



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

**PMI-1841 ENGENHARIA DE PERFURAÇÃO**

**AULA 7 - CIMENTAÇÃO**

**Wilson Siguemasa Iramina**

**Santos, setembro de 2016**

## **Aula 7 - CIMENTAÇÃO**

- 1. Introdução e histórico**
- 2. Cimentação - conceituação**
- 3. Tipos de cimentação**
- 4. O cimento**
- 5. Equipamentos e acessórios de cimentação**

## **1. HISTÓRICO**

O 1º uso do cimento em poço de petróleo ocorreu na Califórnia em 1883, mas só em 1902 se passou ao uso do cimento Portland, em processo manual de mistura. Em 1910 Almond A. Perkins patenteou o método de bombear a pasta para o poço, com tampões metálicos a frente e atrás desta, para evitar contaminação, sendo deslocada por vapor d'água ou fluido de perfuração.

Em 1922, a Halliburton patenteou o misturador com jatos (jet mixer), automatizando a mistura da pasta, ampliando as possibilidades operacionais (a maioria das companhias passou a adotar estas práticas).

Nesta época aguardava-se de 7 a 28 dias para o tempo de pega. A partir de 1923 começaram a ser fabricados cimentos especiais para a indústria de petróleo (alta resistência inicial e uso de aditivos químicos). Tempo de pega foi reduzido (3 para 1 a 1,5 dias e hoje algumas horas).

## **2. CIMENTAÇÃO - Conceituação**

Após a descida da coluna de revestimento, geralmente o espaço anular entre a tubulação de revestimento e as paredes do poço é preenchido com cimento, de modo a fixar a tubulação e evitar que haja migração de fluidos entre as diversas zonas permeáveis atravessadas pelo poço, por detrás do revestimento. A cimentação do espaço anular é realizada, basicamente, mediante o bombeio de pasta de cimento e água, que é deslocada através da própria tubulação de revestimento. Após o endurecimento da pasta, o cimento deve ficar fortemente aderido à superfície externa do revestimento e à parede do poço, nos intervalos previamente definidos.

[http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight\\_id=317&c\\_id=1](http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=317&c_id=1)

<http://www.drillingformulas.com/category/oil-well-cementing/>

### 3. TIPOS DE CIMENTAÇÃO

#### 3.1. Cimentação primária

É a cimentação principal, realizada logo após a descida de cada coluna de revestimento no poço. Seu objetivo básico é colocar uma pasta de cimento não contaminada em determinada posição no espaço anular entre o poço e a coluna de revestimento, de modo a se obter uma vedação eficiente e permanente deste anular (isolamento da zona). Estas operações são executadas em todas as fases do poço, sendo previstas no programa do poço.

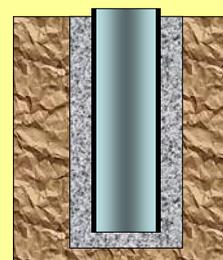
Se o objetivo principal for atingido (isolamento da zona) os outros requisitos (econômicos, confiabilidade, segurança, governamentais e outros) impostos durante a vida do poço poderão ser atingidos. Esta operação se faz necessária e de forma eficiente para conduzir as diversas operações posteriores de produção ou estimulação, por isso, o sucesso de um poço depende em grande parte da cimentação primária.

#### I. Cimentação primária

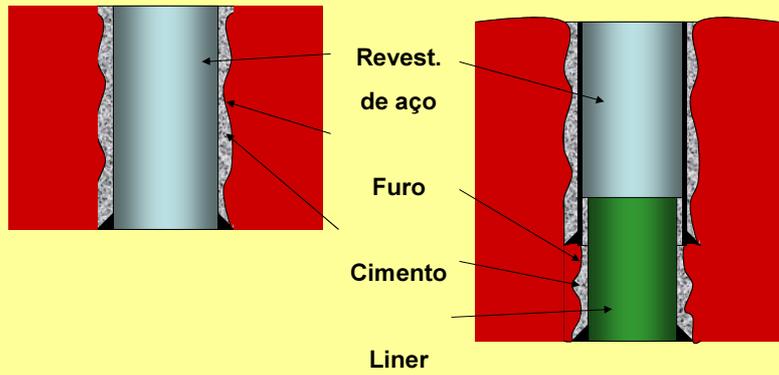
1. Toda a coluna
2. Liners
3. Tubos grandes
4. Estágio

A. Avaliação (survey e canhoneio)

B. Colares de estágio



# Cimentação primária



**Cimentação de toda a coluna**

**Cimentação do liner**

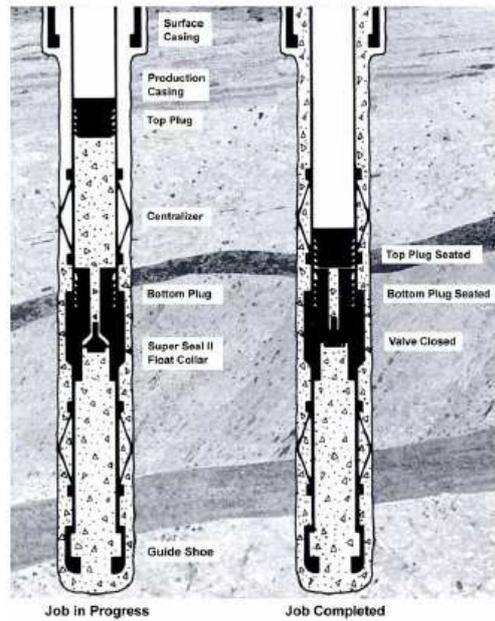


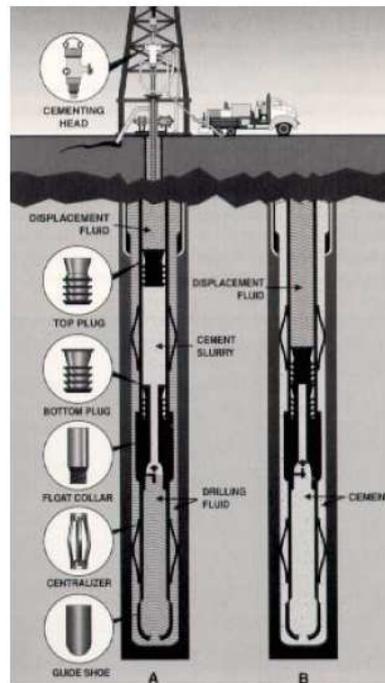
Figure 4.1 – Single-stage primary cementing job using the two-plug displacement method.

<http://www.oerb.com/videos/category/8/animation> (rig)

<http://www.youtube.com/watch?v=zJmSUemCUrg&feature=related>

[http://www.youtube.com/watch?v=FLMqfWCR\\_Pw&feature=fvwr](http://www.youtube.com/watch?v=FLMqfWCR_Pw&feature=fvwr)

[http://www.youtube.com/watch?v=hfM\\_I8UpsAs&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=hfM_I8UpsAs&feature=related)



<http://www.youtube.com/watch?v=cwL6opBVGjU>

<http://www.oerb.com/Default.aspx?tabid=242>

[http://www.youtube.com/watch?v=b8Vf\\_ZrNNzs](http://www.youtube.com/watch?v=b8Vf_ZrNNzs)

[https://www.youtube.com/watch?v=SfazJ6P\\_g7w](https://www.youtube.com/watch?v=SfazJ6P_g7w)

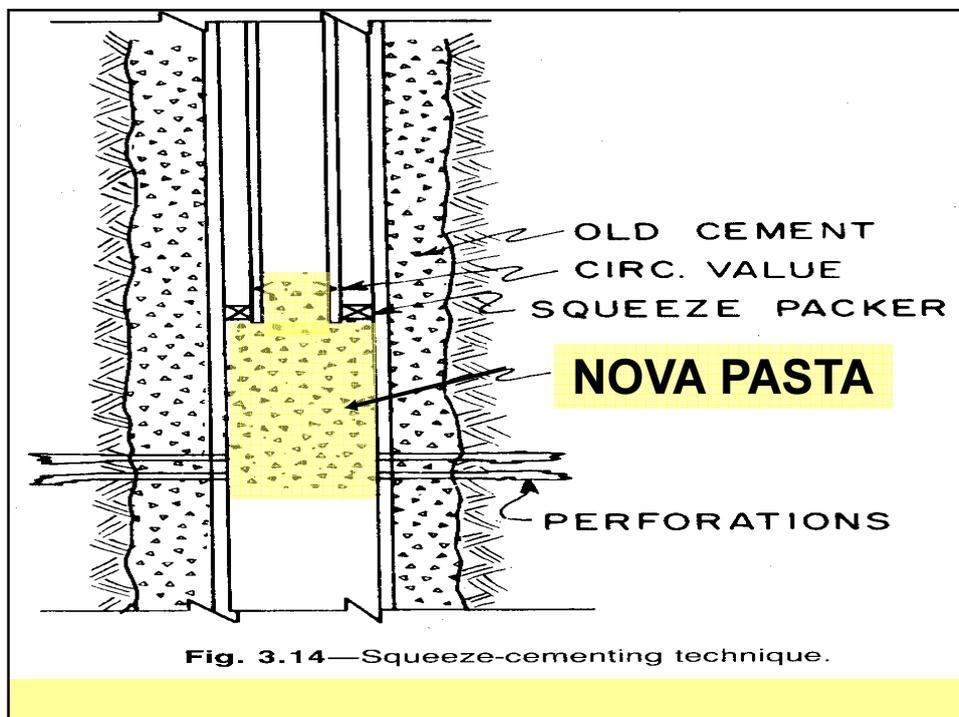
### 3.2. Cimentação secundária

Destina-se a corrigir a cimentação primária, quando há necessidade. São as denominadas operações emergenciais de cimentação, visando permitir a continuidade das operações. São classificadas como:

- Tampões de cimento: bombeamento de determinado volume de pasta que cobre um trecho do poço. Situações: perda de circulação, abandono total ou parcial do poço, base para desvios, etc.;
- Recimentação: correção da cimentação primária, quando o cimento não alcança a altura desejada no anular. O revestimento é canhoneado em 2 pontos.;
- Compressão de cimento ou “squeeze”. Injeção forçada de cimento sob pressão, visando corrigir a cimentação primária, sanar vazamentos no revestimento ou impedir a produção de zonas que passaram a produzir água.

## II. Squeeze Cementing

1. Sapatas (Shoe)
2. Revestimento (up-hole)
3. Furo aberto (perda de circulação)



### **III. Plugging**

1. Open-hole plug back
  - A. Operações de pescaria
  - B. Abandono
2. Revestimento (Casing)

### **IV. Técnicas especiais**

1. Terra
2. Off-shore

#### 4. O CIMENTO

A pasta de cimento usada na indústria do petróleo consiste basicamente de cimento, aditivos e água. Os vários tipos de cimento e aditivos dependem da aplicação final. O cimento Portland é o material escolhido em 99% das operações de cimentação primária, pois é obtido prontamente em todo o mundo além de ser comparativamente mais barato. Outros materiais, quer sejam mais baratos mas não disponíveis ou vice-versa, são: escória, pozolana, resinas epóxi ou cimentos especiais de magnésio ou oxiclreto.

#### 4. O CIMENTO

Os principais componentes do cimento Portland são: óxido de cálcio, sílica, alumina e ferro, que combinados formam os seguintes compostos:

- $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ : silicato tricálcico ou alita, representado por  $\text{C}_3\text{S}$ ;
- $2\text{Ca} \cdot \text{SiO}_2$ : Silicato dicálcico ou belita, representado por  $\text{C}_2\text{S}$ ;
- $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ : Aluminato tricálcico ou celita, representado por  $\text{C}_3\text{A}$ ;
- $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ : Ferro aluminato tetracálcico ou Ferrita, representado por  $\text{C}_4\text{AF}$

A proporção destes compostos no cimento determina suas propriedades, com resistência inicial, retardamento, calor de hidratação, resistência aos sulfatos, etc.

#### 4. O CIMENTO

Os principais componentes do cimento Portland são: óxido de cálcio, sílica, alumina e ferro, que combinados formam os seguintes compostos:

- $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ : silicato tricálcico ou alita, representado por  $\text{C}_3\text{S}$ ;
- $2\text{Ca} \cdot \text{SiO}_2$ : Silicato dicálcico ou belita, representado por  $\text{C}_2\text{S}$ ;
- $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ : Aluminato tricálcico ou celita, representado por  $\text{C}_3\text{A}$ ;
- $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ : Ferro aluminato tetracálcico ou Ferrita, representado por  $\text{C}_4\text{AF}$

A proporção destes compostos no cimento determina suas propriedades, com resistência inicial, retardamento, calor de hidratação, resistência aos sulfatos, etc.

#### 4. O CIMENTO

API classificou os cimentos Portland de A a J, em função da composição química, que deve estar adequada às condições de uso, como a profundidade e temperatura dos poços.

**Classe A:** Até 6.000 pés, quando não são requeridas propriedades especiais. (cimento Portland comum).

**Classe B:** até 6.000 pés, quando é requerida moderada a alta resistência aos sulfatos.

**Classe C:** até 6.000 pés, quando é requerida alta resistência inicial. Apresenta alta resistência aos sulfatos.

**Classe D:** 6.000 a 10.000 pés. Temperaturas moderadamente elevadas e altas pressões. Alta resistência aos sulfatos.

### Classificação API de cimento (continuação)

**Classe E:** 6.000 a 14.000 pés, pressão e temperatura elevadas. Apresenta alta resistência aos sulfatos.

**Classe F:** 10.000 a 16.000 pés, sob condições extremamente altas de pressão e temperatura. Alta resistência aos sulfatos.

**Classes G e H:** para utilização sem aditivos até profundidades de 8.000 pés. Como têm composição compatível com aditivos aceleradores ou retardadores de pega, podem ser usados praticamente em todas as condições previstas para os cimentos das classes A até E. Por isso, as classes G e H são as classes mais utilizadas atualmente na indústria do petróleo, inclusive no Brasil.

**Classe J:** para uso como produzido, em profundidades de 12.000 a 16.000 pés, sob condições de pressão e temperatura extremamente elevadas.

		Portland	API Class G	API Class H
Water, gal./sk.		5.19	4.97	4.29
Slurry Wt. lb./gal.		15.9	15.8	16.5
Slurry Vol. cuft./sk.		1.8	1.14	1.05
Temp. (deg. F)	Pressure (psi)	Typical comp. strength (psi) @ 12hrs		
60	0	615	440	325
80	0	1470	1185	1065
95	800	2085	2540	2110
110	1600	2925	2915	2525
140	3000	5050	4200	3160
170	3000	5920	4380	4485
200	3000	-	5110	4575
		Typical comp. strength (psi) @ 24hrs		
60	0	2870	-	-
80	0	4130	-	-
95	800	4130	-	-
110	1600	5840	-	-
140	3000	6550	-	7125
170	3000	6210	5865	7310
200	3000	-	7360	9900

### Uso de cimento no Brasil

No Brasil por muito tempo foi utilizado o cimento comum (classe A), mas a partir do final da década de 70 foi adotado também o cimento **Classe G**, que pode ser usado a maiores profundidades com maior segurança.

Principais propriedades

Propriedades	Saco de cimento	
	Brasileiro	Norte-americano
Peso	50 kg	94 lb
Volume aparente	33,1 dm <sup>3</sup>	1 pé <sup>3</sup>
Volume de sólidos ("absolute volume")	15,92 dm <sup>3</sup>	0,48 pé <sup>3</sup>
Massa específica ("absolute density")	3,14 kg/dm <sup>3</sup>	195,83 lb/pé <sup>3</sup>
Densidade relativa ("specific gravity")	3,14	3,14

### Principais aditivos para a cimentação

São compostos químicos adicionados à pasta de cimento visando sua adequação ao uso específico previsto. Suas concentrações são determinadas por testes de laboratório. Dosagem em pó (% em peso) ou líquido (volume, gal/pé<sup>3</sup>)

- Aceleradores de pega: diminuir o tempo de espessamento e aumentar a resistência compressiva inicial da pasta (CaCl<sub>2</sub> e NaCl).
- Retardadores de pega: quando a temperatura e pressão estão muito altas para o uso de cimento sem aditivos, permitindo o seu deslocamento (lignossulfonatos e derivados, ácidos orgânicos, derivados de celulose e derivados de glicose).
- Estendedores: maior rendimento da pasta (mais leves) e maior altura (menor pressão hidrostática). Funcionam por absorção de água (argila, bentonita, silicatos) ou adição de agregados de baixa densidade (pozolona, perlita, gilsonita).

### Principais aditivos para a cimentação

- Redutores de fricção (ou dispersantes): afinamento da pasta e adoção de maiores vazões com menores perdas de carga, causando melhor remoção do fluido de perfuração e um menor risco de fratura de formações.
- Controladores de filtrado: evitar a desidratação prematura da pasta frente às zonas permeáveis, mantendo a bombeabilidade e impedindo que se cause danos à pay zone. Sempre usados simultaneamente aos dispersantes.
- Outros: antiespumantes (evitar aeração da pasta), adensantes, controladores de perda de circulação, os descontaminantes, traçadores radioativos e corantes para detectar a presença do cimento e areias de granulometria controlada para evitar a degradação do cimento a altas temperaturas.

Table 4.1 – Mud Additives and Their Effect on Cement

Additives	Purposes	Cement Effects
Barium Sulfate (BaSO <sub>4</sub> )	Weighting agent	Density increase strength reduction
Caustics (NaOH, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , etc.)	pH adjustment	Acceleration
Calcium compounds CaO, Ca(OH) <sub>2</sub> , CaCl <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O	Conditioning and pH control	Acceleration
Hydrocarbons (diesel oil, lease crude oil)	Control fluid loss, lubrication	Density decrease
Sealants (scrap, cellulose, rubber, etc.)	Seal against leakage to formation	Retardation
Thinners (tannins, lignosulfonates, quebracho, lignins, etc.)	Disperse mud solids	Retardation
Emulsifiers (lignosulfonates, alkyl ethylene oxide adducts, hydrocarbons sulfonates)	Forming oil-in-water or water-in-oil muds	Retardation
Bactericides (substituted phenols, formaldehyde, etc.)	Protect organic additives against bacterial decomposition	Retardation
Fluid-loss control additives (C.M.C., starch, guar polyacrylamides, lignosulfonate)	Reduce fluid loss from mud to formation	Retardation

### **Principais testes de laboratório**

- a) Finura
- b) Água livre
- c) Resistência à compressão
- d) Perda de fluido
- e) Reologia
- f) Densidade e peso específico
- g) Tempo de espessamento

### **Equipamentos de cimentação**

- a) Silos de cimento
- b) Unidades de cimentação
- c) Linhas de cimentação
- d) Cabeça de cimentação

## **Equipamentos de cimentação**

### **a) Silos de cimento**

Para as operações de perfuração em terra em geral o cimento é estocado na base da companhia de cimentação, em grandes silos, sendo enviado para a sonda por meio de carretas apropriadas. Nas plataformas marítimas são disponíveis silos para armazenamento de cimento e outros materiais a granel. Estes silos operam a baixa pressão (cerca de 30 psi), quando da descarga do cimento.

### **b) Unidades de cimentação**

Montadas em caminhões para operações em terra ou sobre “skids” em sondas marítimas, as unidades de cimentação constam geralmente de dois motores para fornecer energia, dois tanques de 10 bbl cada, para a água e aditivos, duas bombas triplex, dois conversores para converter movimento rotativo dos motores no movimento alternativo das bombas, bombas centrífugas auxiliares e um sistema de mistura (água e aditivos) é bombeada sob pressão por pequenos orifícios, fluindo em jatos sob um funil por onde chega o cimento. A proporção da água injetada determinará a densidade da pasta e é controlada pelo operador. A pasta resultante é acumulada em um tanque ou “cuba” para homogeneização, de onde é sugada por meio de bombas triplex, que injetam para o poço. Toda a operação é monitorada via manômetros de pressão e medidores de fluxo, sendo feito o registro de uma carta circular onde estes valores são traçados, permitindo a análise posterior.

#### c) Linhas de cimentação

A ligação entre a unidade de cimentação e o poço é feita por tubulação de alta pressão, formada por uma série de tubos curtos interligados por meio de conexões móveis (çhicksam) dotadas de rolamento para possibilitar montagem até qualquer posição em que fique no topo do revestimento. Atualmente há a tendência de utilização de mangueiras especiais de borracha, mais práticas.

#### d) Cabeça de cimentação

Conectada ao topo da coluna de revestimento, recebe a linha de cimentação, podendo abrigar em seu interior os tampões de borracha que separam a pasta do fluido de perfuração. Um mecanismo de travamento retém estes tampões até o instante próprio de sua liberação. Pode ter entrada para até 3 linhas, rolamento para permitir o giro da coluna de revestimento e sistema de conexão especial para maior rapidez de instalação.

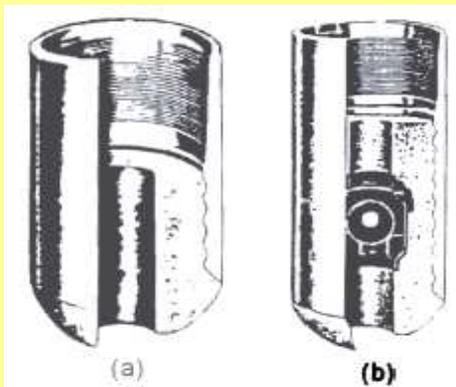
### **Acessórios de cimentação**

Diversos acessórios são conectados ou afixados à coluna de revestimento, visando garantir o melhor resultado da cimentação.

### **Acessórios de cimentação**

#### **Sapata**

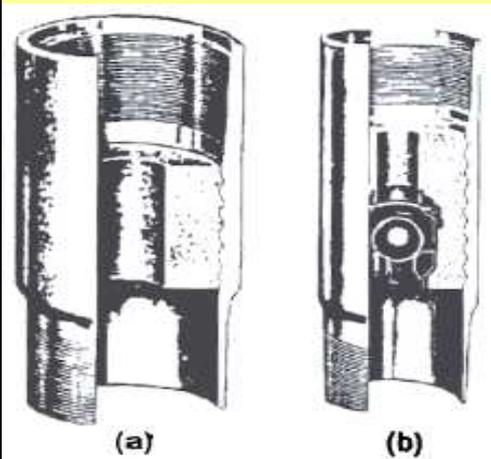
Colocada na extremidade da coluna, serve de guia para a introdução do revestimento no poço, podendo dispor de um mecanismo de vedação para evitar que a pasta, por ser mais pesada que o fluido de perfuração, retorne ao interior do revestimento após seu deslocamento.



- a) sapata-guia
- b) sapata flutuante

### Acessórios de cimentação - Colar

Posicionado 2 a 3 tubos acima da sapata, o colar serve para reter os tampões de cimentação, além de poder receber mecanismos de vedação (flutuante ou diferencial). Normalmente é usado colar flutuante. Caso não tenha mecanismo de vedação, é denominado colar retentor.



a) Colar retentor

b) Colar flutuante

### Outros acessórios de cimentação

**Tampões de fundo :** É um tampão de borracha com uma membrana de baixa resistência em sua parte central. Lançado na coluna à frente da pasta de cimento, é por esta empurrado até que toque no colar retentor (ou flutuante), quando a membrana se rompe permitindo a passagem da pasta. Visa raspar o filme de sólidos do fluido de perfuração que se adere à parede do revestimento, evitando a contaminação da pasta.

**Tampões de topo:** É um tampão rígido de borracha, lançado após a pasta, separando-a do fluido de perfuração que a deslocará, para evitar a sua contaminação. É retido pelo colar, causando um aumento de pressão que indica o término do deslocamento, permitindo a realização do teste de estanqueidade da coluna.

### **Outros acessórios de cimentação**

**Colar de estágio:** Posicionado em algum ponto intermediário da coluna, permite que a cimentação seja feita em mais de uma etapa ou estágio, quando o trecho a ser cimentado é muito extenso ou quando existam zonas críticas muito acima da sapata. Possui orifícios em seu corpo, originalmente tamponados por um mandril de aço para a realização do 1º estágio, referente à cimentação do trecho próximo à sapata.

**Centralizadores:** São peças compostas de um jogo de lâminas curvas de aço, que são afixados externamente à coluna de revestimento, visando centralizá-lo e causar um afastamento mínimo da parede do poço, para garantir a distribuição do cimento no anular e evitar a prisão da coluna por diferencial de pressão. Em poços direcionais pode-se usar centralizadores rígidos, devido à possibilidade de “achatamento” total das lâminas do centralizador comum.

### **Outros acessórios de cimentação**

**Arranhadores:** Tem a função de remover mecanicamente o reboco que se forma na parede do poço. Tal remoção é feita através dos movimentos verticais (reciprocções) ou de rotação da coluna, empregando-se para cada caso o tipo de arranhador apropriado.

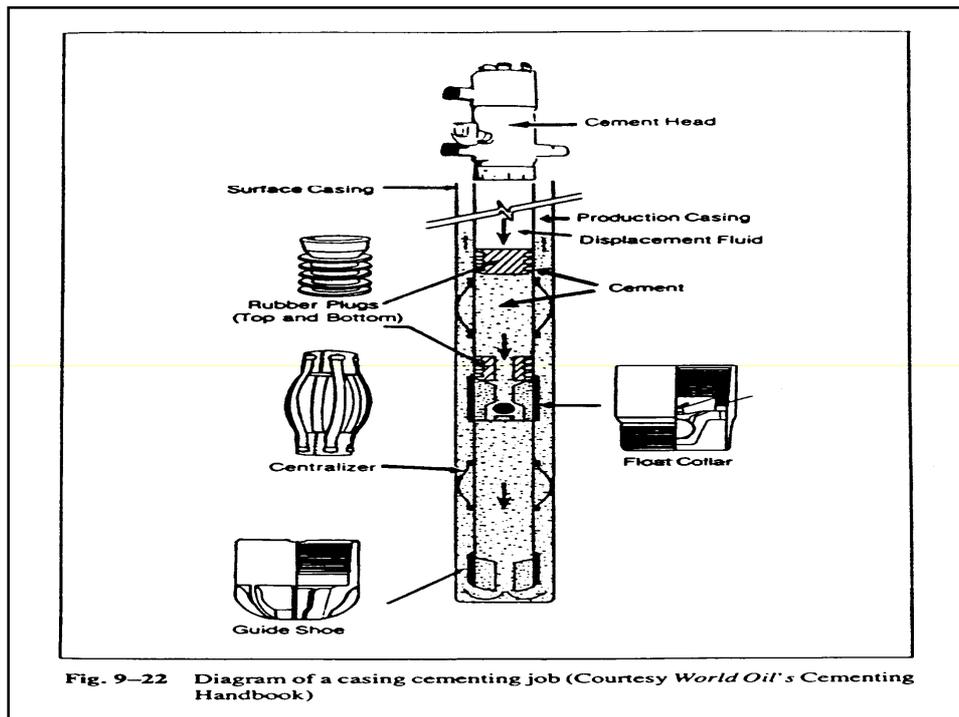
**Obturador externo de revestimento ou ECP (Eternal Casing Packer):** É um tipo de “packer” inflável permanente, instalado na coluna de revestimento para promover a obstrução do espaço anular em pontos críticos. Um de seus principais usos é para proteger zonas fracas, sensíveis ou de interesse da atuação da pressão hidrostática do cimento, sendo usualmente posicionado logo acima de tais zonas. Usa-se também logo abaixo do colar de estágio

### **Colchões de lavagem e Espaçadores**

São bombeados à frente da pasta visando evitar contaminação desta pelo fluido de perfuração e vice-versa e auxiliar na remoção do reboco das paredes do poço possibilitando melhor aderência de cimento.

**Colchões de lavagem:** Os colchões de lavagem ou lavadores são volumes de fluido (10 ou 40 bbl) pouco viscosos, compatíveis com a pasta e o fluido de perfuração, atuando por meio de lavagem química e ação mecânica na diluição e remoção do reboco. Contém materiais dispersantes (ou afinantes do fluido de perfuração), detergente e, quando necessário, aditivo para inibir inchamento de argila e redutores de filtrado. Quando usados com lama à base de óleo contém ainda surfactantes para inverter a molhabilidade do revestimento e formação.

**Espaçadores:** são geralmente viscosos e de densidade ajustável, com ação mecânica de remoção do reboco, sendo de preparação mais trabalhosa e uso típico em situações onde se deseja evitar canalização de gás pela aplicação de pressão hidrostática.



### Seqüência operacional de uma cimentação primária típica

Os preparativos para a cimentação começam antes mesmo da conclusão da descida do revestimento, com as atividades do ajuste da unidade, diluição de aditivos, etc. Uma cimentação primária típica tem a seguinte seqüência:

- a) montagem das linhas de cimentação;
- b) circulação para condicionamento do poço. Simultaneamente é feita a preparação do colchão de lavagem;
- c) Injeção do colchão de lavagem e/ou espaçador;
- d) teste de pressão das linhas de cimentação, usualmente feito com as linhas cheias de colchão de lavagem. As linhas são testadas até uma pressão superior à máxima pressão prevista durante a operação;
- e) lançamento do tampão de fundo (opcional);

### **Seqüência operacional de uma cimentação primária típica**

- f) mistura da 1ª pasta, mais leve (13,5 lb/gal), devendo cobrir o intervalo programado (Petrobrás normalmente 500 m do poço);
- g) Mistura da 2ª pasta, geralmente de 15,8 lb/gal (Petrobrás), de maior resistência à compressão, que deverá ficar próximo à sapata;
- h) Lançamento do tampão de topo: em unidades marítimas flutuantes, o tampão de topo fica preso à ferramenta de assentamento, sendo liberado por meio de um tampão menor, lançado dentro da coluna de assentamento;
- i) Deslocamento com fluidos de perfuração ou água, com controle da vazão, pressão e volume. O deslocamento pode ser feito pela própria unidade de cimentação, quando o volume é pequeno, ou pelas bombas de lama. Neste caso, o controle do volume é feito pelo acompanhamento do N° de ciclos da bomba.

### **Seqüência operacional de uma cimentação primária típica**

- j) Pressurização do revestimento para assentamento de ECP's e teste de estanqueidade do revestimento. Esta pressurização só é possível quando há indicação positiva do tampão de topo ter atingido o colar retentor;
- k) Em caso de cimentação com sondas marítimas flutuantes deve-se ainda desconectar a ferramenta de assentamento, acionar o elemento de vedação do anular na cabeça do poço e retirar a coluna de assentamento;
- l) Em caso de coluna de liner, a ferramenta de assentamento é desconectada antes da cimentação e apoiada sobre o suspensor do liner (liner hanger) para a cimentação. Após a sua conclusão aplica-se peso ou rotação para assentamento do obturador (liner packer), opcional, e retira-se a coluna de assentamento;
- m) Descida da coluna com broca para corte das partes internas dos acessórios e do cimento residual entre o colar e a sapata.

### **Seqüência operacional de uma cimentação primária típica**

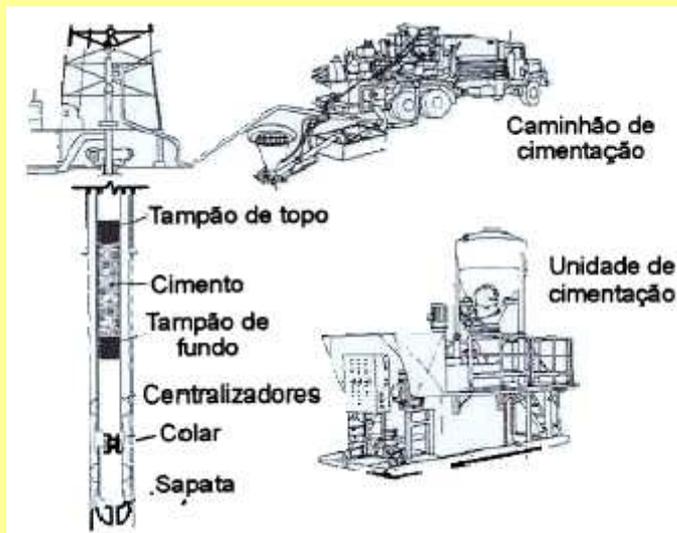
- g) mistura da 2ª pasta, de maior densidade e de maior resistência à compressão normalmente sobre 100m a 150 m da extremidade inferior da coluna. É mais cara, mas garante uma cimentação mais eficiente da extremidade inferior;
- h) lançamento do tampão de topo;
- i) deslocamento com fluido de perfuração;
- j) pressurização do revestimento para teste de vedação do tampão de topo.

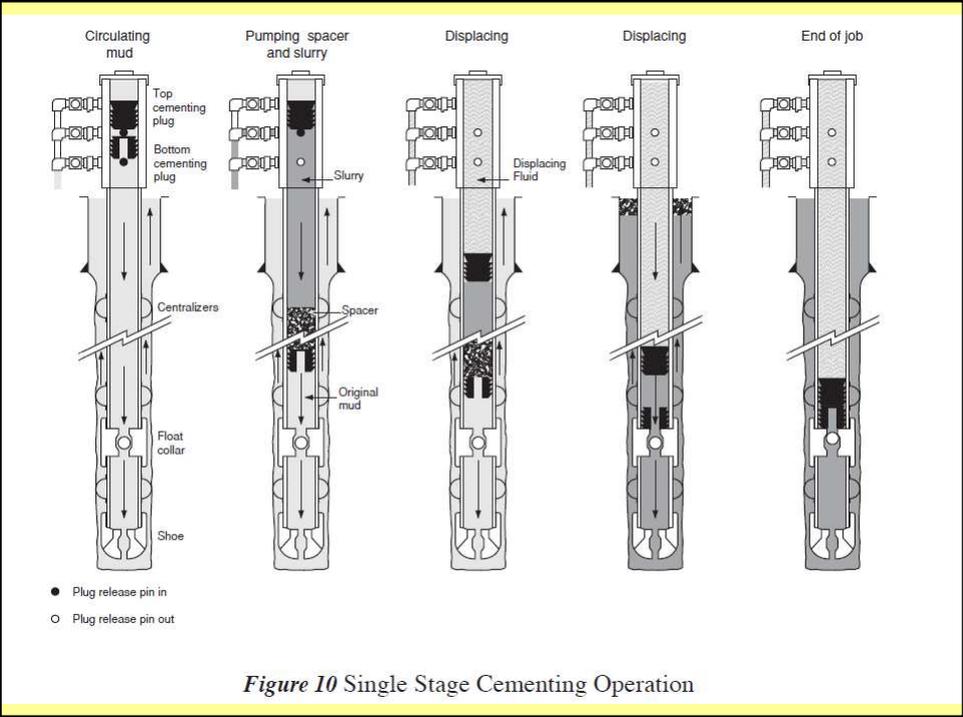
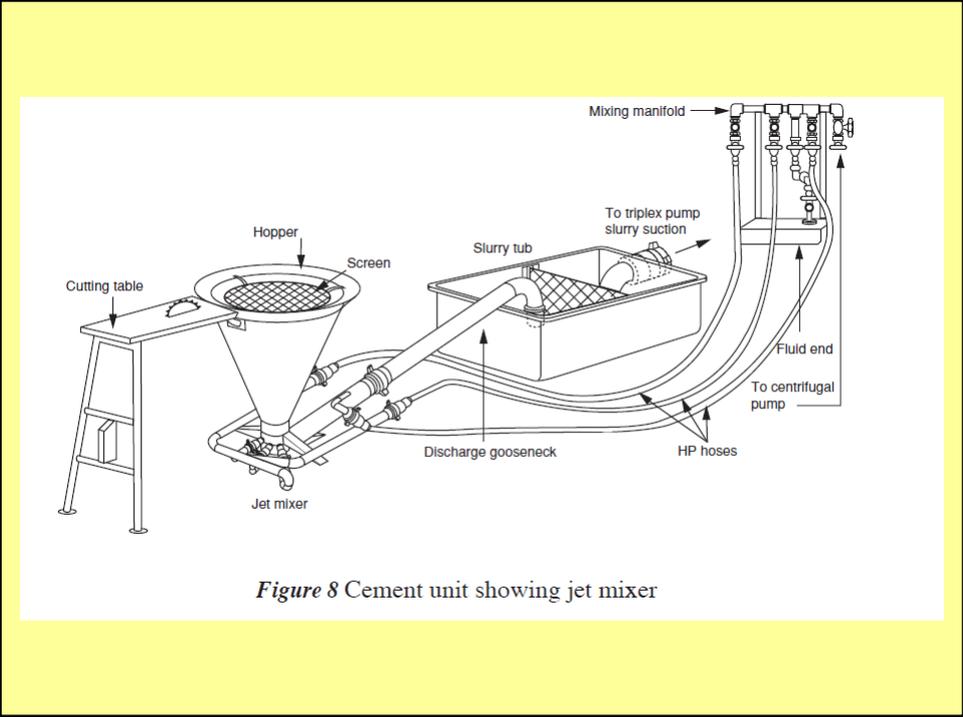
### **Seqüência operacional para realização de tampão de cimento**

- a) Planejamento;
- b) Condicionamento do poço
- c) Descida e posicionamento da coluna
- d) Montar e testar linhas para cimentação
- e) Teste de injetividade para avaliação da pressão no squeeze
- f) Injetar um volume de “fluido à frente” da pasta para lavagem e para separar a pasta do fluido do poço
- g) Misturar e injetar a pasta de cimento
- h) Injetar um volume de “fluido atrás” da pasta de modo a se obter a mesma altura do fluido à frente. A relação entre os volumes é calculada em função da capacidade do anular e da coluna
- i) Efetuar o deslocamento com fluido

### Seqüência operacional para realização de tampão de cimento

- j) Retirar algumas seções da coluna de trabalho
- k) Efetuar circulação reversa
- l) Retirar a coluna e descer coluna com broca
- m) No caso de compressão de cimento, retirar mais uma seção, fechar o ESP ou ancorar o obturador (caso esteja na coluna).
- n) Compressão de cimento feita de forma lenta e intermitente.

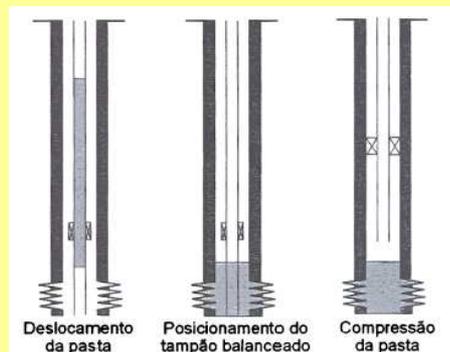




### Compressão de cimento ou squeeze

É uma operação muito freqüente, normalmente realizada com os seguintes objetivos:

- corrigir a cimentação primária;
- tamponar canhoneados em zona produtora. para reduzir ou eliminar a produção de fluidos indesejáveis;
- reparar vazamentos no revestimento.



### Valores e cálculos básicos

**Gradiente geotérmico:** é a taxa de variação da temperatura com a profundidade, expresso em °C/km ou °F/100 pés. Seu valor depende da litologia local, devido à variação da condutividade térmica para os diferentes tipos de formação.

**Temperatura de circulação no fundo do poço (BHCT – Bottom Hole Circulation Temperature):** valor menor do que a temperatura estática devido ao resfriamento causado pela circulação do fluido de perfuração, sendo calculada em função do gradiente geotérmico e do tempo de circulação

$$T_c = H \times G_g + T_s$$

H = profundidade, km ou 100 pés

$G_g$  = gradiente geotérmico °C/km ou °F/100 pés,

$T_s$  = Temperatura de superfície (~27 °C ou 80 °F)

### Valores e cálculos básicos

**Volume de pasta:** é calculado separadamente para cada pasta utilizada, pelo cálculo do volume estimado do trecho a ser coberto, pelo somatório dos produtos do comprimento de cada trecho de mesma geometria por sua capacidade volumétrica:

$$V_p = \sum H_i \cdot C_i$$

**Fator água / cimento:** é a relação entre o peso da água e o peso do cimento empregados no preparo da pasta. (Dar exemplos da Petrobrás).

**Água para hidratação dos aditivos:** Embora alguns aditivos como a bentonita absorvam grandes quantidade de água, a água absorvida pela maioria deles é pouca, podendo ser desprezada para cálculos expeditos. O volume dos aditivos líquidos deve estar incluído no fator água/cimento pois os mesmos são em geral simples prediluição de aditivos em pó. Os fabricantes dos aditivos indicam a quantidade de água que estes devem absorver.

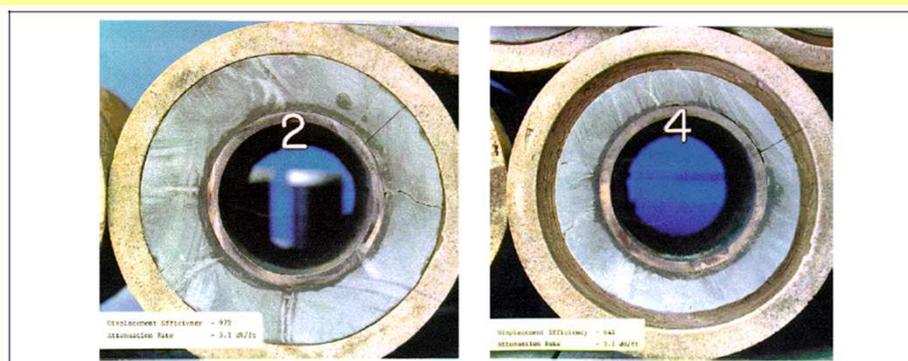
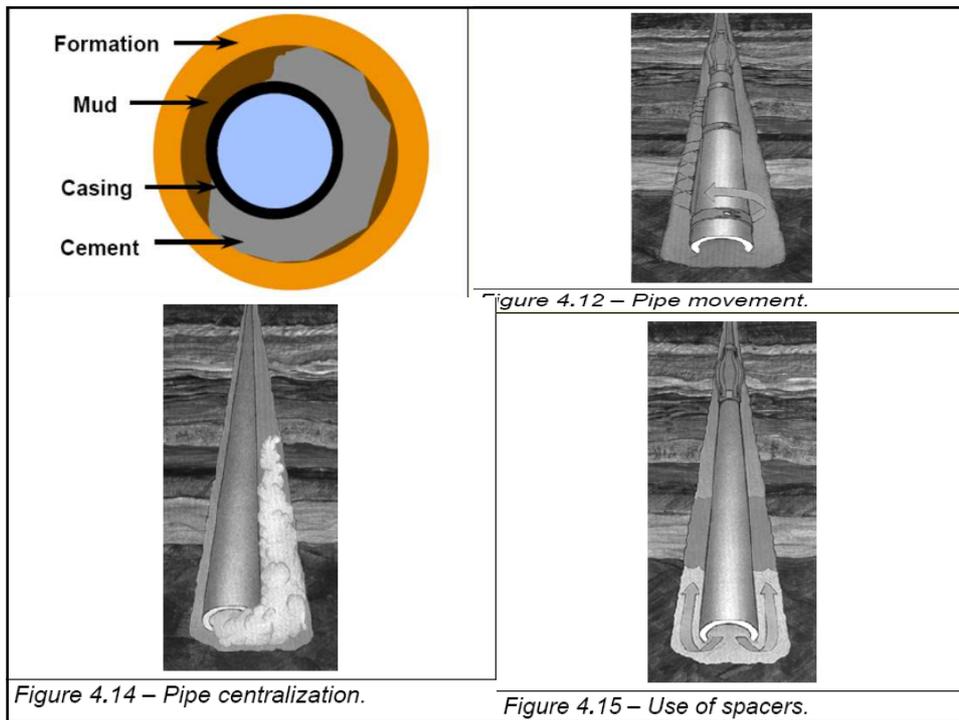


Figure 4.8 – Test samples showing cement displacement efficiencies: Sample 2 is 97% efficient and Sample 4 is only 64% efficient (notice the mud between the cement and the outer casing).



### Flow Properties

Mud removal in the annulus is a function of the flow patterns that are achieved. Three types of flow patterns are:

**Plug Flow** - mud removal is minimal due to low frictional or drag forces exerted on the mud layer. This flowrate can remove only about 60% of the mud from the pipe.

**Laminar Flow** - fluid velocity is higher creating more friction. This results in more force being exerted on the mud layer by frictional drag, resulting in improved mud removal. This flowrate can remove as much as 90% of the mud from the pipe.

**Turbulent Flow** - A maximum mud removal capability is reached due to high frictional or drag forces. Eddies and current in the fluid result in a mud removal percentage as high as 95%.

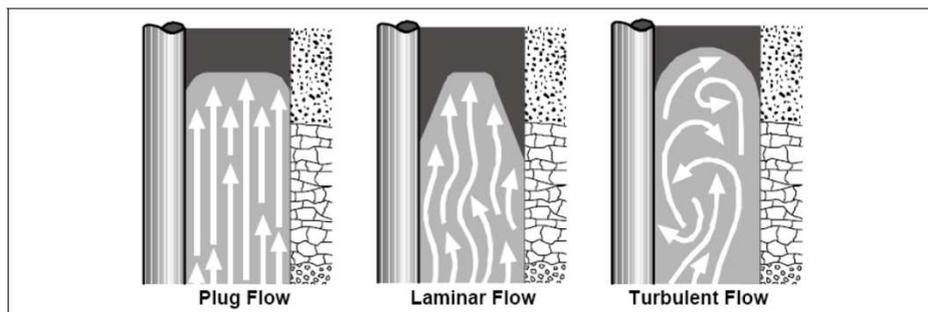
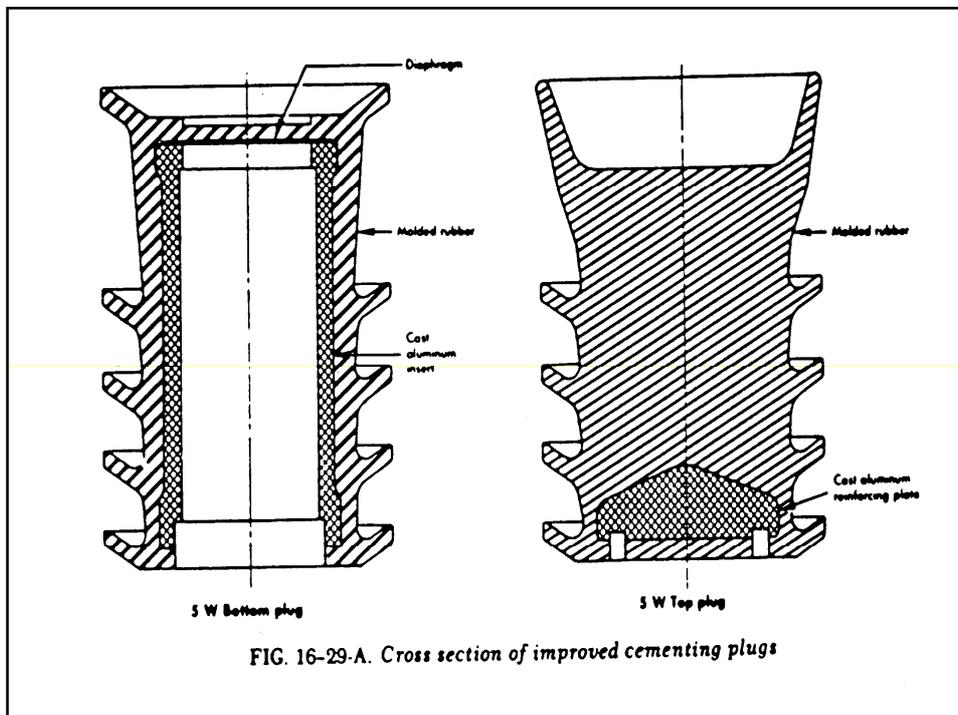


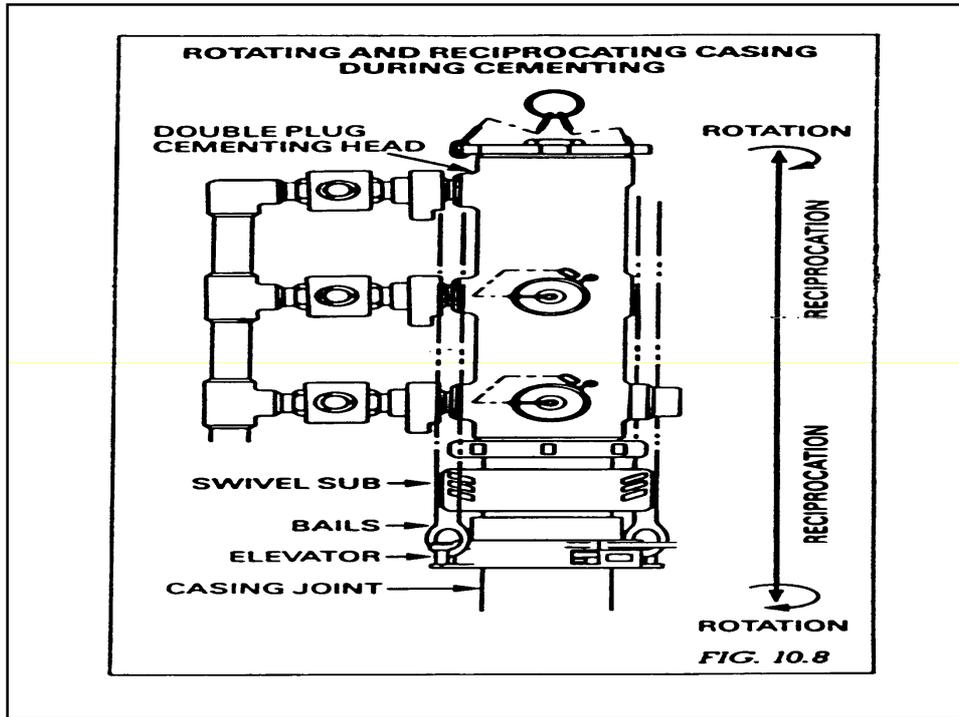
Figure 4.9 - Plug flow

## Wiper Plugs

Wiper plugs are equipped with rubber-cupped fins which wipe mud from the walls of the casing ahead of the cement and clean the walls of casing behind the slurry.

Examples of wiper plugs are shown in the next slide. The top plug also serves as a means of determining when the cement is in place.

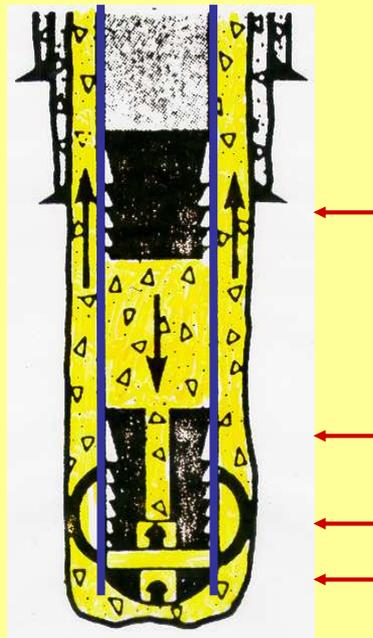




## Large-Hole Cementing

### Normal Displacement Method

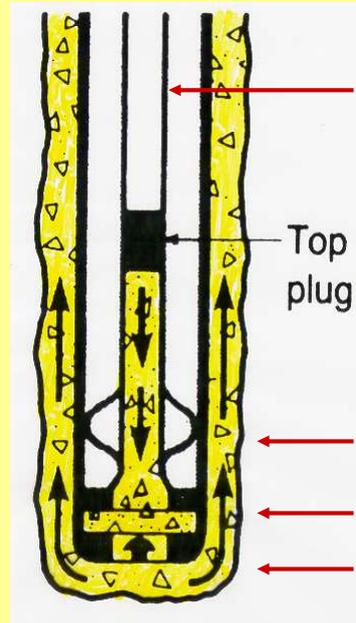
- Down the inside of the Csg.
- Use two wiper plugs
- Takes a long time . . .
- Large surface area exposed to the cmt.



## Large-Hole Cementing

### Inner String Cementing

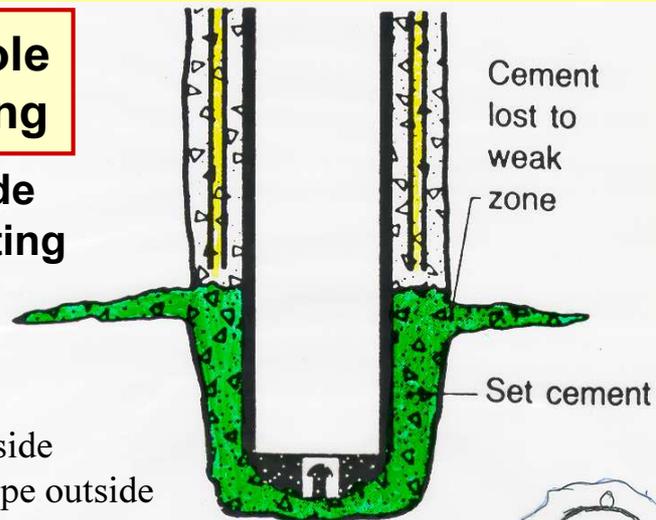
- Down the inside of the DP
- Use top wiper plug
- Stab-in adapter
- Much shorter displ. time



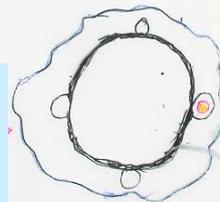
## Large-Hole Cementing

### Outside Cementing

1. Down the inside
  2. Small-dia. pipe outside
- Cmt and gradually remove the pipes



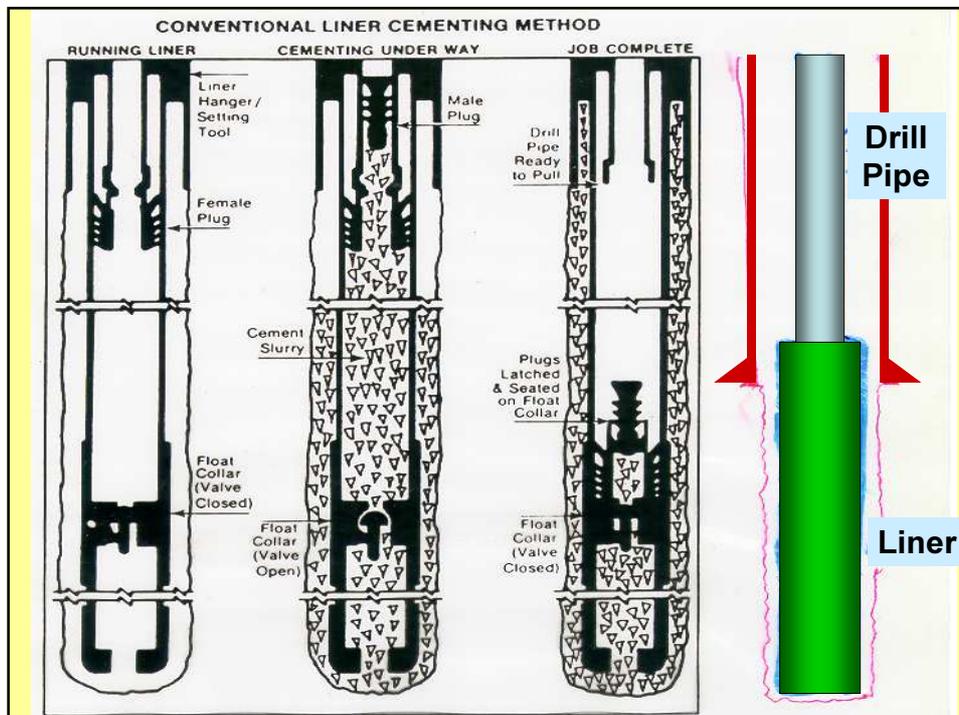
Alternative:  
Pipes attached  
(for large pipes)

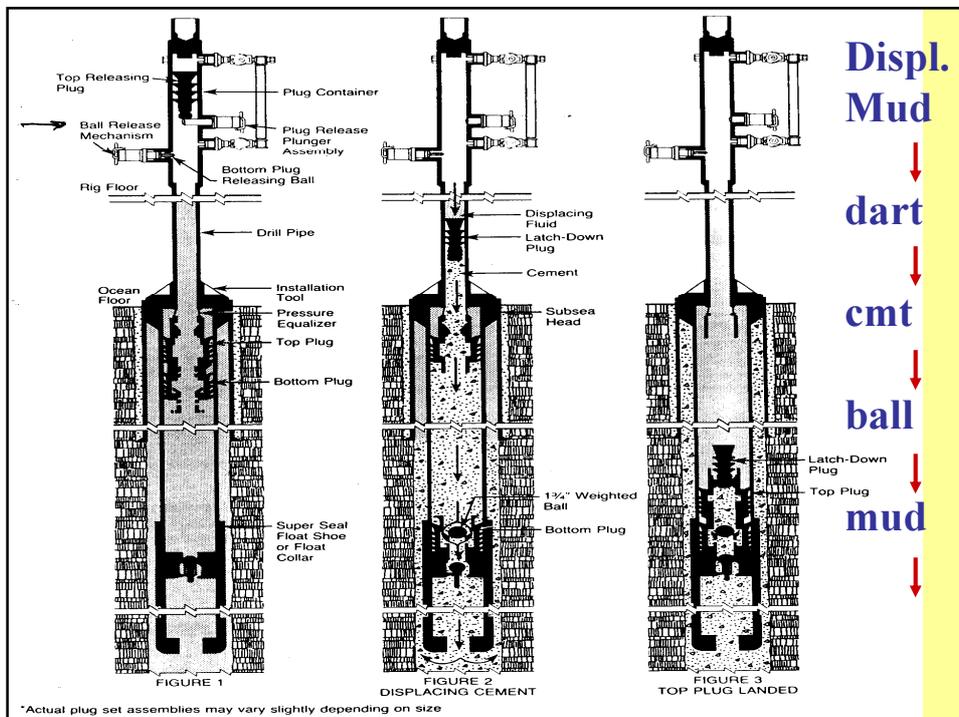
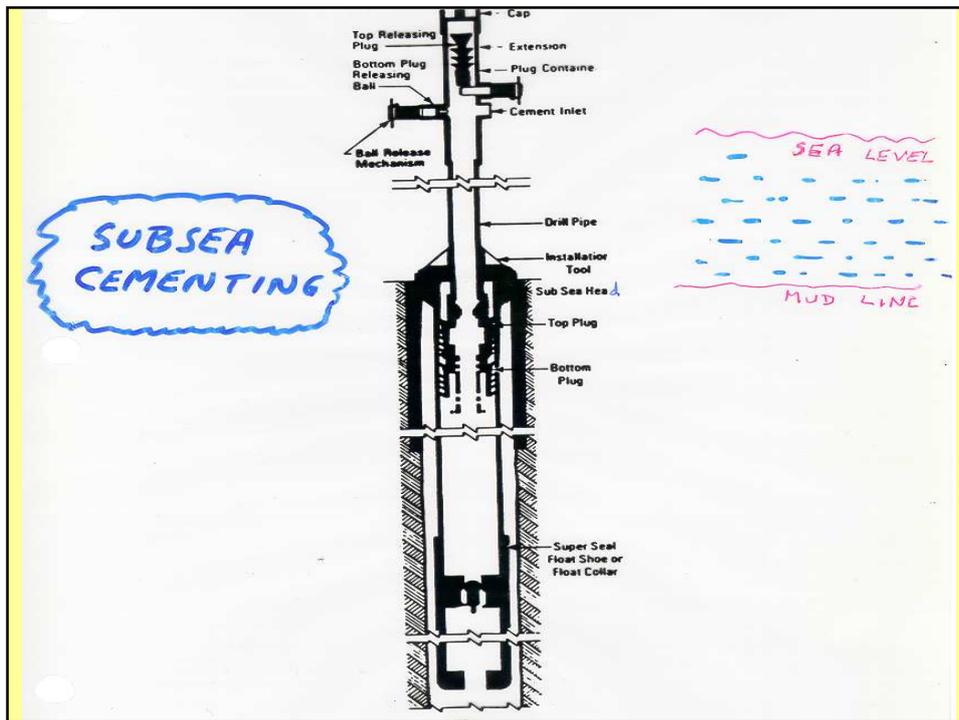


## Drilling Liners

**Liners** are commonly used to seal the openhole below a long intermediate casing string to:

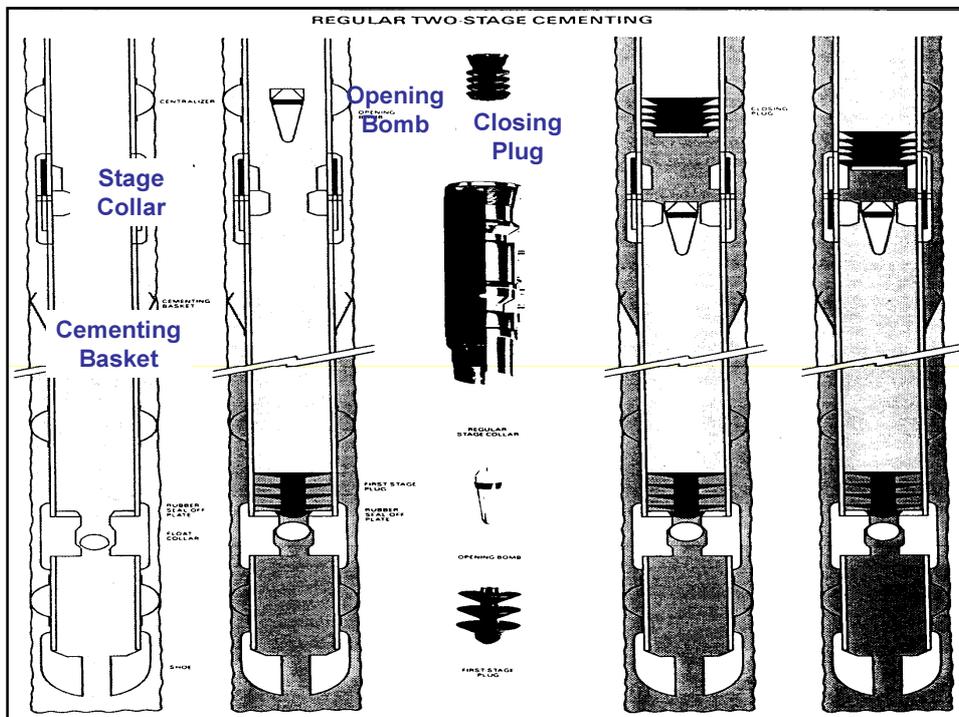
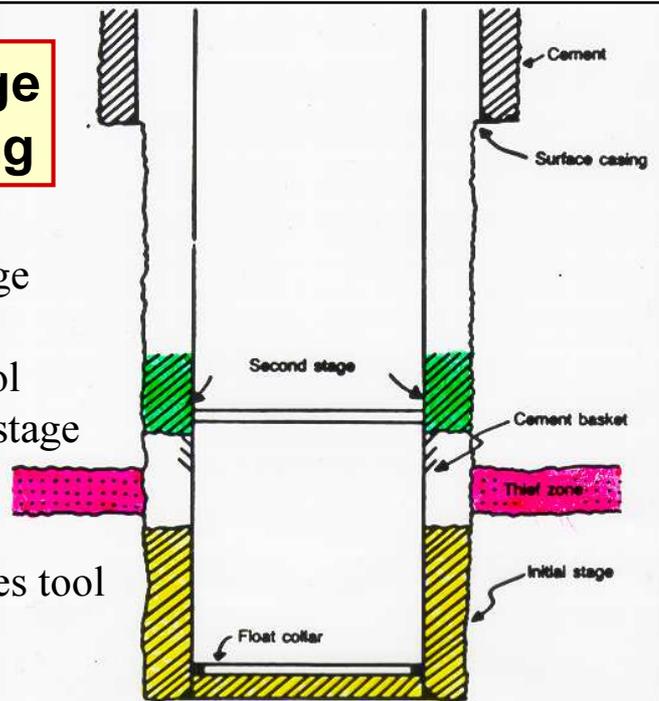
1. Case off the open hole to **enable deeper drilling**.
2. Control **water or gas** production
3. Hold back **unconsolidated or sloughing** formations.
4. Case off zones of **lost circulation** and/or zones of **high pressure** encountered during drilling operations.

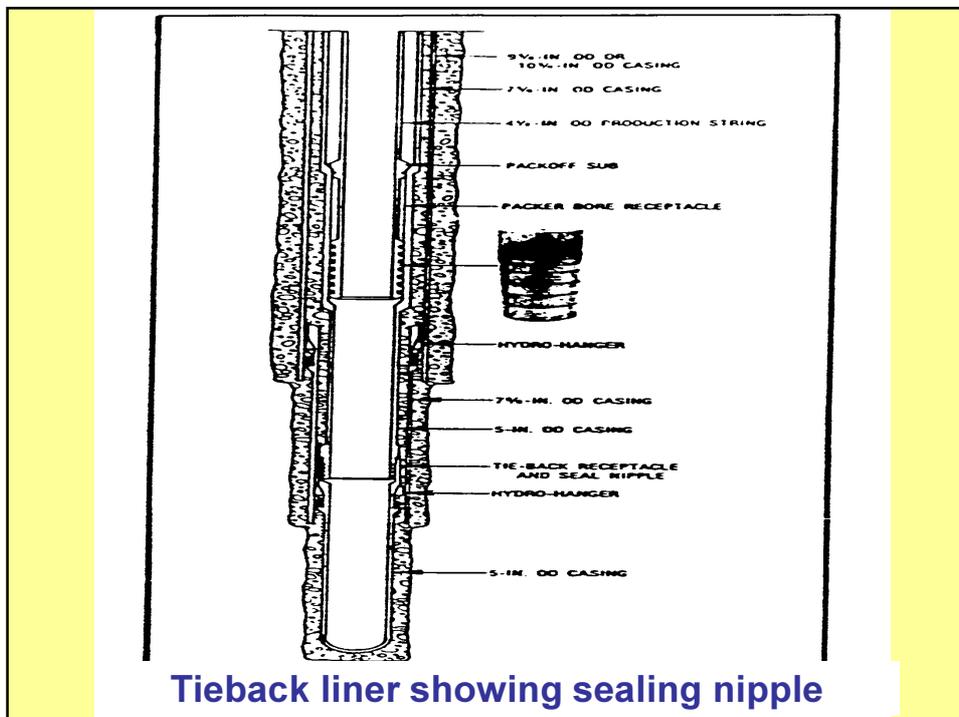
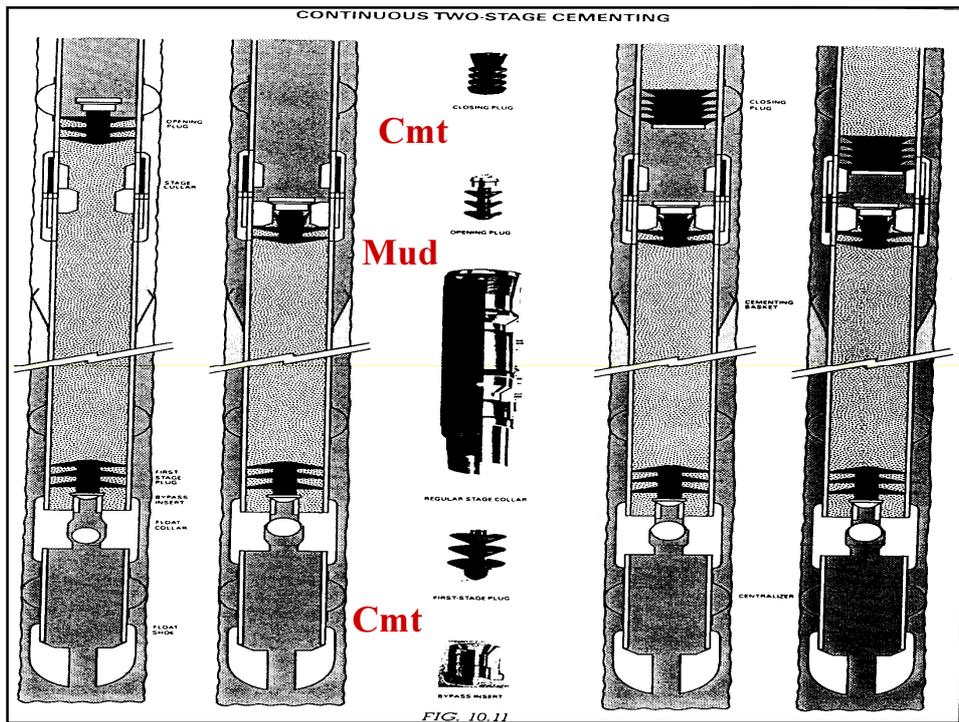


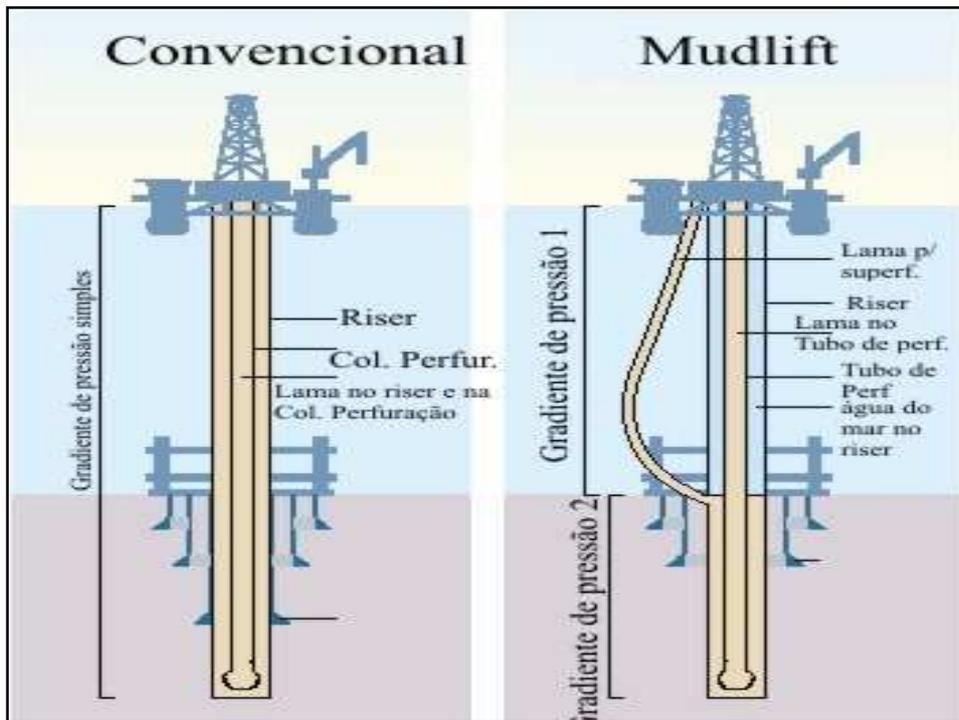


# Multi-Stage Cementing

- Pump first stage
- Displace cmt.
- Open stage tool
- Pump second stage
- Displace cmt.
- Last plug closes tool







## Unit 4 Drilling Operations

### CEMENTING

After the casing is run, the next step is to cement the casing in place. At the start of the cement job, the cementing crew mixes the dry cement with water. The cement is gradually added from the bulk tanks, or via a jet-mixing hopper, in which a jet of water thoroughly mixes with the cement to make a slurry. The cementer may add various chemicals during mixing. The cementing unit

Top Plug

Displacing Fluid

Cement Slurry

Bottom Plug

Dry Cement

Cement Slurry

Water

INTRODUCTION TO OIL WELL DRILLING

TOPICS

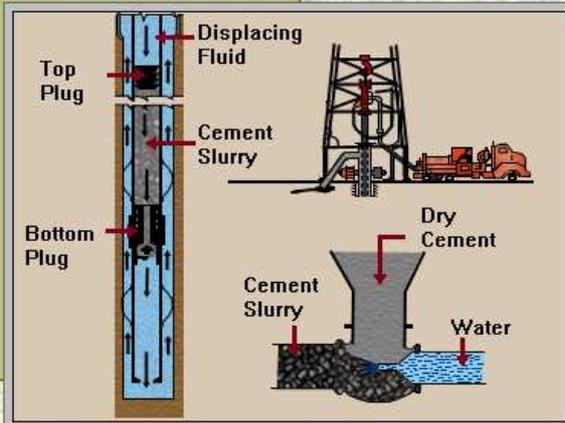
# Unit 4 Drilling Operations

U Vee

## CEMENTING

mixing. The cementing unit pumps the cement slurry through surface lines to an injection head (also called a plug container) mounted on the topmost joint of casing. Rubber plugs separate the cement from the drilling mud or fluid used to displace the cement.

Just before the cement slurry arrives at the injection head, a rubber plug called the bottom



INTRODUCTION TO OIL WELL DRILLING



TOPICS

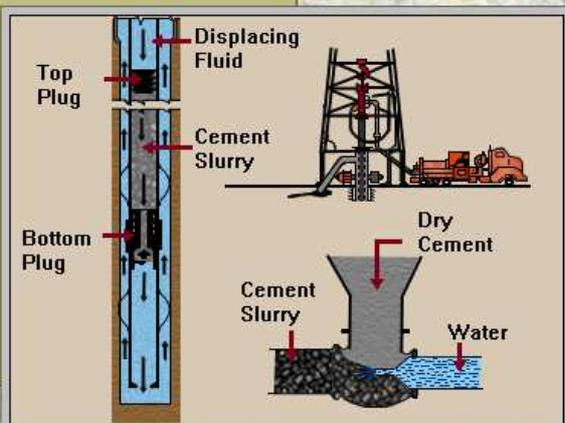


# Unit 4 Drilling Operations

U Vee

## CEMENTING

Just before the cement slurry arrives at the injection head, a rubber plug called the bottom plug is released, to precede the slurry into the casing. The bottom plug stops or 'seats' in the float collar. Continued pressure from pumping opens a passageway through the bottom plug and holds the float valve open. Thus, the cement slurry passes through the bottom plug and float collar and continues down the



INTRODUCTION TO OIL WELL DRILLING



TOPICS



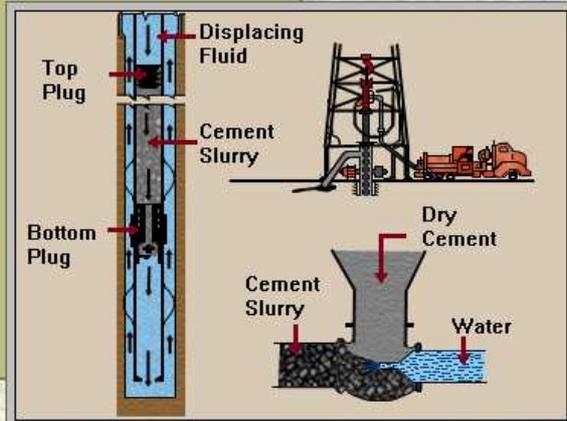
## Unit 4 Drilling Operations

U Vee

### CEMENTING

collar and continues down the casing. The slurry then flows out through the opening in the guide shoe and goes up the annular space between casing and hole wall. Pumping continues till the cement slurry fills the annular space.

A top plug, similar to the bottom plug except that it is solid, is released after all the required cement slurry is pumped. The top plug follows



INTRODUCTION TO  
OIL WELL DRILLING



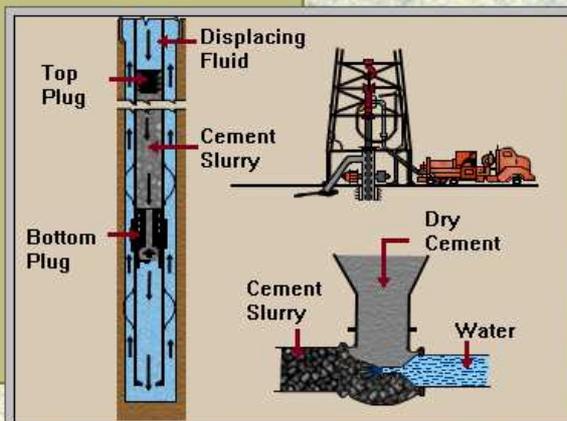
## Unit 4 Drilling Operations

U Vee

### CEMENTING

pumped. The top plug follows the remaining slurry down the casing as displacement fluid (usually salt water or drilling mud) is pumped in behind the top plug. As displacement continues, most of the cement slurry flows out of the casing and into the annular space.

The top plug eventually seats on, or 'bumps' the bottom plug in the float collar. When the plug bumps, the surface



INTRODUCTION TO  
OIL WELL DRILLING

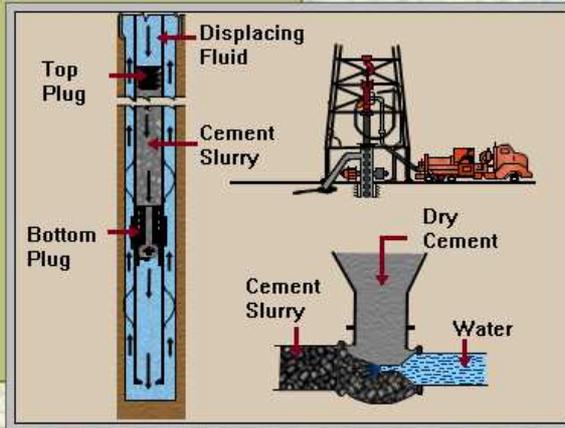


## Unit 4 Drilling Operations

U Vee

### CEMENTING

plug bumps, the surface pressure rises, and the cementing pump operator shuts down the pump. If the cement job is done correctly, the casing is full of displacement fluid, while most of the cement is in the annular space between casing and hole. Within the casing, cement is now present only below the float collar. Before drilling can resume, the rig crew must wait for the



INTRODUCTION TO  
OIL WELL DRILLING

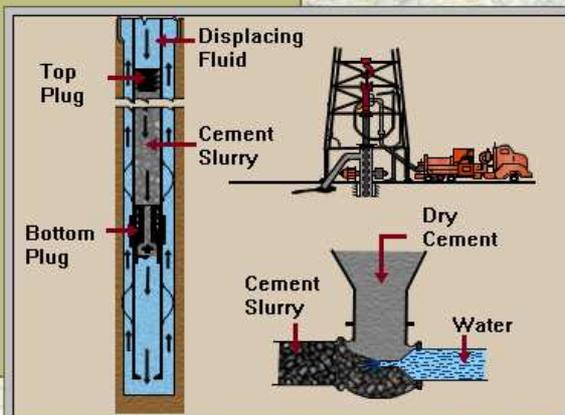


## Unit 4 Drilling Operations

U Vee

### CEMENTING

the rig crew must wait for the cement to harden. This waiting period is known as **waiting on cement** or WOC and may range from one hour to more than 24 hours. During and after the WOC time, the rig crew prepares for the next phase of drilling by ripling up (assembling) the BOP stack. After thoroughly pressure-testing the BOP's, choke manifold, and lines, drilling is resumed.



INTRODUCTION TO  
OIL WELL DRILLING

