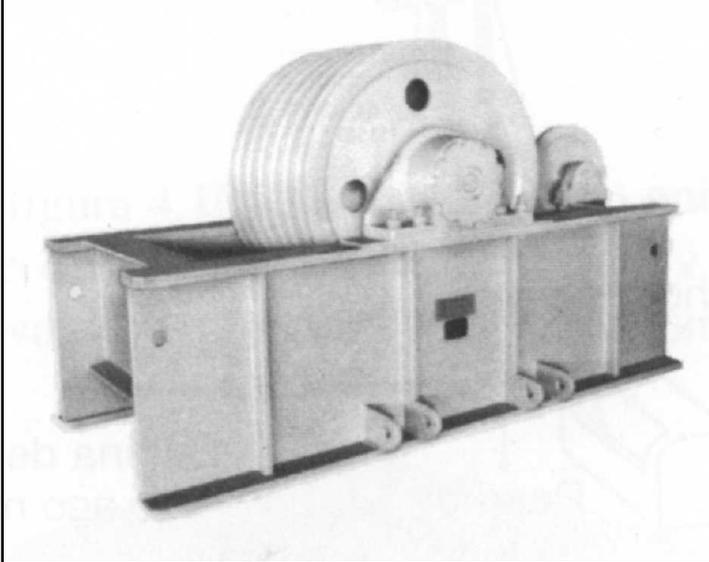


O sistema de elevação consiste em um sistema de polias. Um sistema de polias é uma máquina simples clássica, como o plano inclinado e a alavanca. A carga na linha morta,  $F_d$ , será igual à carga no gancho,  $W$ , dividida pelo número  $n$  de linhas entre o bloco de coroamento e a catarina.

$$F_d = \frac{W}{n}$$

**Molinetes – tracionar cabos e cordas**

**Embreagem**



**a) Guincho**

**Another View of Drawworks**



### **a) Guincho**

É o equipamento da sonda responsável pela movimentação vertical das tubulações no poço. Suas partes principais são:

- a) **Tambor principal:** onde se enrola (desenrola) o cabo de perfuração ao se içar (descer) uma carga;
- b) **Freio:** para controlar a velocidade de movimentação de carga existem dois sistemas de frenagem do tambor do guincho: o principal, por fricção e o secundário, hidráulico ou eletromagnético;
- c) **Caixa de marchas:** permite adequar o binômio torque x velocidade no eixo do tambor principal a carga a ser içada;
- d) **Tambor auxiliar e molinetes:** são montados no eixo secundário do guincho. No tambor auxiliar fica armazenado um cabo de aço mais fino que o cabo de perfuração que serve para descer pequenos equipamentos no poço. Na extremidade do eixo secundário estão os 2 tipos de molinetes: os "catheads" que acionam as chaves flutuantes e os molinetes de fricção (para pequenas cargas).

### **b) Conjunto Bloco/Catarina**

O conjunto bloco/atarina compõe-se do bloco de coroamento, da catarina e do cabo de perfuração. Sua principal função é permitir o manuseio fácil das elevadas cargas geradas nas operações de perfuração

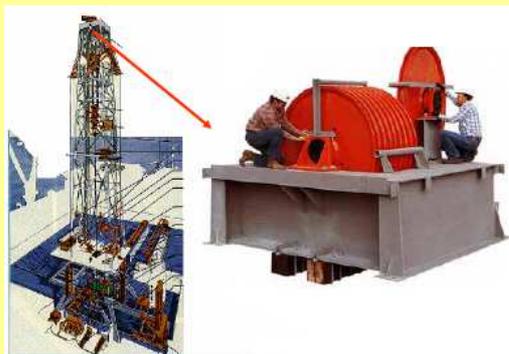
### **b1) Bloco de coroamento**

É um conjunto de polias, em geral de 4 a 6, dispostas em linha através de um eixo central. Este eixo é suportado por dois mancais de deslizamento apoiados sobre vigas de aço localizados no topo da torre. Na extremidade do eixo existem graxeiros para a lubrificação dos rolamentos das polias e do próprio mancal de apoio.

As dimensões das polias estão relacionadas com os diâmetros dos cabos de aço que podem passar por elas. Quanto maior o diâmetro do cabo maior o diâmetro da polia. Se a abertura do canal da polia é estreita para o cabo ambos se desgastarão por abrasão; se é larga demais, o cabo se achata ao passar pela polia pela falta de apoio lateral.

## **Sistema de Elevação de Carga**

- Bloco de Coroamento
  - Conjunto de polias fixas, apoiadas na parte superior do mastro ou torre por onde passa o cabo de aços ou cabo de perfuração

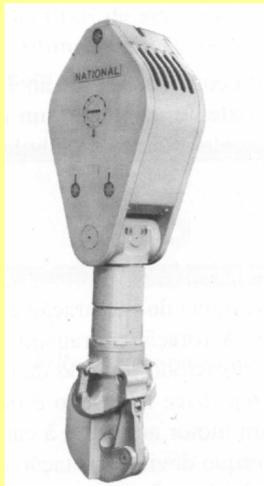




**b1) Bloco de coroamento**

**b2) Catarina**

Conjunto de 3 a 6 polias móveis montadas sobre um eixo na própria estrutura com um gancho na parte inferior dotado de um sistema de amortecimento para evitar que os golpes causados na movimentação das cargas se propaguem ao longo da estrutura.



## b2) Catarina

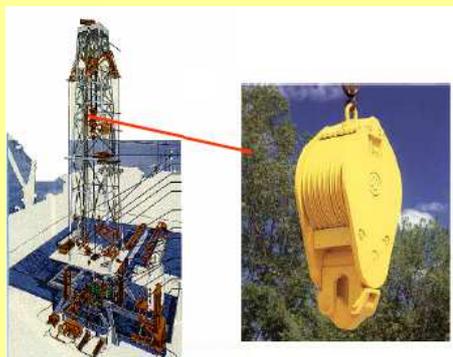
Pela movimentação do cabo passado entre as polias do bloco de coroamento e as suas, a catarina se movimenta ao longo da altura da torre, içando ou descendo equipamentos no poço. Em sua extremidade inferior encontra-se uma alça que a liga ao gancho.

O gancho é o elemento de ligação da carga ao sistema de polias. Seus principais elementos são:

- a) Comando – elemento responsável pela transmissão da carga ao corpo do gancho;
- b) Mola e amortecedor hidráulico – evitam choques elevados do batente do comando no corpo do gancho. Ao suspender a carga, a mola se comprime suavizando o choque além de forçar óleo para cima do elemento retentor da mola. Ao se liberar a carga, a mola força o comando para sua posição original com velocidade atenuada pela passagem restringida do óleo.

## Sistema de Elevação de Carga

- Catarina
  - Conjunto de polias móveis justapostas em um pino central
  - Movimenta-se para cima e para baixo ao longo da torre para suspender ou baixar a coluna ou outras cargas



### c) Cabo de perfuração

Faz a conexão entre o bloco-catarina e o tambor do guincho. É um cabo formado por arames de aço e na sua construção devem ser observados :a) número de pernas em torno de uma alma; b) a sua composição – disposição dos fios em cada perna; c) Alma; d) Torção; e) passo de um cabo; f) Preformação; g) Resistência



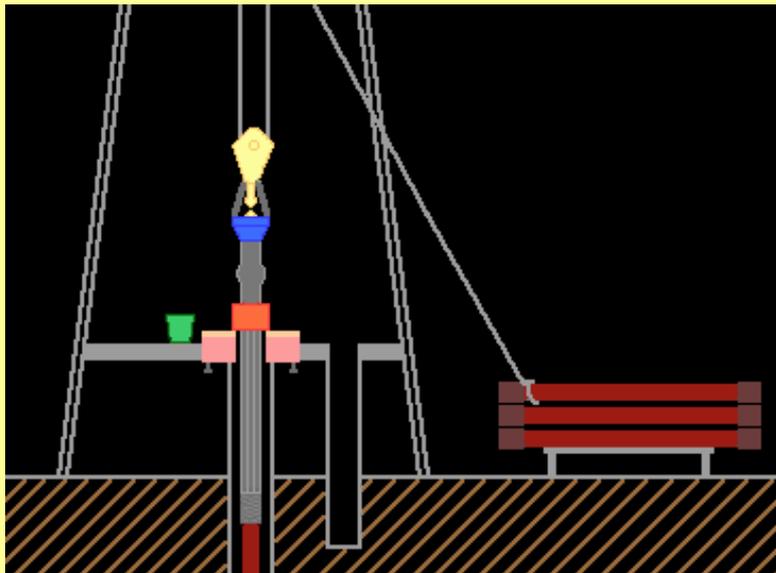
Cabo de perfuração



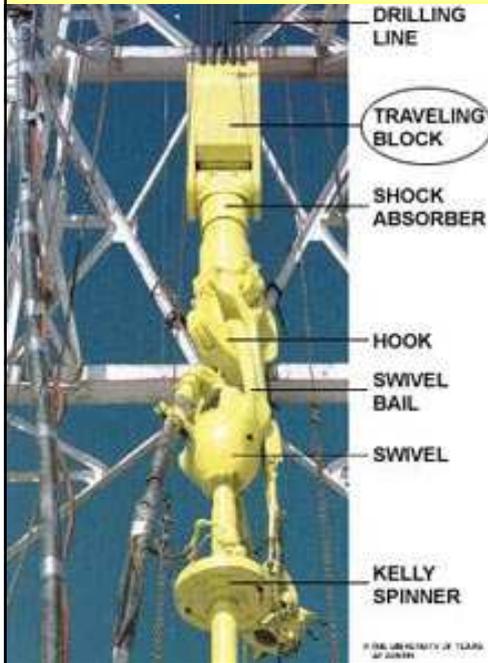
Cabo de perfuração

#### d) Elevador

Utilizado para movimentar elementos tubulares – tubos de perfuração e comandos.



#### 1.4. Sistema de rotação

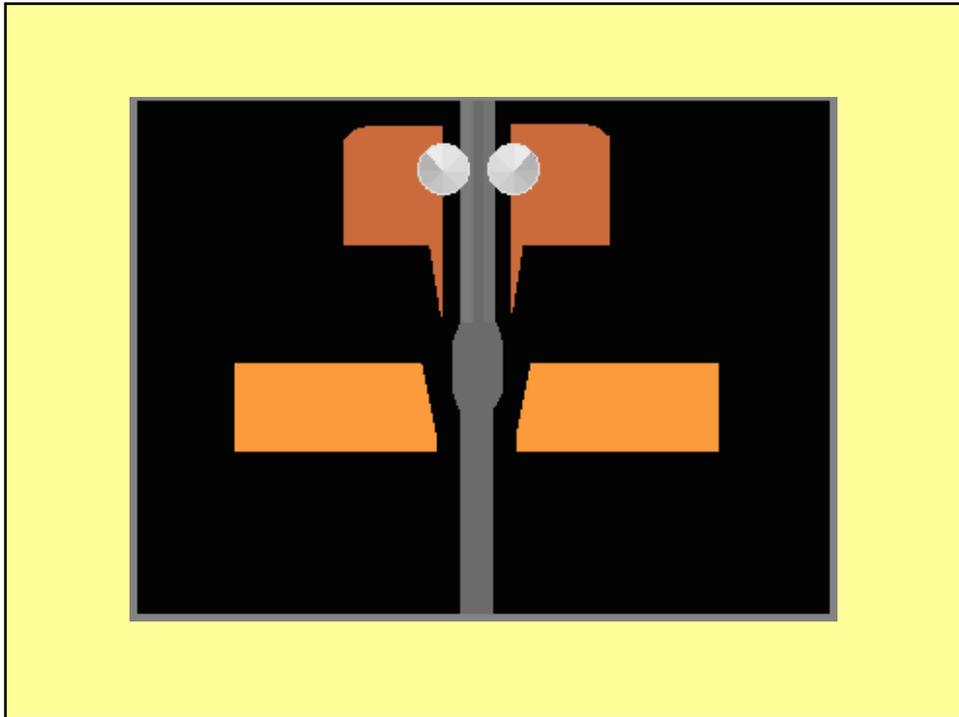


O sistema de rotação é constituído por equipamentos que promovem ou permitem a livre rotação da coluna de perfuração.

### Sistema de Rotação da Coluna

- Mesa rotativa
  - Elemento que transfere o torque à **bucha do kelly**, que por sua vez transfere o torque ao **kelly**, girando a **coluna de perfuração**.
- Haste quadrada ou Kelly
  - Elemento da coluna de perfuração contendo uma seção quadrada ou hexagonal.
  - Passa por dentro da bucha do kelly e permite transferir torque à coluna de perfuração.



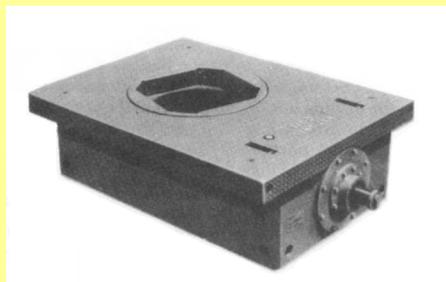


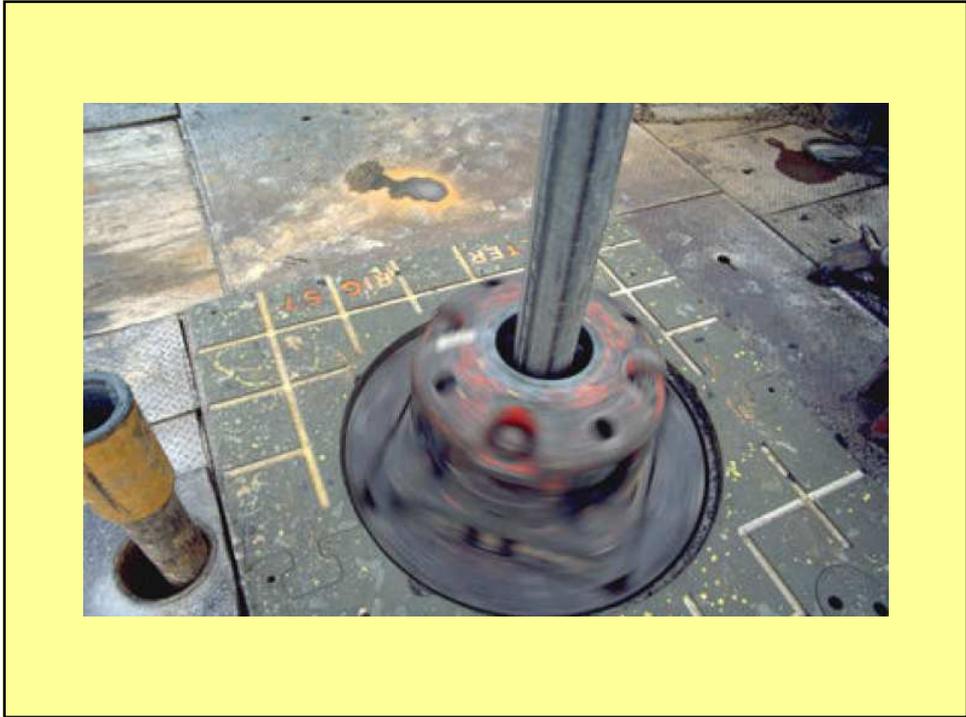
#### **a) Mesa rotativa**

Transmite rotação à coluna de perfuração e permite o livre deslizamento do kelly no seu interior. Em certas operações, a mesa rotativa deve suportar o peso da coluna de perfuração.

Acionamento: através do guincho ou através de um conjunto independente.

Componentes principais: Eixo pinhão; rotor (transmissor do sistema de rotação), corpo (carcaça com os componentes da mesa) e piso (cobre e protege a mesa).





# Mesa rotativa

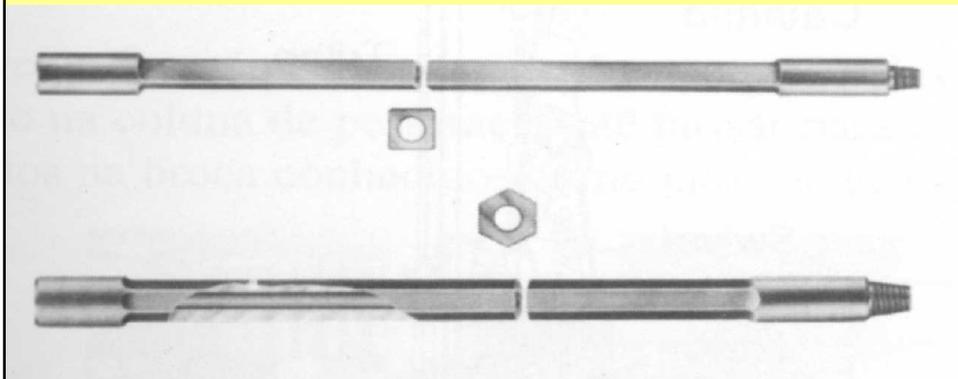
- Mesa rotativa
  - Elemento que transfere o torque à bucha do kelly, que por sua vez transfere o torque ao kelly, girando a coluna de perfuração.
- Haste quadrada ou Kelly
  - Elemento da coluna de perfuração contendo uma seção quadrada ou hexagonal.
  - Passa por dentro da bucha do kelly e permite transferir torque à coluna de perfuração.



## b) Kelly

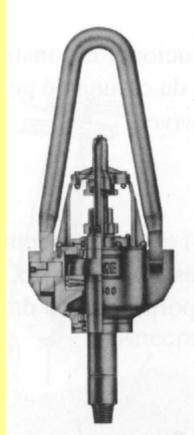
Transmite a rotação proveniente da mesa rotativa à coluna de perfuração. Existem 2 tipos de seção: quadrada para trabalhos em terra e hexagonal para sondas marítimas, uma vez que apresentam maior resistência à tração, torção e flexão.

B1) Kelly bush ou bucha do kelly (liga a mesa rotativa e a coluna de perfuração).



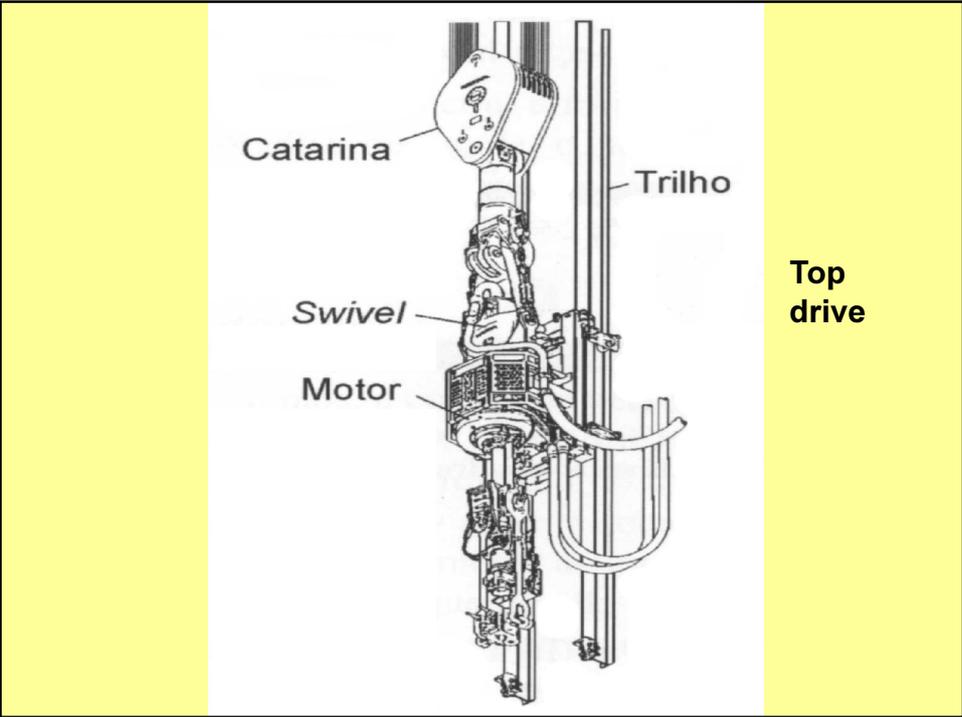
### **c) Cabeça de injeção (swivel)**

Separa os elementos rotativos daqueles estacionários na sonda de perfuração. A parte superior não gira e a parte inferior deve permitir rotação. O fluido de perfuração é injetado no interior da coluna através da cabeça de injeção. Existem 2 sistemas alternativos de aplicação de rotação na broca: top drive e motor de fundo.



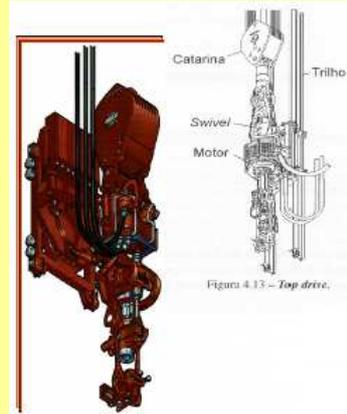
### **d) Top drive**

A perfuração com um motor conectado no topo da coluna (top drive) elimina o uso da mesa rotativa e do kelly. Permite perfurar o poço de 3 em 3 tubos, ao invés de 1 a 1 (como na mesa rotativa). Este sistema permite também que a retirada ou descida da coluna seja feita tanto com rotação como com circulação de fluido de perfuração pelo seu interior. Isto é extremamente importante em poços de alta inclinação ou horizontais.



## Sistema de Rotação da Coluna

- Top drive ou motor de topo
  - Elemento que permite girar a coluna
  - Não necessita da mesa rotativa
  - Não necessita de kelly. Aliás, não é usado com kelly e é um sistema alternativo de transferir torque à coluna
  - Apresenta vantagens, permitindo perfurar o poço por seção, gerando menor número de conexões
  - Outra vantagem, permite retirar a coluna com circulação e rotação, uma operação chamada **backreaming**, usada para remover o leito de cascalhos e limpar o poço



### e) Motor de fundo

