



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0011235-6 B1

(22) Data do Depósito: 07/06/2000

(45) Data de Concessão: 06/10/2015

(RPI 2335)



(54) Título: MÉTODO E APARELHO PARA ESTUDO DE RESISTIVIDADE DE UMA FORMAÇÃO GEOLÓGICA EM TORNO DE UM FURO DE POÇO EQUIPADO COM UM REVESTIMENTO METÁLICO

(51) Int.Cl.: G01V 3/20

(30) Prioridade Unionista: 22/06/1999 FR 99/07913

(73) Titular(es): SCHLUMBERGER TECHNOLOGY B.V.

(72) Inventor(es): DOMINIQUE BENIMELI

MÉTODO E APARELHO PARA ESTUDO DE RESISTIVIDADE DE UMA
FORMAÇÃO GEOLÓGICA EM TORNO DE UM FURO DE POÇO EQUIPADO COM
UM REVESTIMENTO METÁLICO

A presente invenção refere-se a determinação de
5 resistividade de formações geológicas circundantes a um
poço que é provido com um revestimento metálico.

A importância das perfilagens de resistividade em
prospecção de petróleo é bem conhecida. É conhecido que a
resistividade de uma formação depende essencialmente do
10 fluido contido pela mesma. Uma formação contendo água
salgada, que é condutiva, possui uma resistividade muito
menor que uma formação preenchida com hidrocarbonetos, e
consequentemente as medições de resistividade são de valor
insubstituível para localização de depósitos de
15 hidrocarbonetos. As perfilagens de resistividade têm sido
realizadas muito amplamente e por um longo tempo,
particularmente por meio de dispositivos possuindo
eletrodos, entretanto as técnicas existentes possuem um
campo de aplicação que é limitado a poços que não se
20 encontram revestidos (conhecidos como "poços abertos" na
terminologia da indústria de petróleo). A presença de um
revestimento metálico num poço, em que a resistividade do
metal é mínima em comparação com valores que são típicos
para formações geológicas (cerca de 2×10^{-7} ohm.m para
25 revestimento de aço em comparação com 1 até 100 ohm.m para

uma formação), representa um obstáculo considerável ao envio de correntes elétricas para o interior da formação que circunda o revestimento. Como resultado, é essencial que as medições de resistividade sejam realizadas
5 anteriormente à instalação do revestimento. Em particular, as medições de resistividade não podem ser obtidas de poços que se encontram em produção após terem sido equipados com revestimento.

Seria portanto muito vantajoso poder medir a
10 resistividade em seções revestidas de poços. Uma tal medição, realizada num poço que se encontra em produção e no nível do depósito, tornaria possível localizar as interfaces água-hidrocarboneto, e portanto rastrear as posições dessas interfaces ao longo do tempo, com o
15 objetivo de monitorar o comportamento do depósito de hidrocarboneto e otimizar o aproveitamento do mesmo. Seria igualmente possível obter medições de resistividade num poço (ou uma seção de poço) em que não tenham sido realizadas medições anteriormente à instalação do
20 revestimento, em particular para aperfeiçoamento dos conhecimentos sobre o depósito, e talvez para encontrar camadas produtivas que não tenham sido localizadas inicialmente.

Propostas relativas a este tópico podem ser
25 encontradas na literatura. O princípio no qual são baseadas essas medições, descritas na patente norte-americana n° US

2 459 196 consiste em fazer uma corrente fluir ao longo do revestimento em condições nas quais ocorre uma fuga ou uma perda de corrente para a formação. Esta perda é uma função da resistividade da formação, quanto mais condutiva for a
5 formação maior será a perda, e assim mediante uma medição da perda é possível determinar a resistividade da formação. De acordo com a patente mencionada acima, a perda de corrente é avaliada mediante o estabelecimento de um perfil da corrente que flui ao longo do revestimento. A patente
10 norte-americana n° US 2 729 784 descreve um método de medição que utiliza três eletrodos de medição espaçados entre si ao longo do revestimento e formando pares de eletrodos adjacentes que são teoricamente idênticos. Os eletrodos de corrente são dispostos de ambos os lados sobre
15 os eletrodos de medição para injetarem correntes em direções opostas para o interior do revestimento. Um enlace de retorno de alimentação ("feedback loop") servo-controla a injeção de corrente de forma a colocar os eletrodos de medição externos no mesmo potencial com o propósito de
20 eliminar o efeito de diferenças na resistência do revestimento nas seções definidas pelos eletrodos de medição. Um valor para a corrente de fuga no eletrodo intermediário é obtido mediante uma medição da queda de voltagem em cada um dos pares de eletrodos e mediante
25 obtenção da diferença entre as quedas de voltagem, essa diferença sendo referida como sendo proporcional à corrente

de fuga. A patente norte-americana n° US 2.891 215 descreve um método do mesmo tipo utilizando um eletrodo de corrente adicional nivelado com o eletrodo de medição intermediário, e disposto de forma a aplicar uma corrente que compensa
5 exatamente a corrente de fuga.

Tal como na patente norte-americana n° US 2 729 784, a patente Francesa n° 2 207 278 prevê a utilização de três eletrodos de medição espaçados regularmente para medição da fuga de corrente, e descreve um método de dois
10 estágios: um primeiro estágio para medição da resistência da seção de revestimento definida pelos eletrodos de medição, estágio durante o qual a corrente é feita fluir ao longo do revestimento de tal forma que não ocorre fuga para o interior da formação; e um segundo estágio durante o qual
15 pode ocorrer uma fuga de corrente para o interior da formação. Para este propósito, é provido um sistema de injeção de corrente que compreende um eletrodo emissor e dois eletrodos de retorno, um próximo dos eletrodos de medição e ativo durante o primeiro estágio, e o outro
20 situado na superfície, e ativo durante o segundo estágio.

A patente norte-americana n° US 4 796 186 descreve um método de dois estágios do mesmo tipo daquele que é referido na patente Francesa n° 2 207 278 mencionada acima, e utiliza a mesma disposição dos eletrodos. É provido um
25 circuito para eliminação do efeito de variações de resistência entre as duas seções de revestimento, em que

esse circuito compreende amplificadores ligados a cada par de eletrodos de medição para fornecimento de respectivas quedas de voltagem de saída. Um dos amplificadores possui ganho variável, e seu ganho é ajustado durante o primeiro estágio para cancelar a diferença entre a saída dos amplificadores. A implementação desta técnica é muito difícil, devido às ordens de magnitude especificadas acima. Ela requer igualmente dois estágios de medição distintos.

A invenção procura possibilitar a determinação da corrente de fuga de uma forma mais simples e mais eficiente que as técnicas conhecidas.

A invenção proporciona um método para estudar a resistividade de uma formação geológica em torno de um furo de poço equipado com um revestimento metálico, o método sendo caracterizado pelo fato de uma corrente elétrica ser aplicada ao revestimento para causar uma fuga de corrente para o interior da formação num determinado nível, a referida corrente sendo derivada por um circuito de realimentação em contato com o revestimento de ambos os lados do nível de medição, o referido circuito de realimentação sendo organizado de tal forma que a corrente que flui ao longo do revestimento no referido nível tem um valor reduzido em comparação com a corrente derivada, a diferença entre as quedas de voltagem em seções adjacentes de revestimento situadas de ambos os lados do nível de medição sendo determinada, e a corrente de fuga sendo daí

deduzida.

A invenção será bem entendida mediante uma leitura da descrição a seguir com referência aos desenhos em anexo.

Nos desenhos:

- 5 • A Figura 1 recorda o princípio de medição de resistividade de um poço revestido, utilizando a técnica convencional;
- a Figura 2 é um diagrama ilustrando uma primeira implementação do método da invenção;
- 10 • a Figura 3 é um diagrama ilustrando uma segunda implementação da invenção; e
- a Figura 4 ilustra um aparelho de interior de poço adaptado para a prática da invenção.

O princípio mediante o qual é medida a

15 resistividade de um poço revestido consiste em fazer uma corrente fluir ao longo do revestimento com um retorno remoto de forma a permitir que a corrente vaze para o interior das formações geológicas em torno do poço, e para avaliar a corrente de fuga: num determinado nível, quanto

20 mais condutiva for a formação circundante ao poço nesse nível, maior será a corrente de fuga. Isto pode ser expressado em termos matemáticos por uma relação

exponencialmente decrescente para a corrente que flui no revestimento, com uma taxa de decréscimo, num determinado

25 nível, que é uma função da razão entre a resistividade da formação R_t e da resistividade do revestimento R_c .

O diagrama da Figura 1 mostra uma seção de um poço
 10 de eixo geométrico X-X' equipado com um revestimento
 metálico 11. O nível (ou profundidade) em que é desejado
 obter uma medição é assinalado com a referência B. Nós
 5 consideramos uma seção de revestimento AC estendendo-se de
 ambos os lados do nível B. Se uma corrente fluir no
 revestimento com um retorno remoto (por exemplo na
 superfície), a perda de corrente para o interior da
 formação pode ser representada, em termos de circuito
 10 elétrico, por um resistor de derivação disposto entre o
 nível B do revestimento e o infinito. A resistência deste
 resistor representa a resistividade R_t da formação no nível
 B. Utilizando a lei de Ohm, é portanto possível escrever:

$$[1] \quad R_t = k (V_{B, \infty} / I_{for})$$

15 em que k é uma constante geométrica que pode ser
 determinada por medições de calibragem, $V_{B, \infty}$ é o potencial
 do revestimento no nível B relativamente ao infinito, e
 I_{for} é a corrente de fuga no nível B.

A perda de corrente no nível B pode ser descrita
 20 como uma diferença entre a corrente que ingressa no nível B
 e a corrente que abandona o mesmo. Fazendo uma aproximação
 pelo fato de a corrente variar distintamente, pode ser
 assumido que a corrente na seção AB, e a corrente na seção
 BC são ambas constantes, com estas correntes sendo
 25 consideradas idênticas às respectivas correntes médias I_{AB}
 e I_{BC} nessas seções, e a corrente de fuga I_{for} é

determinada como a diferença entre as correntes I_{AB} e I_{BC} :

$$[2] \quad I_{for} = I_{AB} - I_{BC}$$

Devido ao fato de I_{AB} e I_{BC} serem valores médios através das seções AB e BC:

$$5 \quad [2'] \quad I_{for} = V_{AB} / R_{AB} - V_{BC} / R_{BC}$$

em que V_{AB} e V_{BC} são as quedas potenciais respectivamente ao longo das seções AB e BC de revestimento, e em que R_{AB} e R_{BC} são as respectivas resistências das seções AB e BC do revestimento.

10 A Figura 2 é um diagrama ilustrando uma implementação da invenção.

Na Figura 2, podem ser observados o furo de poço 10 e o revestimento 11 ao qual uma corrente I_0 é aplicada por um eletrodo de injeção (não exibido) com o retorno sendo
15 remoto de tal forma que a corrente vaza para o interior da formação, conforme se encontra representado pelas setas paralelas.

Na Figura 2, podem ser observados níveis axialmente espaçados entre si A, B, C, e D no revestimento 11,
20 definindo seções AB, BC e CD. Eletrodos são colocados em contato com o revestimento nos níveis B e C, e também em pelo menos um dos níveis A e D. Estes eletrodos situados nos níveis A, B, C, e D são respectivamente designados como a, b, c, e d. Os eletrodos intermediários b e c são ligados
25 respectivamente a entradas E1 e E2 de um amplificador 12 possuindo alto ganho G. O amplificador 12 é ligado em

paralelo com o circuito formado pelo revestimento 11, as saídas S1 e S2 do amplificador 12 sendo ligadas ao revestimento 11 em respectivos níveis A' e D' situados além das respectivas extremidades da seção estendendo-se entre os níveis A e D. O amplificador 12 constitui um enlace de retorno de alimentação organizado para reduzir a diferença de potencial entre as entradas E1 e E2 para um valor substancialmente correspondente a zero, ou em qualquer caso, um valor reduzido. A queda de voltagem entre os eletrodos b e c, e portanto a corrente I_{BC} que flui entre estes eletrodos podem ser consideradas como tendo substancialmente um valor zero, ou em qualquer caso, um valor reduzido. Substancialmente toda a corrente é assim desviada para o circuito de derivação incluindo o amplificador 12. Nessas condições, a corrente que flui ao longo do revestimento fora da seção BC sob o controle do amplificador 12 é substancialmente idêntica à corrente I_{for} que vaza para o interior da formação. A diferença de potencial V_{AB} entre os eletrodos a e b (ou a diferença de potencial V_{CD} entre os eletrodos c e d) é então substancialmente proporcional à corrente de fuga I_{for} :

$$[3] \quad I_{for} \cong V_{AB} / R_{AB} \quad (\text{ou } I_{for} \cong V_{CD} / R_{CD})$$

Esta diferença de potencial é medida por um amplificador 13 cujas entradas são ligadas aos eletrodos a e b (ou aos eletrodos c e d) e cuja voltagem de saída é a diferença entre as voltagens de entrada.

A técnica da invenção elimina de uma forma simples substancialmente todas as dificuldades associadas com incertezas relativamente às resistências R_{AB} e R_{BC} das seções de revestimento. Resulta das equações [3] acima que a incerteza ΔR relativa à resistência da seção de revestimento R_{AB} (ou R_{CD}) tem um efeito na incerteza relativa à corrente de fuga somente na forma de um termo relativo $\Delta R/R$ que é tipicamente da ordem de 10^{-2} em condições reais. A influência da incerteza ΔR é assim reduzida de forma decisiva. Adicionalmente, a invenção torna possível obter a corrente de fuga num único estágio de medição, o que é vantajoso em termos operacionais.

É referido acima que a corrente I_{BC} que flui na seção BC deve ser substancialmente zero ou em qualquer caso uma pequena corrente. Na invenção, será apropriado ajustar o ganho do amplificador 12 de tal forma que a razão entre a corrente que flui entre os níveis A' e D' e a corrente desviada para o amplificador não seja superior a cerca de 10^{-2} , dado que o quociente exato varia dependendo das condições e do contexto de medição, por exemplo dentro de um determinado furo de poço, varia com a profundidade na qual a medição é obtida, e portanto não pode ser fixada a priori. A ordem de magnitude mencionada acima é suficiente em primeiro lugar para obter um resultado que seja aceitável do ponto de vista da redução da influência da

incerteza ΔR , e em segundo lugar não requer que o ganho do amplificador 12 seja excessivamente grande. A definição de características adequadas para o amplificador 12 encontra-se no âmbito da competência de uma pessoa versada na

5 técnica.

Com valores desta ordem, a corrente I_{BC} e portanto a voltagem V_{BC} não têm necessariamente que ser completamente desprezíveis, e para obtenção de uma melhor precisão é preferencial utilizar a voltagem V_{BC} obtida na

10 saída do amplificador 12 para determinar a corrente de fuga I_{for} , aplicando a equação [2'] acima. Ainda assim, o método de determinação aproximado baseado na equação [3], que não utiliza a voltagem V_{BC} também se encontra dentro do âmbito da invenção.

15 O circuito descrito acima inclui um amplificador 12 que serve tanto como circuito de realimentação quanto como circuito para medição da voltagem V_{BC} .

Uma variante de implementação desse circuito consiste em separar estas funções mediante a provisão de um

20 primeiro amplificador para propósitos de realimentação e um segundo amplificador para a medição de V_{BC} . O circuito de realimentação compreendendo o primeiro amplificador pode então encontrar-se em contato com o revestimento em pontos diversos dos pontos B e C, por exemplo, nos pontos A e D.

25 Esta variante proporciona assim uma maior flexibilidade.

Além disso, de acordo com as equações [3] ou [2'],

a medição da corrente de fuga requer um conhecimento da resistência da seção de revestimento na qual é medida a queda de voltagem. Tendo em vista a observação acima, não é necessário conhecer com muita precisão as resistências em questão. Isto abre-nos diversas possibilidades.

Uma primeira possibilidade consiste meramente em calcular estas resistências como uma função de dados disponíveis referentes ao revestimento no nível em consideração (diâmetro interno, diâmetro externo, resistividade) juntamente com outros parâmetros envolvidos (as distâncias AB, BC, CD, e a temperatura no nível em consideração).

Uma outra possibilidade consiste na determinação das resistências sendo consideradas mediante um estágio de medição que é distinto da operação principal conforme descrita acima. Uma corrente é feita fluir nas seções de revestimento AB, BC, e CD de forma que não ocorra fuga para o interior da formação, com isto sendo feito por um circuito compreendendo um eletrodo de injeção e um eletrodo de retorno em contato com o revestimento em níveis que são próximos dos níveis A e D respectivamente, e são medidas as quedas de voltagem através das seções de revestimento sob consideração.

Uma terceira solução pode ser considerada para determinação da resistência R_{AB} ou R_{CD} simultaneamente com a operação principal. Esta solução é implementada por meio do

circuito ilustrado em diagrama na Figura 3.

O princípio consiste em medir a resistência R_{AB} ou R_{CD} com corrente numa frequência \underline{f} que é diferente da frequência f_0 utilizada para a medição principal. O enlace de realimentação ilustrado na Figura 3 possui dois amplificadores 14-1 e 14-2 com respectivos ganhos G_1 e G_2 . Uma voltagem \underline{v} é aplicada entre os amplificadores 14-1 e 14-2. Isto faz uma corrente \underline{j} passar em torno do enlace e ao longo do revestimento, conforme se encontra representado com linhas tracejadas. Dadas as dimensões do circuito percorrido por esta corrente \underline{j} , a mesma circula essencialmente na espessura do revestimento e não depende da resistência da formação. Mediante uma medição da corrente \underline{j} , é possível determinar a resistência do revestimento utilizando a seguinte equação:

$$[4] \quad R_{AB} = v / G_1 \cdot j$$

A voltagem V_{AB} (ou V_{CD}) é obtida conforme se encontra descrito com referência à Figura 2 por meio de um amplificador (não ilustrado na Figura 3) cujas entradas são ligadas aos eletrodos \underline{a} e \underline{b} (ou \underline{c} e \underline{d}).

Foi mencionado acima que é medida a voltagem V_{AB} ou a voltagem V_{CD} . Na prática, é vantajoso medir ambas estas voltagens simultaneamente já que isto torna possível obter um único estágio duas medições correspondentes a dois diferentes níveis no furo de poço, uma para o nível B, e a outra para o nível C.

Um aparelho adequado para a prática da invenção encontra-se ilustrado na forma de um diagrama na Figura 4. A Figura 4 mostra um furo de poço de petróleo 10 equipado com um revestimento 11, e uma sonda referida na

5 generalidade com o numeral 20, essa sonda encontrando-se suspensa na extremidade de um cabo elétrico 21 de tal forma que pode ser deslocada ao longo do furo de poço da maneira convencional em técnicas de perfilagem de perfuração de petróleo. O cabo 21 é ligado a equipamentos 22 de

10 superfície que compreendem convencionalmente um guincho (não exibido), uma unidade 23 de aquisição e processamento de dados, e uma fonte de alimentação de energia elétrica 24. A sonda 20 possui quatro eletrodos de medição a, b, c, e d que podem ser colocados em contato com o revestimento

15 definindo seções de revestimento ab, bc, e cd cada uma das mesmas com uma extensão adequadamente selecionada para ficar numa faixa de 40 cm até 80 cm. Na configuração ilustrada, os eletrodos a, b, c, e d são montados em respectivos braços 25 articulados com a sonda 20.

20 Mecanismos de tipo convencional que não requerem aqui uma descrição são utilizados para abertura dos braços em afastamento da sonda para colocação dos eletrodos em contato com o revestimento, e em seguida para trazer os mesmos para a posição retraída quando as medições tiverem

25 sido completadas. Os eletrodos são projetados de tal forma que quando entram em contato com o revestimento, suas

posições são fixadas tão firmemente quanto possível, e de tal forma que seu contato elétrico com o revestimento seja bom.

Uma sonda deste tipo pode ser fabricada com base no aparelho utilizado comercialmente pela empresa Schlumberger para o serviço CPET, conforme se encontra descrito na patente norte-americana n° US 5 563 514. Esse aparelho, que é projetado para avaliar a proteção catódica do revestimento e seu estado de corrosão, possui eletrodos de medição de poço distribuídos em torno de quatro níveis que são espaçados entre si na direção longitudinal, com a distância entre níveis sendo de cerca de 60 cm, e com os três eletrodos em cada nível sendo dispostos simetricamente em torno do eixo geométrico do aparelho, isto é, com intervalos angulares de 120° entre eletrodos adjacentes. Não obstante, para as necessidades da presente invenção, será suficiente um eletrodo por nível.

A sonda possui também eletrodos de corrente dispostos para além dos eletrodos a e d, isto é, um eletrodo de topo In1 e um eletrodo de fundo In2, com estes eletrodos encontrando-se a distâncias dos eletrodos a e d que podem ser da mesma ordem ou ligeiramente maiores que as distâncias entre os eletrodos a e d, por exemplo, alguns metros. Conexões isolantes 26, tais como conexões do tipo AH169, normalmente utilizadas pela Schlumberger, são dispostas em ambas as extremidades da parte central da

sonda que transporta os eletrodos de medição a até d para isolar os mesmos dos eletrodos de corrente In1 e In2. Os eletrodos de corrente In1 e In2 podem ser fabricados da forma convencional para centralizadores para utilização em
5 poços revestidos. As rodas normalmente providas nesses centralizadores para realizarem o contato com o revestimento são neste caso substituídas por elementos adequados para atuarem como eletrodos de corrente, e são providos condutores elétricos para ligação dos elementos
10 formadores de eletrodo.

A sonda possui igualmente um subconjunto de componentes eletrônicos (não exibidos). Este subconjunto compreende adequadamente os amplificadores 12, 13, e 14-1, 14-2 descritos com referência às Figuras 2 e 3. Os sinais
15 de saída destes circuitos são preferencialmente digitalizados e transmitidos para a superfície para processamento na unidade 23 para determinação da resistividade da formação.

O aparelho possui igualmente um eletrodo de retorno
20 remoto In3, preferencialmente disposto na superfície na cabeça de poço (se o poço for suficientemente profundo) ou a uma distância da cabeça de poço, e possui igualmente dispositivos para alimentação de eletricidade para os eletrodos. Estes dispositivos compreendem a fonte 16 de
25 superfície mencionada acima, e nos casos apropriados, uma fonte adicional disposta no interior da sonda, juntamente

com circuitos de comutação apropriados.

Os dispositivos descritos acima tornam possível determinar a corrente de fuga I_{for} . Para determinação da resistividade da formação R_t , resta determinar o potencial do revestimento relativamente a uma referência no infinito $V_{B, \infty}$, conforme se encontra descrito acima. Muito embora isto não constitua parte da matéria da presente invenção, são dadas indicações abaixo sobre como determinar o potencial do revestimento.

O método usual consiste em utilizar um eletrodo de referência disposto na superfície a uma distância do eletrodo de retorno In_3 da superfície. A diferença de potencial V_{bs} é desta forma medida entre o revestimento no nível B do eletrodo de medição \underline{b} e o eletrodo de referência. Utilizando a equação [1] acima, é formada a razão $K \cdot V_{bs} / I_{for}$, em que K é a constante mencionada acima, para dedução da resistividade da formação R_t .

Um outro método que evita a utilização de um eletrodo de referência é descrito no pedido de patente Francês n° 99/05341 de 28 de abril de 1999, ao qual pode ser feita referência para uma explicação mais detalhada.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA ESTUDO DA RESISTIVIDADE DE UMA
FORMAÇÃO GEOLÓGICA EM TORNO DE UM FURO DE POÇO EQUIPADO COM
UM REVESTIMENTO METÁLICO, compreendendo o fato de uma
5 corrente elétrica ser aplicada ao revestimento(11) para
causar uma fuga de corrente para o interior da formação num
determinado nível, o método sendo caracterizado pelo fato
de a referida corrente ser derivada por um circuito de
realimentação em contato com o revestimento de ambos os
10 lados do nível de medição(A', D'), o referido circuito de
realimentação(12) sendo organizado de tal forma que a
corrente que flui ao longo do revestimento no referido
nível tem um valor reduzido em comparação com a corrente
derivada, sendo determinada a diferença entre as quedas de
15 voltagem em seções adjacentes de revestimento situadas de
ambos os lados do nível de medição, e sendo daí deduzida a
corrente de fuga (Ifor).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1,
caracterizado pelo fato de a razão entre a corrente que
20 flui ao longo do revestimento(11) no referido nível(A',
D'), e a corrente derivada não ser superior a cerca de 10^{-2} .

3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou com a
reivindicação 2, caracterizado pelo fato de a queda de
25 voltagem (V_{AB} , V_{BC} , V_{CD}) através de pelo menos uma seção de
revestimento(A', D'), incluindo o referido nível ser

medida, a resistência (R_{AB} , R_{BC} , R_{CD}) da referida seção ser determinada, e a corrente de fuga ser daí deduzida.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de a resistência da referida seção de revestimento ser determinada a partir de dados nominais referentes ao revestimento no nível sendo considerado.

5. Método, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de a resistência da referida seção de revestimento ser determinada por um estágio de medição no qual uma corrente elétrica é aplicada ao revestimento(11) de forma a não dar origem a substancialmente nenhuma fuga para o interior da formação.

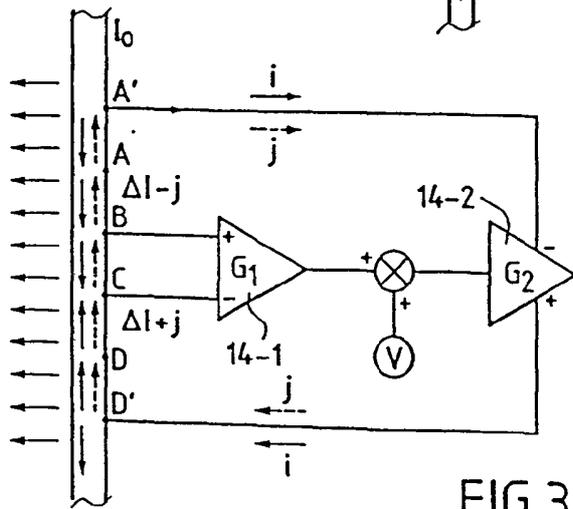
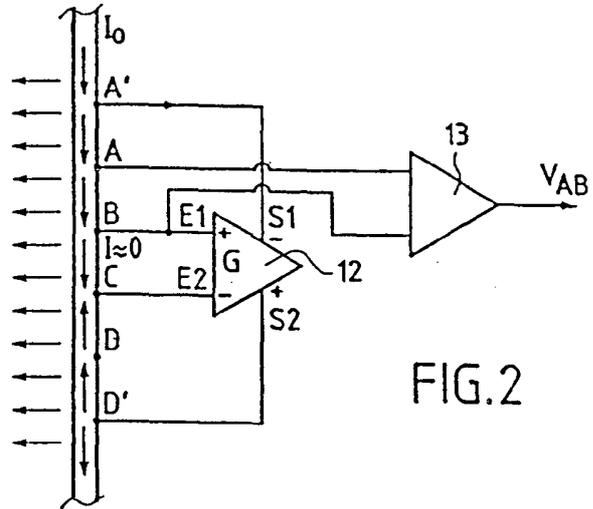
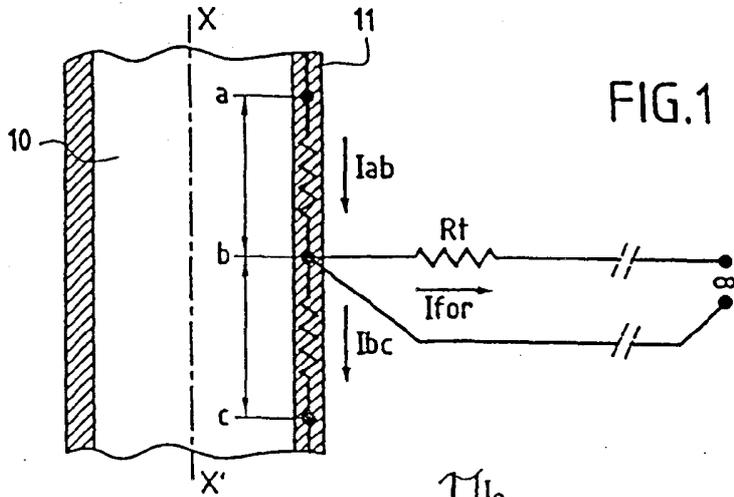
6. Método, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de a resistência da referida seção de revestimento ser determinada durante o mesmo estágio quando é medida a queda de voltagem, mediante medição numa frequência diferente.

7. APARELHO PARA ESTUDO DA RESISTIVIDADE DE UMA FORMAÇÃO GEOLÓGICA EM TORNO DE UM FURO DE POÇO EQUIPADO COM UM REVESTIMENTO METÁLICO, compreendendo dispositivos (24, In3) para aplicação de uma corrente elétrica ao revestimento para fazer a corrente vazar para o interior da formação num determinado nível, o aparelho sendo caracterizado pelo fato de compreender um circuito de realimentação (12) organizado para ficar em contato com o revestimento em pontos (A' , D') situados de ambos os lados

do referido nível e para manter a corrente fluindo ao longo do revestimento no referido nível num valor reduzido em comparação com a corrente derivada através do circuito de realimentação, e dispositivos (13) para medição da queda de
5 voltagem resultante da referida fuga.

8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de o circuito de realimentação compreender um amplificador (12) de alto ganho (G) cujas entradas (E1, E2) se encontram em contato com o
10 revestimento e definem no mesmo uma seção (BC) adjacente à referida seção de medição, e cujas saídas (S1, S2) são ligadas respectivamente aos referidos pontos de contato.

9. Aparelho, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de o circuito de realimentação (12)
15 compreender um primeiro amplificador (14-1) e um segundo amplificador (14-2), sendo que o primeiro amplificador compreende entradas em contato com o revestimento e define no mesmo uma seção adjacente (BC) de revestimento, sendo que o primeiro amplificador e o segundo amplificador são
20 eletricamente acoplados a um nodo de modo que uma fonte de voltagem aplicada ao nodo crie uma fuga para o interior da formação, a corrente resultante (j) sendo indicativa da resistência da referida seção de revestimento.



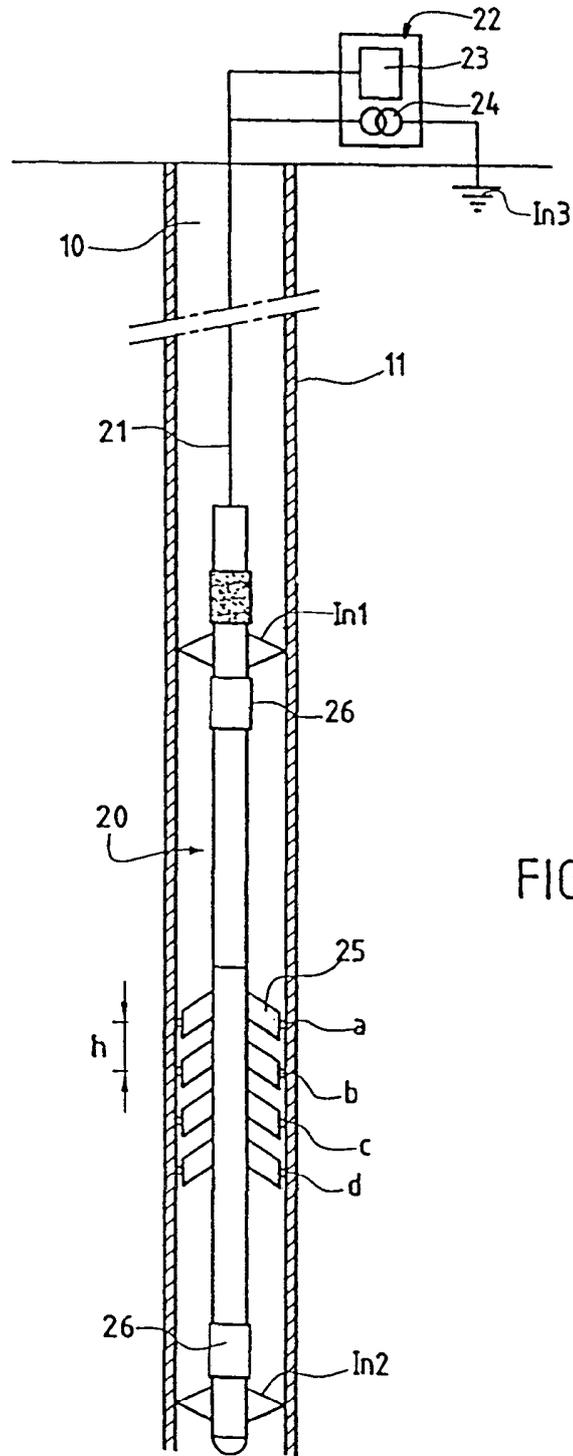


FIG. 4

RESUMO

MÉTODO E APARELHO PARA ESTUDO DE RESISTIVIDADE DE UMA
FORMAÇÃO GEOLÓGICA EM TORNO DE UM FURO DE POÇO EQUIPADO COM
UM REVESTIMENTO METÁLICO

5 A invenção refere-se a um método e um aparelho para
estudo da resistividade de uma formação geológica em torno
de um furo de poço equipado com um revestimento metálico.
Uma corrente elétrica é aplicada ao revestimento para
causar uma fuga de corrente para o interior da referida
10 formação num determinado nível, e a referida corrente é
derivada por um circuito de realimentação em contato com o
revestimento em ambos os lados do nível de medição, o
referido circuito sendo organizado de forma a assegurar que
a corrente que flui ao longo do revestimento no referido
15 nível tenha um valor reduzido em comparação com a corrente
derivada, sendo determinada a diferença entre as quedas de
voltagem nas seções adjacentes de revestimento situadas em
ambos os lados do nível de medição, e sendo daí deduzida a
corrente (Ifor) de fuga.