ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Fax: (021) 240-8249/532-2143
Endereço Telegráfico:
NORMATÉCNICA

Copyright © 1998,
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

JAN 1998 | NBR NM 76

Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)

Origem: NM 76:1996
CB 18 - Comitê Brasileiro de Cimento Concreto e Agregados
NBR NM 76 - Portland cement - Determination of fineness loy the air permeability method (Blaine method)
Descriptors: Portland cement. Specific area. Fineness
Esta Norma cancela e substitui a NBR 7224:1996
Válida a partir de 02.03.1998

Palavras-chave: Cimento Portland. Superfície específica. Finura

12 páginas

Licença de uso exclusiva para Petrobrás S.A.

Sumário

1 Objetivo
2 Referências normativas
3 Fundamento do método
4 Laboratório e aparelhagem
5 Materiais
6 Camada compactada de cimento
7 Ensaio de permeabilidade ao ar
8 Calibração do aparelho
9 Cimentos especiais
10 Simplificação de cálculos
11 Expressão dos resultados

Índice

1 Objeto
2 Referencias normativas
3 Fundamento del método
4 Laboratorio e instrumental
5 Materiales
6 Capa compactada de cemento
7 Ensayo de permeabilidad al aire
8 Calibración del aparato
9 Cementos especiales
10 Simplificación de los cálculos
11 Expresión de resultados

Prefácio nacional

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

A ABNT adotou, por solicitação do seu ABNT/CB-18 - Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, a norma MERCOSUL NM 76:1996.

Esta Norma cancela e substitui a NBR 7224:1996.

A correspondência entre as normas listadas na seção 2 “Referências normativas” e as Normas Brasileiras é a seguinte:

NM 23:1994 - NBR NM 23:1998 - Cimento portland - Determinação de massa específica

Prefácio

O CMN - Comitê MERCOSUL de Normalização - tem por objetivo promover e adotar as ações para a harmonização e a elaboração das Normas no âmbito do Mercado Comum do Sul - MERCOSUL, e é integrado pelos Organismos Nacionais de Normalização dos países membros.

O CMN desenvolve sua atividade de normalização por meio dos CSM - Comitês Setoriais MERCOSUL - criados para campos de ação claramente definidos.

Os projetos de norma MERCOSUL, elaborados no âmbito dos CSM, circulam para votação Nacional por intermédio dos Organismos Nacionais de Normalização dos países membros.

A homologação como Norma MERCOSUL por parte do Comitê MERCOSUL de Normalização requer a aprovação por consenso de seus membros.

Esta Norma foi elaborada pelo CSM 05 - Comitê Setorial de Cimento e Concreto.

O texto-base do Projeto de Norma MERCOSUL 05:01-0422 foi elaborado pela Argentina e teve origem na Norma:

ISO/DIS 10749:1991 Cement - Test methods - Determination of fineness

As principais modificações realizadas nesta Norma com relação ao documento de origem são:

- a determinação da massa específica do cimento em ensaio não foi definida nesta Norma, sendo referenciada a NM 23:94;

- a introdução da nota 2, do item 4.2.1.4, permitindo o em-prego de equipamentos automáticos;

- a exclusão do método de peneiramento e as correspondentes referências normativas.

1 Objetivo

A superfície específica (superfície referida à massa) é medida pela comparação com uma amostra de cimento de referência através do método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). A determinação da superfície específica serve principalmente para checar a uniformidade do processo de moagem de uma fábrica. Este método somente permite uma determinação limitada das propriedades do cimento em uso. O método de permeabilidade ao ar pode não fornecer resultados significativos para cimentos contendo materiais ultrafinos.

2 Referências normativas

As seguintes normas contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem requisitos desta Norma MERCOSUL. As edições indicadas estavam em vigência no momento desta publicação. Como toda norma está

Prefacio

El CMN - Comité MERCOSUR de Normalización - tiene por objeto promover y adoptar las acciones para la armonización y la elaboración de las Normas en el ámbito del Mercado Común del Sur - MERCOSUR, y está integrado por los Organismos Nacionales de Normalización de los países miembros.

El CMN desarrolla su actividad de normalización por medio de los CSM - Comités Sectoriales MERCOSUR - creados para campos de acción claramente definidos.

Los proyectos de norma MERCOSUR, elaborados en el ámbito de los CSM, circulan para votación Nacional por intermedio de los Organismos Nacionales de Normalización de los países miembros.

La homologación como Norma MERCOSUR por parte del Comité MERCOSUR de Normalización requiere la aprobación por consenso de sus miembros.

Esta Norma fue elaborada por el CSM 05 - Comité Sectorial de Cemento y Hormigón.

El texto-base del Proyecto de Norma MERCOSUR 05:01-0422 fue elaborado por Argentina y tuvo origen en la Norma:

ISO/DIS 10749:1991 Cement - Test methods - Determination of fineness

Las principales modificaciones introducidas en esta Norma, en relación a su documento de origen son:

- la determinación de la densidad del cemento en ensayo no fue definida en esta Norma, ya que figura en la NM 23:94, que se referencia;

- se incorporó la nota 2, del párrafo 4.2.1.4, que permite el empleo de aparatos automáticos;

- no se incorporó el método de tamizado y las correspondientes referencias normativas.

1 Objeto

La superficie específica (superficie referida a la masa) se mide por la comparación con una muestra de cemento de referencia mediante el método de permeabilidad al aire (método de Blaine). La determinación de la superficie específica sirve principalmente para verificar la uniformidad del proceso de molienda de una fábrica. Este método solamente permite una determinación limitada de las propiedades del cemento en uso. El método de permeabilidad al aire puede no suministrar resultados significativos para cementos que contienen materiales ultrafinos.

2 Referencias normativas

Las normas siguientes contienen disposiciones que, al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma MERCOSUR. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda

Licença de Uso Exclusiva para Petrobrás S.A.
Licença de Uso Exclusiva para Petrobrás S.A.

sujeita à revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta Norma que analisem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. Os órgãos membros do MERCOSUL possuem informações sobre as normas em vigência no momento.

NM 23:1994 - Cimento portland - Determinação de massa específica

ISO 383:1976 - Laboratory glassware - Interchangeable conical ground joints

ISO 4803:1978 - Laboratory glassware - Borosilicate glass tubing

3 Fundamento do método

A finura do cimento é determinada como superfície específica, observando-se o tempo requerido para uma determinada quantidade de ar fluir através de uma camada de cimento compactada, de dimensões e porosidade especificadas.

Sob condições normalizadas, a superfície especificada do cimento é proporcional a t, onde t é o tempo para determinada quantidade de ar atravessar a camada compactada de cimento.

O número e a faixa de tamanho dos poros individuais em uma camada especificada são determinados pela distribuição dos tamanhos das partículas de cimento, que também determina o tempo para um dado fluxo de ar.

O método é mais comparativo que absoluto e, portanto, requer uma amostra de superfície específica conhecida para calibração do aparelho.

4 Laboratório e aparelhagem

4.1 Laboratório

O laboratório para o ensaio de permeabilidade ao ar deve ser mantido à temperatura de 20ºC ± 2ºC e umidade relativa não superior a 65%. Todos os materiais para ensaio e calibração devem estar à mesma temperatura do laboratório quando usados e devem ser protegidos da absorção da umidade ambiente durante a estocagem.

NOTA - Todas as temperaturas estabelecidas para a realização deste ensaio podem ser mantidas no intervalo de (23 ± 2)ºC, (25 ± 2)ºC ou (27 ± 2)ºC em países ou regiões de clima quente, porém devem ser registradas no relatório do ensaio.

4.2 Aparelhagem

4.2.1 Aparelho de permeabilidade Blaine (ver figura 1)

4.2.1.1 Célula de permeabilidade

A célula compreende um cilindro reto rígido, de dimensões e tolerâncias mostradas na figura 1a). Pode ser de aço inoxidável ou outro material resistente à abrasão e não

norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquéllos que realicen acuerdos en base a esta Norma que analicen la conveniencia de emplear las ediciones más recientes de las normas citadas a continuación. Los organismos miembros del MERCOSUR poseen informaciones sobre las normas en vigencia en el momento.

NM 23:1994 - Cemento pórtland - Determinación de la densidad absoluta

ISO 383:1976 - Laboratory glassware - Interchangeable conical ground joints.

ISO 4803:1978 - Laboratory glassware - Borosilicate glass tubing.

3 Fundamento del método

La finura del cemento se determina como superficie específica observando el tiempo requerido para que una determinada cantidad de aire fluya a través de una capa de cemento compactada de dimensiones y porosidad especificadas.

Bajo condiciones normalizadas, la superficie específica del cemento es proporcional a t, donde t es el tiempo para que determinada cantidad de aire atraviese una capa compactada de cemento.

El número y el intervalo de tamaños de poros individuales en una capa específicada están determinados por la distribución de los tamaños de las partículas de cemento que también determina el tiempo para un flujo dado de aire.

El método es más comparativo que absoluto y, por lo tanto, se requiere una muestra de superficie específica conocida para la calibración del aparato.

4 Laboratorio e instrumental

4.1 Laboratorio

El laboratorio en el cual se efectuará el ensayo de permeabilidad al aire deberá ser mantenido a la temperatura de 20°C ± 2°C y a humedad relativa no superior a 65%. Todos los materiales para ensayo y calibración deberán estar a la temperatura de laboratorio cuando vayan a ser usados y protegidos de la absorción de la humedad ambiente durante el almacenamiento.

NOTA - Todas las temperaturas establecidas para la ejecución de este ensayo pueden ser mantenidas en el intervalo de (23 ± 2)ºC, (25 ± 2)ºC o (27 ± 2)ºC en países o regiones de clima caliente, pero se las debe registrar en el informe del ensayo.

4.2 Instrumental

4.2.1 Aparato de permeabilidad Blaine (ver figura 1)

4.2.1.1 Célula de permeabilidad

La célula es un cilindro recto rígido, de dimensiones y tolerancias mostradas en la figura 1a). Puede ser de acero inoxidable u otro material resistente a la abrasión y no

Licença de uso exclusiva para Petrobras S.A.

corrosível. Suas faces superior e inferior devem ser planas e normais ao eixo do cilindro, assim como a superfície da borda do fundo da célula.

A superfície externa do cilindro deve ser afunilada para que este seja acoplado hermeticamente ao tubo manométrico (ver ISO 383:1976, Joint 19/34).

4.2.1.2 Disco perfurado

O disco deve ser de metal não corrosível, perfurado com 30 a 40 furos de 1 mm de diâmetro, e apresentar as dimensões e tolerâncias mostradas na figura 1b). Quando acoplado à célula, sua superfície plana deve ser normal ao eixo da célula.

4.2.1.3 Êmbolo

O êmbolo é constituído de um pistão, capaz de deslizar livremente na célula. Entre a célula e o êmbolo deve haver uma folga de 1 mm (figura 1). Deve ser mantida uma distância de 15 mm ± 1 mm entre a face superior do disco perfurado e a face inferior do pistão, quando o topo do êmbolo estiver apoiado na face superior da célula.

O pistão deve ser provido de um chanfro, conectado a um anel em volta da cabeça, para permitir a saída do ar.

O êmbolo deve ser de aço inoxidável ou outro material resistente à abrasão e não corrosível, com as dimensões e tolerâncias mostradas na figura 1c). Um determinado êmbolo somente pode ser utilizado com a célula correspondente.

4.2.1.4 Manômetro

O manômetro compreende um tubo de vidro borossilicato em forma de U (ver ISO 4803), montado verticalmente conforme mostra a figura 1d). Deve ter as dimensões e tolerâncias mostradas na figura 1d).

Um braço do manômetro deve ser provido de um soquete cônico (ver ISO 383:1976, Joint 19/34) para formar uma conexão hermética com a superfície cônica da célula. O mesmo braço deve ter quatro linhas marcadas e uma junção em T, cujas posições devem ter as dimensões e tolerâncias mostradas na figura 1d). A saída da junção conduz a um registro além do qual está unido um dispositivo de aspiração, tal como um tubo de borracha e um bulbo, mostrados na figura 1d).

Encher o tubo do manômetro com o líquido para umedecer a superfície interna. Esvaziar o tubo e enchê-lo novamente, de maneira que o líquido manométrico fique nivelado na linha mais baixa [posição 11 na figura 1d)]. Esse líquido deve ser trocado (ou recuperado) a qualquer sinal de contaminação ou antes de uma nova calibração.

NOTA - Outras formas de célula e êmbolo e outros arranjos da junta entre célula e manômetro podem ser usados de modo que apresentem o mesmo resultado em relação ao equipamento especificado.

corroíble. Sus caras superior y inferior deben ser planas y normales al eje del cilindro, así como a la superficie del borde del fondo de la célula.

La superficie externa del cilindro debe estrecharse para poder acoplarse herméticamente al tubo manométrico (ver ISO 383:1976 - Joint 19/34).

4.2.1.2 Disco perforado

El disco debe ser de metal no corroíble, perforado con 30 a 40 agujeros de 1 mm de diámetro y presentar las dimensiones y tolerancias mostradas en la figura 1b). Cuando se acopla en la célula, su superficie plana deberá ser normal al eje de la célula.

4.2.1.3 Émbolo

El émbolo se constituye de un pistón, capaz de deslizar libremente en la célula. Entre la célula y el émbolo se admitirá un juego de 0,1 mm (figura 1). Se debe mantener una distancia de 15 mm ± 1 mm entre la cara superior del disco perforado y la cara inferior del pistón cuando el tope del émbolo se apoya en la cara superior de la célula.

El pistón debe estar provisto de un chaflán, conectado a un anillo invertido, para permitir la salida del aire.

El émbolo debe ser de acero inoxidable u otro material resistente a la abrasión y no corroíble; con las dimensiones y tolerancias mostradas en la figura 1c). Un émbolo determinado solamente se puede utilizar con su célula correspondiente.

4.2.1.4 Manómetro

El manómetro comprende un tubo de vidrio al borosilicato en U (ver ISO 4803) montado verticalmente conforme lo muestra la figura 1d). Debe tener las dimensiones y tolerancias mostradas en la figura 1d).

Un brazo del manómetro debe estar provisto de una parte cónica (ver ISO 383:1976 - Joint 19/34) para formar una conexión hermética con la superficie cónica de la célula. Este brazo deberá tener cuatro líneas marcadas y una junta en T cuyas posiciones deberán tener las dimensiones y tolerancias mostradas en figura 1d). La salida de la junta conduce a un registro más allá del cual está unido a un dispositivo de aspiración tal como el tubo de goma y bulbo mostrados en la figura 1d).

Se llena el tubo del manómetro con el líquido para humedecer la superficie interna. Se vacía el tubo y se vuelve a llenar de manera que el líquido manométrico esté nivelado en la línea más baja [posición 11 en la figura 1d)]. Este líquido deberá ser cambiado (o recuperado) ante cualquier señal de contaminación o antes de una nueva calibración.

NOTA - Otras formas de célula y émbolo y otros arreglos de la junta entre célula y manómetro se puedem usar de modo que presente el mismo resultado en relación al equipamiento especificado.

Licença de uso exclusiva da Petrobrás S.A.

4.2.1.5 Líquido manométrico

O manômetro deve ser preenchido até o nível da linha mais baixa [posição 11 na figura 1d)] com líquido não volátil, não higroscópico, de baixa viscosidade e densidade, como ftalato de dibutila ou óleo mineral leve.

NOTA - Podem ser empregados aparelhos automáticos para esta determinação, sempre que for possível demonstrar que proporcionam os mesmos resultados de ensaio e que estão baseados no mesmo princípio que o aparelho e o procedimento especificados.

4.2.2 Cronômetro

Com dispositivo de acionamento de início, com leitura de 0,2 s ou melhor, e precisão (ou exatidão) de 1% ou mais para intervalos de tempo de até 300 s.

4.2.3 Balanças

Capazes de pesar 3 g com resolução de 1 mg (para cimento) e 50 g a 110 g com resolução de 10 mg (para mercúrio).

5 Materiais

5.1 Mercúrio

De qualidade reagente para análises ou melhor.

5.2 Amostra de referência[1)]

De superfície específica conhecida.

5.3 Óleo mineral leve

Para impedir a fixação do mercúrio na superfície interior da célula.

5.4 Discos circulares de papel filtro

Adaptados à dimensão da célula. O papel filtro deve possuir porosidade média (diâmetro médio dos poros de 7 mm).

5.5 Graxa leve

Para permitir uma junta estanque entre célula e manômetro e no registro.

6 Camada compactada de cimento

6.1 Princípio

A camada compactada de cimento compreende um arranjo de partículas de cimento com um volume de ar especificado incluído entre as partículas. Esse volume de ar é definido como uma fração do volume total da camada e é chamado de porosidade, ε . Em outras palavras vale dizer que a fração ocupada pelas partículas de cimento é $(1 - \varepsilon)$. Se V é o volume total da camada, o volume absoluto de cimento é $V(1 - \varepsilon)$, em centímetros cúbicos, e a massa de cimento, m, é $\rho V(1 - \varepsilon)$, em gramas, onde ρ é a massa específica das partículas de cimento, em gramas por centímetro cúbico.

[1)] Amostra de referência disponível: National Institute of Standards and Technology (NIST), Bldg 202, Room 204 - Gaithersburg MD 20899 USA.

4.2.1.5 Líquido manométrico

El manómetro deberá ser llenado hasta el nivel de la línea más baja [posición 11 en la figura 1 d)] con líquido no volátil, no higroscópico, de baja viscosidad y densidad, como ftalato de dibutilo o aceite mineral liviano.

NOTA - Puede utilizarse para esta determinación equipos automáticos, siempre que pueda demostrarse que proporcionan los mismos resultados de ensayo y estén basados en el mismo principio que el aparato y procedimiento especificados.

4.2.2 Cronómetro

Con dispositivo de accionamiento de inicio, con lectura de 0,2 s ó mejor, y precisión (o exactitud) de 1% ó más para intervalos de tiempo hasta 300 s.

4.2.3 Balanzas

Capaces de pesar 3 g con resolución de 1 mg (para cemento) y 50 g a 110 g con resolución de 10 mg (para mercurio).

5 Materiales

5.1 Mercurio

De calidad reactivo para análisis, ó mejor.

5.2 Muestra de referencia[1)]

De superficie específica conocida.

5.3 Aceite mineral liviano

Para impedir la fijación del mercurio en la superficie interior de la célula.

5.4 Discos circulares de papel de filtro

Adaptados a la dimensión de la célula. El papel de filtro debe poseer porosidad media (diámetro medio de los poros de 7 mm).

5.5 Grasa liviana

Para permitir una junta estanca entre célula y manómetro, y en el registro.

6 Capa compactada de cemento

6.1 Principio

La capa compactada de cemento comprende un arreglo de partículas de cemento con un volumen de aire especificado incluído entre las partículas. Este volumen de aire se define como una fracción del volumen total de la capa y se denomina porosidad, ε . En otras palabras, vale decir que la fracción ocupada por las partículas de cemento es $(1 - \varepsilon)$. Si V es el volumen total de la capa, el volumen absoluto de cemento es $V(1 - \varepsilon)$, en centímetros cúbicos, y la masa del cemento, m, es $\rho V(1 - \varepsilon)$, en gramos, en donde ρ es la densidad de las partículas de cemento, en gramos por centímetro cúbico.

[1)] Muestra de referencia disponible: National Institute of Standards and Technology (NIST), Bldg 202, Room 204 - Gaithersburg MD 20899 USA.

Licença de uso exclusiva para Petrobrás S.A.

Entretanto, conhecendo ρ, uma massa de cimento pode ser pesada para produzir a porosidade desejada na camada compactada de volume total *V*. A determinação de ρ é efetuada de acordo com 6.3 e de *V* de acordo com 8.1.

6.2 Preparação da amostra

Agitar a amostra de cimento a ser ensaiada por 2 min em um pote para dispersar os aglomerados. Aguardar 2 min. Mexer o pó delicadamente usando uma haste seca e limpa, de maneira a distribuir os finos no cimento.

6.3 Determinação da massa específica

Determinar a densidade, ρ, de acordo com a NM 23.

6.4 Formação da camada

Para obter uma camada de cimento de porosidade $\varepsilon = 0{,}500$, pesar uma quantidade de cimento m_1, em gramas, calculada a partir de:

$$m_1 = 0{,}500\ \rho V \qquad (1)$$

onde:

ρ é a massa específica do cimento, em gramas por centímetro cúbico, de acordo com 6.3;

V é o volume da camada compactada, em centímetros cúbicos, de acordo com 8.1.

Esta massa, compactada corretamente, produzirá uma camada de porosidade $\varepsilon = 0{,}500$.

Colocar o disco perfurado (4.2.1.2) sobre a borda, no fundo da célula (4.2.1.1) e sobre ele um disco de papel filtro novo (5.4). Atentar para que o disco de papel filtro cubra o disco perfurado, pressionando com uma haste seca e limpa. Colocar a quantidade de cimento determinada, m_1, na célula, tomando cuidado para evitar perdas. Dar pancadas leves na célula para nivelar o cimento. Colocar um segundo papel filtro sobre o cimento nivelado. Introduzir o êmbolo (4.2.1.3) para permitir o contato com o papel filtro. Pressionar o êmbolo suave mas firmemente até que a face inferior da cápsula esteja em contato com a célula. Vagarosamente retirar o êmbolo cerca de 5 mm, girar aproximadamente 90º e pressionar firmemente a camada mais uma vez, até que o capuz esteja em contato com a célula. A camada está compactada e pronta para o ensaio de permeabilidade, devendo o êmbolo ser retirado vagarosamente.

NOTA - Uma pressão muito rápida e vigorosa pode mudar a distribuição dos tamanhos das partículas e portanto alterar a superfície específica da camada. A pressão máxima permissível é a que se obtém pressionando moderadamente o polegar sobre o êmbolo.

Así, conociendo ρ, se puede pesar una masa de cemento para producir la porosidad deseada en la capa compactada de volumen total *V*. La determinación de ρ se efectúa de acuerdo con 6.3 y la de *V* con 8.1.

6.2 Preparación de la muestra

Agitar la muestra de cemento a ser ensayada durante 2 min en un pote para dispersar los aglomerados. Esperar 2 min. Revolver el polvo delicadamente usando una varilla seca y limpia de manera de distribuir los finos en el cemento.

6.3 Determinación de la densidad

Determinar la densidad, ρ, de acuerdo con la NM 23.

6.4 Formación de la capa

Para obtener una capa de cemento de porosidad $\varepsilon = 0{,}500$, se pesa una cantidad de cemento m_1, en gramos, calculada a partir de:

$$m_1 = 0{,}500\ \rho V \qquad (1)$$

donde:

ρ, es la densidad del cemento, en gramos por centímetro cúbico, de acuerdo con 6.3;

V, es el volumen de la capa compactada, en centímetros cúbicos, de acuerdo con 8.1.

Esta masa, compactada correctamente, producirá una capa de porosidad $\varepsilon = 0{,}500$.

Se ubica el disco perforado (4.2.1.2) sobre en el borde, en el fondo de la célula (4.2.1.1) y se coloca sobre el un disco de papel de filtro nuevo (5.4). Asegurarse que el disco de papel de filtro cubra el disco perforado presionando con una varilla seca y limpia. Se coloca la cantidad de cemento determinada, m_1, en la célula, teniendo cuidado para evitar pérdidas. Se golpea levemente la célula para nivelar el cemento. Se coloca un segundo papel de filtro en el cemento nivelado. Se introduce el émbolo (4.2.1.3) hasta permitir el contacto con el papel de filtro. Se presiona el émbolo suave pero fírmemente hasta que la cara inferior de la cápsula esté en contacto con la célula. Se retira lentamente el émbolo unos 5 mm, se gira aproximadamente 90° y se presiona fírmemente la capa una vez más hasta que la tapa esté en contacto con la célula. La capa está compactada y lista para el ensayo de permeabilidad, debiendo retirarse el émbolo lentamente.

NOTA - Una presión muy rápida y vigorosa puede cambiar la distribución de los tamaños de las partículas y por lo tanto alterar la superficie específica de la capa. La presión máxima permisible es la que se obtiene presionando moderadamente el pulgar sobre el émbolo.

Licença de uso exclusiva para Petrobrás S.A.

7 Ensaio de permeabilidade ao ar

7.1 Princípio

A superfície específica, *S*, em centímetros quadrados por grama é obtida pela expressão dada em 10.1, mas é convenientemente expressá-la como:

$$S = \frac{K}{\rho} \times \frac{\sqrt{\varepsilon^3}}{(1-\varepsilon)} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0{,}1\,\eta}} \qquad (2)$$

onde:

K é a constante do aparelho;

ε é a porosidade da camada;

t é o tempo medido, em segundos;

ρ é a massa específica do cimento, em gramas por centímetro cúbico (ver 6.3);

η é a viscosidade do ar à temperatura do ensaio, tomada da tabela 1, em pascal por segundo.

Com a porosidade de $\varepsilon = 0{,}500$ e a temperatura de 20ºC ± 2ºC:

$$S = 524{,}2\,\frac{K\sqrt{t}}{\rho} \qquad (3)$$

7.2 Procedimento

Inserir a superfície cônica da célula no topo do manômetro, usando, se necessário, uma camada fina de graxa (5.5) para garantir a estanqueidade, cuidando para não alterar a camada de cimento. Fechar o topo do cilindro com um tampão. Abrir o registro e, por meio de aspiração, levantar o nível do líquido manométrico para a marca mais alta [posição 8 na figura 1d)]. Fechar o registro e observar se o nível do líquido manométrico permanece constante. Se o nível cair, refazer a junta célula/manômetro e verificar o registro.

Repetir o teste de vazamento até que o nível do líquido manométrico não desça. Abrir o registro e, por aspiração, ajustar o nível do líquido à linha mais alta. Fechar o registro. Remover o tampão do topo do cilindro. O líquido manométrico começará a fluir. Marcar os tempos para que o líquido atinja a segunda linha [posição 9 na figura 1d)] e a terceira linha [posição 10 na figura 1d)]. Registrar o tempo, t, com aproximação de 0,2 s e a temperatura com aproximação de 1°C.

Repetir o procedimento na mesma camada e registrar os valores adicionais de tempo e temperatura. Preparar uma nova camada do mesmo cimento com uma segunda amostra, seguindo o procedimento definido em 6.4 ou, se houver pouco cimento disponível, desfazendo a primeira camada e refazendo-a. Realizar o ensaio de permeabilidade duas vezes na segunda camada, registrando os tempos e temperaturas como antes.

7 Ensayo de permeabilidad al aire

7.1 Principio

La superficie específica, *S*, en centímetros cuadrados por gramo, se obtiene mediante la expresión de 10.1, pero es conveniente expresarla como:

$$S = \frac{K}{\rho} \times \frac{\sqrt{\varepsilon^3}}{(1-\varepsilon)} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0{,}1\,\eta}} \qquad (2)$$

donde:

K es la constante del aparato;

ε es la porosidad de la capa;

t es el tiempo medido, en segundos;

ρ es la densidad del cemento, en gramos por centímetro cúbico (ver 6.3);

η es la viscosidad del aire a la temperatura del ensayo tomada de la tabla 1, en pascal por segundo.

Con la porosidad $\varepsilon = 0{,}500$ y temperatura de 20°C ± 2°C:

$$S = 524{,}2\,\frac{K\sqrt{t}}{\rho} \qquad (3)$$

7.2 Procedimiento

Se inserta la superficie cónica de la célula en el tope del manómetro, usando si es necesario una capa fina de grasa (5.5) para garantizar la estanqueidad, cuidando de no alterar la capa de cemento. Se cierra el tope del cilindro con un tapón. Se abre el registro y por medio de aspiración, se levanta el nivel del líquido manométrico hasta la marca más alta [posición 8 en la figura 1d)]. Se cierra el registro y se observa si el nivel del líquido manométrico permanece constante. Si cae, se rehace la junta célula/manómetro y se verifica el registro.

Se repite el ensayo de vaciamiento hasta que el nivel del líquido manométrico no descienda. Se abre el registro y por aspiración, se ajusta el nivel del líquido a la línea más alta. Se cierra el registro. Se quita el tapón del tope del cilindro. El líquido manométrico comenzará a fluir. Se comienza a marcar el tiempo cuando el líquido alcanza la segunda línea [posición 9 en la figura 1d)] y cuando el líquido alcanza la tercer línea [posición 10 en la figura 1d)]. Se registra el tiempo, t, con aproximación de 0,2 s y la temperatura con aproximación de 1°C.

Se repite el procedimiento en la misma capa y se registra los valores adicionales de tiempo y temperatura. Se prepara una capa fresca del mismo cemento con una segunda muestra siguiendo el procedimiento indicado en 6.4 ó, si hubiera poco cemento disponible, deshaciendo la primera capa y rehaciéndola. Se efectúa el ensayo de permeabilidad dos veces con la segunda capa, registrando los tiempos y temperaturas como antes.

Licença de uso exclusiva para Petrobrás S.A.

8 Calibração do aparelho

8.1 Determinação do volume da camada

Devido à necessidade de folga entre a célula e o êmbolo, o volume da camada compactada varia para cada combinação célula-êmbolo. O volume da camada compactada deve ser estabelecido para uma dada folga célula-êmbolo. Esse volume é determinado da maneira descrita a seguir.

Aplicar uma camada muito fina de óleo mineral (ver 5.3) no interior da célula. Colocar o disco perfurado sobre a borda, dentro da célula. Colocar dois discos de papel filtro novos sobre o disco perfurado e assegurar que cada um cubra a base da célula quando pressionado com uma haste.

Encher a célula com mercúrio (ver 5.1) e remover qualquer bolha de ar com uma haste limpa e seca. Assegurar que a célula esteja cheia, pressionando uma placa de vidro sobre a superfície de mercúrio até nivelar com o topo da célula. Esvaziar a célula, pesar o mercúrio com aproxi-mação de 0,01 g, m_2, e registrar a temperatura. Remover um disco de papel filtro. Fazer uma camada de cimento conforme descrito em 6.4 e colocar sobre ela um novo disco de papel filtro. Preencher a célula com mercúrio, removendo bolhas de ar e nivelando o topo como antes. Remover o mercúrio, pesar com aproximação de 0,01 g, m_3, e registrar a temperatura. O volume da camada, V, em centímetros cúbicos, é dado por:

$$v = \frac{m_2 - m_3}{\rho_H} \qquad (4)$$

onde:

ρ_H é a massa específica do mercúrio na temperatura do ensaio, tomado da tabela 1.

Repetir o procedimento com camadas de cimento diferentes até que dois valores de *V* obtidos difiram menos do que 0,005 cm^3. Registrar a média desses dois valores como *V*.

NOTA - Evitar derramamento de mercúrio e qualquer contato entre esse material e os olhos ou a pele do operador.

8.2 Determinação da constante do aparelho

Preparar uma camada compactada de cimento de referência de superfície específica conhecida (ver 5.2) e medir sua permeabilidade através do procedimento dado em 6.2, 6.3, 6.4 e 7.2. Registrar o tempo, t, e a temperatura do ensaio.

Usando a mesma camada, repetir o procedimento de 7.2 duas vezes e registrar os outros dois valores de tempo e temperatura. Repetir todo o procedimento em mais duas amostras do mesmo cimento de referência. Para cada uma das três amostras, calcular a média dos três tempos e temperaturas. Para cada amostra calcular:

$$K = S_o \rho_o \frac{(1-\varepsilon_o)\sqrt{0{,}1\eta_o}}{\sqrt{\varepsilon_o^{\,3}}\sqrt{t_o}} \qquad (5)$$

onde:

S_o é a superfície específica da amostra de referência, em centímetros quadrados por grama;

8 Calibración del aparato

8.1 Determinación del volumen de la capa

Debido a la necesidad de espacio entre la célula y el émbolo, el volumen de la capa compactada varía para cada combinación célula-émbolo. El volumen de la capa compactada será establecido para una abertura dada célula-émbolo. Este volumen se determina de la manera indicada a continuación.

Se aplica una capa muy fina de aceite mineral (ver 5.3) en el interior de la célula. Se coloca el disco perforado sobre el borde, dentro de la célula. Se colocan dos discos de papel de filtro nuevos sobre el disco perforado asegurándose de que cada uno cubra la base de la célula cuando se presiona con una varilla.

Se llena la célula con mercurio (ver 5.1). Se remueve cualquier burbuja de aire con una varilla limpia y seca. Asegurarse que la célula esté llena presionando una placa de vidrio sobre la superficie de mercurio hasta nivelar con el tope de la célula. Se vacía la célula, se pesa el mercurio con una aproximación de 0,01 g, m_2, y se registra la temperatura. Se retira el disco de papel de filtro. Se efectúa una capa de cemento de acuerdo con lo descripto en 6.4 y se coloca sobre ella un nuevo disco de papel de filtro. Se llena la célula con mercurio, eliminando las burbujas de aire y nivelando el tope como antes. Se remueve el mercurio, se pesa con una aproximación del 0,01 g, m_3, y se registra la temperatura. El volumen de la capa, V, en centímetros cúbicos, está dado por:

$$v = \frac{m_2 - m_3}{\rho_H} \qquad (4)$$

donde:

ρ_H, es la densidad del mercurio a la temperatura del ensayo, tomada de la tabla 1.

Se repite el procedimiento con capas de cemento diferentes hasta que dos valores de *V* obtenidos difieran menos de 0,005 cm^3. Se registra la media de esos dos valores como *V*.

NOTA - Se debe tener cuidado para evitar el derrame de mercurio y cualquier contacto entre él y los ojos y la piel del operador.

8.2 Determinación de la constante del aparato

Se prepara una capa compactada de cemento de referencia, de superficie específica conocida (ver 5.2), y se mide su permeabilidad mediante el procedimiento dado en 6.2, 6.3, 6.4 y 7.2. Se registra el tiempo, t, y la temperatura de ensayo.

Usando la misma capa se repite el procedimiento de 7.2, dos veces y se registran los otros dos valores de tiempo y temperatura. Se repite todo el procedimiento sobre dos muestras más del mismo cemento de referencia. Para cada una de las tres muestras, se calcula la media de los tres tiempos y temperaturas. Para cada muestra se calcula:

$$K = S_o \rho_o \frac{(1-\varepsilon_o)\sqrt{0{,}1\eta_o}}{\sqrt{\varepsilon_o^{\,3}}\sqrt{t_o}} \qquad (5)$$

donde:

S_o es la superficie específica de la muestra de referencia, en centímetros cuadrados por gramo;

Licença de uso exclusiva para Petrobrás S.A.

ρ_o é a massa específica da amostra de referência, em gramas por centímetro cúbico;

t_o é a média dos três tempos determinados, em segundos;

η_o é a viscosidade do ar correspondente à média de três temperaturas, em pascal por segundo (ver tabela 1);

ε_o é a porosidade da camada da amostra de referência.

Com porosidade especificada $\varepsilon_o = 0{,}500$

$$K = 1{,}414\ S_o \rho_o \frac{\sqrt{0{,}1\ \eta_o}}{\sqrt{t_o}} \qquad (6)$$

Tomar a média dos três valores de *K* como a constante, *K*, para o aparelho.

8.3 Recalibração

O uso repetitivo do equipamento pode causar alterações no volume da camada de cimento e na constante do aparelho (devido ao desgaste da célula, do êmbolo e do disco perfurado). As mudanças ocorridas podem ser determinadas com a ajuda de uma segunda amostra de referência, cuja superfície específica tenha sido determinada.

O volume da camada e a constante do aparelho devem ser recalibrados com o cimento de referência nos seguintes casos:

a) depois de 1 000 ensaios;

b) quando se utilizar:

- outro tipo de fluido manométrico;
- outro tipo de papel filtro;
- um novo tubo manométrico;

c) devido a desvios sistemáticos da amostra de referência secundária.

9 Cimentos especiais

Certos cimentos que apresentam distribuição pouco usual de tamanhos de partículas e, em particular, cimentos finos de alta resistência, podem acarretar dificuldades na obtenção de camada de porosidade $\varepsilon = 0{,}500$ pelo método definido em 6.4. A pressão do polegar no êmbolo é falha quando, após fazer o contato com o topo ou a célula, o êmbolo sobe, após o alívio da pressão. Nesse caso a porosidade $\varepsilon = 0{,}500$ é considerada inatingível.

Para tais casos, a porosidade requerida para uma camada bem compactada será determinada experimentalmente. A massa de cimento, m_4, em gramas, pesada para constituir a camada como em 6.4 será:

$$m_4 = (1-\varepsilon_1)\rho_1 V \qquad (7)$$

onde:

ε_1 é a porosidade determinada experimentalmente.

ρ_o, es la densidad de la muestra de referencia, en gramos por centímetro cúbico;

t_o, es la media de los tres tiempos medidos, en segundos;

η_o, es la viscosidad del aire correspondiente a la media de las tres temperaturas, en pascal por segundo (ver tabla 1);

ε_o, es la porosidad de la capa de la muestra de referencia.

Con la porosidad especificada $\varepsilon_o = 0{,}500$:

Se toma la media de los tres valores de *K* como la constante, *K*, para el aparato.

8.3 Recalibración

El uso repetitivo del equipamiento puede causar alteraciones en el volumen de la capa de cemento y en la constante del aparato (por causa del uso de la célula, émbolo y disco perforado). Estos cambios pueden ser determinados con ayuda de una segunda muestra de referencia cuya superficie específica fue determinada.

El volumen de la capa y la constante del aparato deberán ser recalibrados con el cemento de referencia en los siguientes casos:

a) después de 1 000 ensayos;

b) cuando se use:

- otro tipo de fluido manométrico;
- otro tipo de papel de filtro;
- un nuevo tubo manométrico;

c) debido a desvíos sistemáticos de la muestra de referencia secundaria.

9 Cementos especiales

Ciertos cementos que presentan una distribución poco usual de tamaños de partículas y, en particular, cementos finos de alta resistencia, pueden acarrear dificuldades en la obtención de la capa de porosidad $\varepsilon = 0{,}500$ por el método indicado en 6.4. La presión del pulgar en el émbolo es defectuosa cuando luego de hacer el contacto con el tope o la célula, el émbolo sube, al anular la presión. En ese caso, la porosidad $\varepsilon = 0{,}500$ se considera inalcanzable.

Para tales casos, la porosidad requerida para una capa bien compactada será determinada experimentalmente. La masa de cemento, m_4, en gramos, pesada para constituir la capa como en 6.4, será:

donde:

ε_1, es la porosidad determinada experimentalmene.

Licença de uso exclusiva para Petrobras S.A.

10 Simplificação de cálculos

10.1 Fórmula básica

A superfície específica, S, em centímetros quadrados por grama, do cimento ensaiado, é calculada pela fórmula:

$$S = \frac{\rho_o}{\rho} \times \frac{(1-\varepsilon_o)}{(1-\varepsilon)} \times \frac{\sqrt{\varepsilon^3}}{\sqrt{\varepsilon_o^3}} \times \frac{\sqrt{0{,}1\,\eta_o}}{\sqrt{0{,}1\,\eta}} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{t_o}} \times S_o = K \frac{\sqrt{\varepsilon^3}\sqrt{t}}{\rho\,(1-\varepsilon)\sqrt{0{,}1\,\eta}} \qquad (8)$$

onde:

S_o é a superfície específica da amostra de referência, em centímetros quadrados por grama (ver 5.2);

ε é a porosidade da camada no ensaio;

ε_o é a porosidade da camada da amostra de referência (ver 8.2);

t é o tempo do ensaio, em segundos;

t_o é a média dos três tempos determinados na amostra de referência, em segundos (ver 8.2);

ρ é a massa específica do cimento de ensaio, em gramas por centímetro cúbico (ver 6.3);

ρ_o é a massa específica da amostra de referência, em gramas por centímetro cúbico (8.2);

η é a viscosidade do ar na temperatura do ensaio, da tabela 1, em pascal segundos;

η_o é a viscosidade do ar na temperatura média das três determinações (tabela 1) para a amostra de referência, em pascal por segundo.

10.2 Efeito da porosidade definida

O uso da porosidade ε = 0,500, tanto para o cimento de referência como para o ensaio, simplifica a fórmula (8) para:

$$S = \frac{\rho_o}{\rho} \times \frac{\sqrt{0{,}1\,\eta_o}}{\sqrt{0{,}1\,\eta}} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{t_o}} \times S_o \qquad (9)$$

No caso de cimentos que requeiram uma porosidade diferente de ε = 0,500, a fórmula (9) não pode ser usada, a menos que a amostra de referência seja ensaiada com aquela porosidade.

10.3 Efeito da temperatura controlada

Como definido na tabela 1, o valor de $\sqrt{0{,}1\,\eta}$ varia de 0,001 345 a 18°C a 0,001 353 a 22°C. Sob condições específicas de laboratório, um valor de 0,001 349 pode ser tomado como constante, acarretando erro extremo de 0,5% ou um erro mais provável de 0,3% ou menos.

Esta simplificação leva à seguinte fórmula:

$$S = \frac{\rho_o}{\rho} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{t_o}} \times S_o \qquad (10)$$

10 Simplificación de los cálculos

10.1 Fórmula básica

El superficie específica, S, en centímetros cuadrados por gramo, del cemento ensayado se calcula mediante la fórmula:

donde:

S_o, es la superficie específica de la muestra de referencia, en centímetros cuadrados por gramo (ver 5.2);

ε , es la porosidad de la capa en ensayo;

ε_o es la porosidad de la capa de la muestra de referencia (ver 8.2);

t, es el tiempo del ensayo, en segundos;

t_o, es la media de tres tiempos determinados en la muestra de referencia, en segundos (ver 8.2);

ρ , es la densidad del cemento bajo ensayo, en gramos por centímetro cúbico (ver 6.3);

ρ_o, es la densidad de la muestra de referencia, en gramos por centímetro cúbico (ver 8.2);

η , es la viscosidad del aire a la temperatura del ensayo de la tabla 1, en pascal segundos;

η_o, es la viscosidad del aire en la temperatura media de tres determinaciones (tabla 1)para la muestra de referencia, en pascal segundos.

10.2 Efecto de la porosidad definida

El uso de la porosidad ε = 0,500, tanto para la muestra de referencia como para el ensayo, simplifica la fórmula (8) a:

En el caso de cementos que requieran una porosidad diferente de ε = 0,500, la fórmula (9) no se puede usar, a menos que la muestra de referencia sea ensayada con aquella porosidad.

10.3 Efecto de la temperatura controlada

Como se indica en la tabla 1, el valor de $\sqrt{0{,}1\,\eta}$ varía de 0,001 345 a 18°C a 0,001 353 a 22°C. Bajo condiciones específicas de laboratorio, se puede tomar un valor de 0,001 349 para aplicar, acarreando un error extremo de 0,5% o un error más probable de 0,3% ó menos.

Esta simplificación lleva a la fórmula siguiente:

Licença de uso exclusiva para Petrobrás S.A.
Licença de uso exclusiva para Petrobrás S.A.

10.4 Efeito da massa específica do cimento

A simplificação remanescente possível é a eliminação da massa específica (ρ) nos termos. Isto pode ser feito somente com cimentos portland puros, onde se pode aplicar o valor de 3,15 g/cm³. Esta hipótese pode produzir erros de até 1%. Com o aumento do uso de outros tipos de cimento (que serão definidos em uma futura Norma MERCOSUL), erros maiores poderão ocorrer. Deve-se enfatizar que esta norma necessariamente requer o conhecimento da massa específica do cimento no cálculo da superfície específica.

11 Expressão dos resultados

Quando a porosidade for ε = 0,500, os quatro tempos e temperaturas resultantes do procedimento definido em 7.2 devem ser examinados para certificar se todas as temperaturas caíram na faixa especificada de 20ºC ± 2ºC. Em caso afirmativo, a média dos quatro tempos deve ser usada na fórmula (3) ou na fórmula (10) e o resultado de S apresentado com aproximação de 10 cm²/g será a superfície específica do cimento.

A diferença de 1% entre as médias de dois ensaios efetuados com uma mesma amostra é aceitável.

O desvio-padrão da repetibilidade é 50 cm²/g e da reprodutibilidade 100 cm²/g.

Quando a porosidade não for ε = 0,500, a fórmula (8) deve ser usada e o resultado com aproximação de 10 cm²/g será a superfície específica do cimento.

Se, devido a uma falha no controle, as quatro temperaturas não estiverem dentro da faixa especificada de 20ºC ± 2ºC, um valor de S será calculado para cada combinação de tempo e temperatura, usando a fórmula (2) ou a (8). O valor de S com aproximação de 10 cm²/g será a superfície específica do cimento.

10.4 Efecto de la densidad del cemento

La simplificación restante posible es la eliminación de la densidad (ρ) en los términos. Esto se puede hacer solamente con cementos pórtland puros en donde se puede aplicar el valor de 3,15 g/cm³. Esta hipótesis puede producir errores de hasta 1%. Con el aumento del uso de otros tipos de cemento (que serán definidos en una futura Norma MERCOSUR), pueden ocurrir errores mayores. Se debe enfatizar que esta Norma necesariamente requiere el conocimiento de la densidad del cemento para el cálculo de la superficie específica.

11 Expresión de resultados

Cuando la porosidad fuera ε = 0,500, los cuatro tiempos y temperaturas resultantes del procedimiento 7.2, se debe examinar para certificar que todas las temperaturas caigan en el intervalo especificado de 20°C ± 2°C. En caso afirmativo, la media de los cuatro tiempos en la formula (3) ó fórmula (10) y el resultado de S obtenido con una aproximación de 10 cm²/g será la superficie específica del cemento.

La diferencia del 1% entre las medias de dos ensayos efectuados con una misma muestra es aceptable.

La desviación normal de la repetibilidad es de 50 cm²/g y de la reproductibilidad de 100 cm²/g.

Cuando la porosidad no fuera ε = 0,500, se usará la fórmula (8) y el resultado obenido con una aproximación de 10 cm²/g, será la superficie específica del cemento.

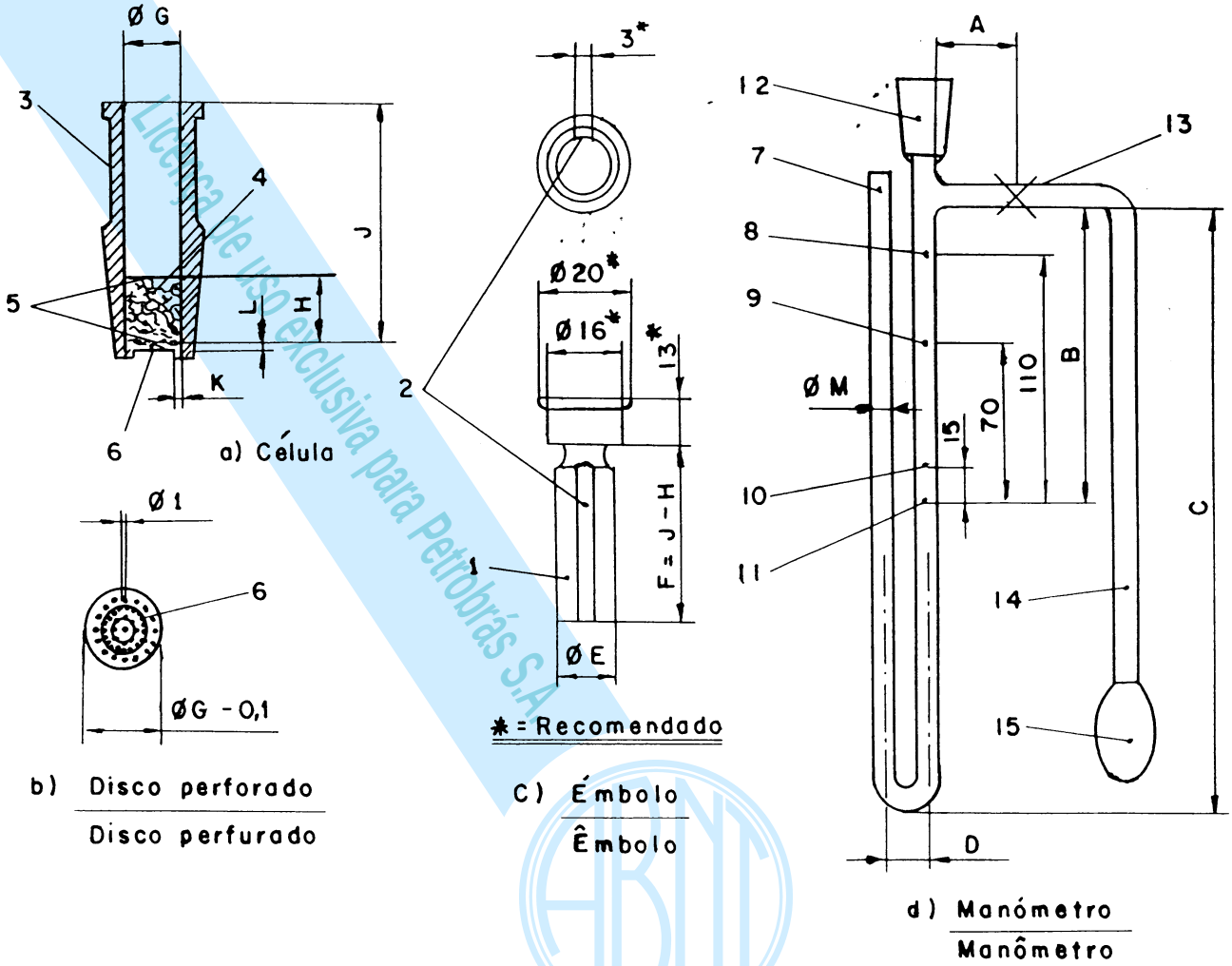
Si, debido a una falla en el control, las cuatro temperaturas no estuvieran dentro del intervalo especificado de 20°C ± 2°C, se calculará un valor de S para cada combinación de tiempo y temperatura, usando la fórmula (2) ó (8). El valor de S con una aproximación de 10 cm²/g, será la superficie específica del cemento.

Tabela 1 - Massa específica do mercúrio e viscosidade do ar em função da temperatura
Tabla 1 - Densidad del mercurio y viscosidad del aire en función de la temperatura

Temperatura °C	Massa específica do mercúrio, ρH/ *Densidad del mercurio, ρH* g/cm³	Viscosidade do ar Pa.s/ *Viscosidad del aire*	$\sqrt{0,1\ \eta}$
16	13,560	0,000 018 00	0,001 342
17	13,560	0,000 018 05	0,001 344
18	13,550	0,000 018 10	0,001 345
19	13,550	0,000 018 15	0,001 347
20	13,550	0,000 018 19	0,001 349
21	13,540	0,000 018 24	0,001 351
22	13,540	0,000 018 29	0,001 353
23	13,540	0,000 018 34	0,001 354
24	13,540	0,000 018 39	0,001 356

NOTA - Valores intermediários podem ser obtidos por interpolação linear/
Se pueden obtener valores intermedios por interpolación lineal.

Licença de uso exclusiva para Petrobrás S.A.



Dimensões em milímetros/
Dimensiones en milímetros

Número	Designação/*Designación*	Dimensões/*Dimensiones* Recomendadas	Obrigatórias/*Obligatorias*
1	Pistão/*Pistón*	A ≤ 50	
2	Válvula	B = 135 ± 10	
3	Célula		
4	Capa de cimento compactada/*Camada de cemento compactada*	C = 275 ± 25	*G = 12,7 ± 0,1*
5	Disco de papel de filtro		
6	Disco perfurado/*Disco perforado*	D = 23 ± 1	
7	Manômetro/*Manómetro*		E = G - 0,1
8,9,10,11	Linhas marcadas/*Líneas marcadas*		
12	Junta cônica para célula/*Junta cónica para célula*	J = 50 ± 15	
13	Registro	K = 0,8 ± 0,2	
14	Tubo de borracha/*Tubo de goma*		H = 15 ± 1
15	Bulbo aspirador	L = 0,9 ± 0,1	
		M = 9,0 ± 0,4	

Figura 1 - Aparelho de permeabilidade Blaine

Figura 1 - *Aparato de permeabilidad Blaine*

Licença de uso exclusiva para Petrobrás S.A.