



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102021013401-1

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102021013401-1

(22) Data do Depósito: 07/07/2021

(43) Data da Publicação Nacional: 17/01/2023

(51) Classificação Internacional: E21B 47/00.

(52) Classificação CPC: E21B 47/006.

(54) Título: SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA

(73) Titular: PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, Pessoa Jurídica. CGC/CPF: 33000167000101. Endereço: AV. REPÚBLICA DO CHILE, N.65, CENTRO, RIO DE JANEIRO, RJ, BRASIL (BR), 20031-912, Brasileira; UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - UFES, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 32479123000143. Endereço: AV. FERNANDO FERRARI, 514 - CAMPUS UNIVERSITÁRIO, GOIABEIRAS, VITÓRIA, ES, BRASIL(BR), 29075-910, Brasileira

(72) Inventor: FABIO DE ASSIS RESSEL PEREIRA; RAFAEL DE PAULA COSMO; ANDRE LEIBSOHN MARTINS; HELGA ELISABETH PINHEIRO SCHLUTER; BRUNO BARBOSA CASTRO.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 07/07/2021, observadas as condições legais

Expedida em: 23/12/2025

Assinado digitalmente por:

Alexandre Dantas Rodrigues

Diretor de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

“SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA”

Campo da Invenção

[001] A presente invenção trata de um sistema com aplicação na área de produção de petróleo e gás, visando reproduzir em escala laboratorial a precipitação, adesão e incrustação inorgânica, em especial da calcita, em condições termodinâmicas (pressão e temperatura) próximas àquelas encontradas em poços petrolíferos (100 bar e 100°C), além de incorporar os efeitos da presença do gás carbônico.

Descrição do Estado da Técnica

[002] O fenômeno da precipitação, adesão e incrustação de calcita, voltada ao escopo da indústria de óleo e gás, é comumente abordado na literatura através de estudos da reação entre soluções de NaHCO₃ e CaCl₂ em condições de pressão e temperatura próximas à ambiente. Os poucos trabalhos que buscam representar o efeito do CO₂ em solução partem de condições subsaturadas.

[003] A presença do gás carbônico em altas pressões visa representar a condição de saturação (dissolvido) encontrada em reservatórios carbonáticos que, em função de sua depleção, o liberam na forma de gás favorecendo a alteração do equilíbrio químico, segundo a equação abaixo, com a consequente precipitação de carbonato de cálcio, de acordo com o princípio de Le-Chatelier.



[004] Uma outra característica observada é que o estudo do comportamento dinâmico dos cristais de calcita é desenvolvido por meio de técnicas intrusivas; isto é, os ensaios são realizados e as amostras retiradas são levadas a condições diversas do experimento para que possam ser analisadas em outros equipamentos, como os que utilizam das técnicas de

difração de raios laser ou espalhamento dinâmico de luz. Isso altera completamente o conteúdo real formado nas reações, afetando a quantidade, morfologia, tipo e, especialmente, eliminando os efeitos dos estudos com o gás carbônico aquoso, pois este é liberado da solução na forma de gás.

[005] Uma lacuna nos estudos é a ausência na abordagem experimental do fenômeno em elementos de completação em condições de poços petrolíferos, como em válvulas inteligentes, telas de contenção de areia *standalone* ou com propante.

[006] O sistema da invenção foi concebido em torno de um reator ou célula de pressão que, além da presença de espécies químicas inorgânicas, inclui a possibilidade da injeção de CO₂ e N₂ para pressurizar o sistema até valores próximos àqueles observados em condições encontradas em muitos poços petrolíferos (100 bar).

[007] Este sistema também permite a variação da temperatura e a avaliação do efeito da salinidade no processo de precipitação, adesão e incrustação. Um detalhe construtivo é que possui janelas de visualização que monitoram o processo de forma não intrusiva através de técnicas de fotomicroscopia. Essa estratégia permite acompanhar o comportamento dinâmico dos cristais formados no processo (crescimento e aglomeração) em condições *in situ*. De forma complementar, está acoplado a dois *core-holders*: um convencional e um telado.

[008] O documento US10138715B2 revela um processo de monitoramento de formação de incrustações inorgânicas, sendo utilizada uma pluralidade de sensores de temperatura e sensores de resistividade, registrando simultaneamente a temperatura e a resistência de uma formação de carbonato. O documento descreve um aparato experimental para medição de temperatura, resistividade e armazenamento de CO₂. Ainda, exemplifica a injeção de CO₂ puro em amostras de carbonato saturado de salmoura para interpretar as tendências sobre a relação entre CO₂/salmoura/rocha e temperatura e resistividade da rocha.

[009] Apesar das similaridades, a presente invenção utiliza uma versatilidade maior de variação de temperatura que o referido trabalho, além de realizar medições de pH por meio de um sensor. Ainda, o sistema da presente invenção possui características que visam monitorar o processo de forma não intrusiva, o que também não é revelado em US10138715B2. Vale ressaltar que a presente invenção foca no conjunto de equipamentos que compõem o sistema experimental para a avaliação do crescimento e aglomeração dos cristais inorgânicos e os fenômenos de adesão e incrustação em elementos de completação em escala laboratorial, enquanto em US10138715B2, o foco é no processo de monitoramento de incrustações em equipamentos de completação, bem como o monitoramento do sequestro de CO₂ em aquíferos salinos. Ressalta-se, ainda, que após a realização das reações químicas para a formação dos cristais de calcita, o conteúdo do reator poderá ser descarregado nos outros subsistemas da invenção, o que permitirá avaliar os efeitos do escoamento de um fluido contendo sais inorgânicos através de elementos de completação de poços de petróleo e até mesmo em meios porosos.

[0010] O documento de SHI, W.; KAN, A. T.; FAN, C.; TOMSON, M. B. (2012) "Solubility of Barite up to 250°C and 1500 bar in up to 6 m NaCl Solution", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 51, p. 3119-3128, revela um estudo de solubilidade da barita, em condições de alta temperatura, pressão e força iônica, fornecendo uma abordagem viável para avaliar a dependência de temperatura e pressão dos coeficientes viriais nas equações de Pitzer dos coeficientes de atividades iônica por meio da medição da solubilidade mineral. Além disso, o trabalho descreve um aparato para medição da formação de incrustações em temperaturas até 250°C e pressões de até 1700 bar. Apesar de o documento mencionar um aparato experimental para previsão de incrustações em condições de elevadas temperatura e pressão, não antecipa a presente invenção, uma vez que esta revela um sistema experimental focado na avaliação do crescimento e aglomeração dos cristais

inorgânicos e os fenômenos de adesão e incrustação em elementos de completação. Além disso, o sistema da presente invenção possui diferentes componentes em sua concepção, se afastando consideravelmente do referido trabalho. Ressalta-se, ainda, que a barita (BaSO_4) é um sal inorgânico cuja termodinâmica e cinética são totalmente independentes do CO_2 , assim como o sal de cozinha (NaCl), o que em nada se aproxima das dificuldades encontradas para o estudo da calcita (CaCO_3).

[0011] O documento de COSMO, R. P. (2013) “Modelagem e simulação termodinâmica da precipitação de calcita em condições de poço”, 217f, Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, revela um estudo para modelar termodinamicamente a etapa inicial da incrustação nas condições de poço, sendo esta a nucleação dos cristais a partir da solução, visando quantificar o conteúdo de calcita passível de precipitação da solução. O trabalho revela uma metodologia capaz de mensurar a massa precipitada e distinguir a origem do fator causador da precipitação de calcita. Apesar do trabalho reproduzir a precipitação, adesão e incrustação inorgânica em condições termodinâmicas àquelas encontradas em poços petrolíferos conforme a presente invenção, isso é feito por simulação e modelagem matemática, enquanto a presente invenção cria um sistema experimental de equipamentos para reprodução em escala laboratorial, onde os resultados irão subsidiar a proposição de modelos matemáticos computacionais. Sendo assim, o trabalho se afasta consideravelmente da solução técnica apresentada na presente invenção.

[0012] Dessa forma, nenhum dos documentos apresentados no Estado da Técnica revela um sistema para reprodução em escala laboratorial da precipitação, adesão e incrustação inorgânica em condições termodinâmicas aproximadas daquelas encontradas em poços petrolíferos.

[0013] A presente invenção tem como vantagens melhorar o entendimento dos fenômenos de precipitação, adesão e incrustação e, principalmente, avaliá-los em condições mais próximas àquelas encontradas em ambientes de

produção de petróleo. Os resultados irão subsidiar a proposição de modelos computacionais para que estes possam trazer uma aproximação do problema em geometrias e configurações de completação em escala real.

[0014] Desse modo, será possível representar cenários e estratégias de produção que possam contribuir da melhor forma na elaboração de estratégias não só para a intervenção, mas também para a mitigação das incrustações carbonáticas.

[0015] A diminuição das intervenções em poços durante a produção significa uma produção contínua, maior volume de óleo produzido, e redução dos custos em manutenção. Considerando que os poços mais susceptíveis a problemas com incrustações por conta da despressurização são os poços do Pré-Sal (altas vazões de produção), o benefício econômico é bastante significativo.

Descrição Resumida da Invenção

[0016] A presente invenção trata de um sistema capaz de reproduzir em escala laboratorial a precipitação, adesão e incrustação inorgânica, em especial a calcita, em condições termodinâmicas tanto abaixo como acima da ambiente (2°C e 1 bar), aproximando-se daquelas encontradas em poços petrolíferos (100 bar e 100°C), além de incorporar os efeitos da presença do gás carbônico.

[0017] O sistema é concebido em torno de um reator ou célula de pressão que, além da presença de espécies químicas como NaHCO₃, CaCl₂, CaCO₃, NaCl, inclui a possibilidade da injeção de CO₂ e N₂ para pressurizar o sistema até valores próximos àqueles observados em condições encontradas em muitos poços petrolíferos (100 bar).

Breve Descrição dos Desenhos

[0018] A presente invenção será descrita com mais detalhes a seguir, com referência às figuras em anexo que, de uma forma esquemática e não limitativa do escopo inventivo, representam exemplos de realização desta. Nos desenhos, têm-se:

- A Figura 1, a qual ilustra o fluxograma descritivo do sistema da presente invenção;

- A Figura 2, a qual ilustra um conjunto com cupom de telas premium e elemento sinterizado que permite simular o empacotamento de propante ou o acoplamento com o meio poroso, que poderão ser utilizados dentro do *core-holder* (3) da Figura 1;

- A Figura 3, a qual ilustra os corpos de prova porosos que poderão ser utilizados dentro dos *core-holders* (2) e (3) da Figura 1, os quais permitem simular o meio rochoso;

- A Figura 4, a qual ilustra um desenho esquemático da gaiola de cupons metálicos que irá operar dentro do reator pressurizado (1) da Figura 1. Nela estão representados: acoplamento magnético do motor (24), suporte superior (25), conjunto de 8 cupons (26), suporte inferior (27), agitador tipo impelidor para o borbulhamento de CO₂ (28);

- A Figura 5, a qual ilustra o acoplamento de lentes do sistema de fotomicroscopia para a investigação não invasiva dos fenômenos associados à incrustação, o qual irá operar frente às janelas de visualização do reator (1) ou do visor dinâmico (13) da Figura 1. Estão representados: lente objetiva 10x (29), *ring light* LED (30), ultrazoom 4.7x (31), adaptador zoom 3.3x (32), câmera digital de alta resolução (33);

- A Figura 6, a qual ilustra a formação de cristais de CaCO₃ em ensaio realizado em béquer, obtidas com o sistema de fotomicroscopia da Figura 5;

- A Figura 7, a qual ilustra um gráfico da validação da técnica de fotomicroscopia (não invasiva e que pode ser aplicada em condições *in situ*) frente à técnica de granulometria por difração de raios laser (invasiva e que só

pode ser aplicada em condições atmosféricas), para amostras da mesma solução de CaCO_3 preparada em béquer.

- A Figura 8, a qual ilustra um *core-holder* experimental sem a presença de gás e sem a possibilidade de operar com temperaturas maiores que a ambiente. Estão representados: depósito de água (34), bomba (35), célula de transferência – fluido 1 (sistema cilindro-pistão) (36), célula de transferência – fluido 2 (sistema cilindro-pistão) (37), transdutores de pressão (38), *core-holder* (39), amostra de rocha (meio poroso) (40), balança (41);

- A Figura 9, a qual ilustra um gráfico da evolução da pressão no *core-holder* da Figura 8 em função da precipitação de BaSO_4 ;

- A Figura 10, a qual ilustra a montagem experimental para estudo em tela à baixa pressão e à temperatura ambiente. Estão representados: bomba helicoidal de deslocamento positivo (42), acumuladores de pressão (43), acoplamento mecânico (porta-telas) (44), telas (45), transdutores de pressão (46), medidor de vazão (47), reservatório de fluido (20 litros) (48), *by-pass* (49);

- A Figura 11, a qual ilustra a incrustação carbonática em cupom de tela para um ensaio realizado no aparato da Figura 10;

- A Figura 12, a qual ilustra a curva de pressão em função da restrição causada pelo acúmulo de CaCO_3 na superfície do cupom de tela para um ensaio realizado no aparato da Figura 10.

Descrição Detalhada da Invenção

[0019] O sistema experimental da presente invenção visa reproduzir situações próximas àquelas encontradas em poços petrolíferos, não só termodinâmicas (pressão e temperatura), como também em relação aos fluidos (através das espécies químicas envolvidas), visando representar de forma mais realista os cenários de completação a serem enfrentados. O escopo principal é representar em escala laboratorial o fenômeno de despressurização com a liberação de gás carbônico, induzindo a precipitação de calcita (carbonato de

cálcio), o crescimento e aglomeração dos cristais inorgânicos, e os fenômenos de adesão e incrustação em superfícies metálicas e em meios porosos.

[0020] O sistema para avaliação da precipitação, adesão e incrustação inorgânica, objeto desta invenção, é ilustrado na Figura 1 compreendendo os seguintes componentes: reator ou célula pressurizada (1) acoplado a um *core-holder* (2) e a um *core-holder* telado (3), microscópio ótico (acessório móvel – não representado), tanque pulmão de água fria (4), aquecedor (*reboiler*) (5), resfriador (6), *booster* (aumento de pressão) (7), válvulas de segurança (8) (retenção, PSV, PRV e PCV), válvulas de controle (9), painel de controle (10), filtro de coleta de sólidos (11), impelidor com cesto de cupons (elemento interno ao reator – representado na Figura 4), linha e válvula de alívio para *vent* de gás (12), visor dinâmico (13), pipeta pressurizada (14), bomba de circulação (15), medidor de vazão de gás (16), elevador pneumático (17), tanque pulmão de água quente pressurizado com nitrogênio (18), sensores diversos (não identificados na figura), coletor de amostras (19), hidrociclone (20), funil de adição de reagentes *in process* (21), *vent* de segurança/exaustor de gases (22), sistema de água destilada (23), medidor de pH (representado na figura acoplado ao reator – não identificado).

[0021] O reator/célula pressurizada (1) é capaz de operar a pressões de até 100 bar e temperaturas entre 2 °C e 100 °C, auxiliado pelos subsistemas de resfriamento (6) com tanque pulmão de água fria (4), aquecimento (5) e *booster* de pressurização (7) com tanque pulmão de água quente pressurizado com nitrogênio (18), controlado por válvulas (9) e (12), sensores, transdutores, medidor de pH, medidor de vazão (16), painel de controle (10), com a segurança do processo garantida por válvulas de segurança (8) (retenção, PSV, PRV e PCV), pela linha de *vent* de gás (22) e pelo hidrociclone (20), e com os recursos auxiliares de operação de água destilada (23) e de elevação da tampa do reator pelo elevador pneumático (17).

[0022] Como pode ser observado no fluxograma da Figura 1, o processo se inicia pela adição de espécies químicas dissolvidas (como NaHCO_3) no reator

(1). Na sequência, inicia-se a pressurização do sistema pela injeção de CO₂ e/ou N₂. Através da pipeta previamente pressurizada (14), a segunda solução (CaCl₂) é introduzida no sistema. Uma vez o sistema homogeneizado, ajusta-se a temperatura pelo sistema de aquecimento (5). Atingidas as condições termodinâmicas desejadas, fazem-se medições do pH, visando monitorar o processo durante a despressurização; que ocorre pela abertura da válvula de alívio (12). Concomitantemente, monitora-se o comportamento da precipitação dos cristais de calcita através do microscópio da Figura 5 posicionado na janela de visualização.

[0023] O reator (1) tem opção de conexão com equipamentos auxiliares (*core-holders* (2 e 3)), nos quais a despressurização ocorrerá na passagem por um elemento de completação. Esse elemento pode ser um cupom de tela (Figura 2), representando uma tela de contenção (*screen*), ou um meio poroso (Figura 3), representando um *gravel-pack*, ou até mesmo uma região de *near well*. Nesse tipo de experimento, pode-se avaliar o efeito da precipitação/incrustação na perda de carga associada ao escoamento no elemento de completação. O sistema em questão ainda permite a combinação dos dois sistemas, resultando em um arranjo cupom de tela e meio poroso simultaneamente. Destaca-se que o funcionamento desses módulos necessita de um sistema de controle de pressão e temperatura independentes do sistema do reator.

[0024] Outro equipamento auxiliar do reator (1) é o visor dinâmico (13). O conteúdo do reator poderá ser descarregado passando pelo visor, onde as partículas poderão ser visualizadas em fluxo, deslocando-se o microscópio da Figura 5 para as janelas de visualização do visor dinâmico. Além disso, o visor dinâmico (13) é dotado de válvulas de bloqueio, o que permite confinar uma amostra da solução em seu interior; isto é, permite armazenar uma alíquota do conteúdo do reator (1) na pressão de ensaio, sendo possível desacoplar o visor do conjunto e transportá-lo para análise em outro equipamento fora do laboratório.

[0025] O sistema de fotomicroscopia ótica é capaz de capturar partículas de diâmetro equivalente de 2,0 micrometros, à pressão de 100 bar diretamente dentro do reator (1) ou do visor dinâmico (13), admitindo a incorporação de recursos que capturem partículas de diâmetro equivalente de 0,5 micrometros para pressões menores.

[0026] O filtro de coleta de sólidos (11) associado à bomba de recirculação (15) são capazes de remover as partículas sólidas da solução, permitindo que ensaios de supersaturação sejam realizados.

[0027] O sistema de mangotes para seleção do tipo de equipamento auxiliar a ser utilizado permite, ainda, o acoplamento de qualquer outro equipamento que venha a ser desenvolvido e que tenha a finalidade de ser testado sob a presença de um fluido pressurizado, aquecido, contendo material precipitado e na presença de gases. Como, por exemplo, o protótipo de uma válvula inteligente.

[0028] Com o sistema operando com o cesto de cupons metálicos, conforme mostrado na Figura 4, é possível avaliar a deposição de CaCO_3 em diferentes superfícies metálicas quando submetidas ao mesmo processo de depressurização. Dessa forma, pode-se avaliar não só o efeito do material, mas também o tipo de acabamento (polido, brunido, retificado), ou até mesmo superfícies que possuam uma camada de revestimento polimérico. Ou seja, a gaiola de cupons instalada dentro do reator (1) é capaz de avaliar a incrustação dinâmica em diferentes materiais metálicos ou não, com diferentes acabamentos e com diferentes tipos de revestimento.

[0029] O acoplamento do reator (1) pressurizado a dois *core-holders*, sendo o *core-holder* (2) e o *core-holder*-telado (3) permitirá avaliar o fenômeno de incrustação em sistemas que representem o reservatório (meio poroso), a região de acoplamento poço-reservatório, ou partes constitutivas de elementos de completação (telas e *gravel-pack*).

[0030] Com o *core-holder* convencional (2), é possível investigar o fenômeno da precipitação inorgânica em corpos de prova porosos, que visam

representar não só um sistema de contenção de areia do tipo *gravel-pack*, mas também uma condição *near-well*. O segundo *core-holder* (3) é projetado para suportar cupons de tela que representam sistemas de contenção de areia do tipo telas (*screens*), como por exemplo, *wire-wrapped* e *premium*, permitindo, ainda, configurações com tela e meio poroso, ou ainda com meio poroso, tela e meio poroso, o que possibilita avaliar a interface entre meio poroso e tela, e ainda entre tela e material propante do *gravel-pack*.

[0031] O sistema tem um viés multipropósito, permitindo estender o estudo a sistemas correlatos, como a incrustação inorgânica em torno do sulfato de bário, e da incrustação orgânica advinda de hidratos de metano ou de naftenatos de cálcio e sódio (sabões orgânicos que são fortemente dependentes da termodinâmica do CO₂, tal qual o carbonato de cálcio).

[0032] Outro aspecto é a versatilidade do sistema, que também permite a variação da temperatura (até 100°C) e a inserção de outras espécies químicas, visando avaliar o efeito da salinidade nos processos de precipitação, adesão e incrustação.

[0033] Vale destacar que o sistema da presente invenção possui janelas de visualização que visam monitorar o processo de forma não intrusiva através de técnicas de fotomicroscopia. Essa estratégia permite acompanhar o comportamento dinâmico dos cristais formados no processo (crescimento e aglomeração) em condições *in-situ*. A alteração das condições termodinâmicas empregadas com técnicas intrusivas tem potencial de alterar as variáveis investigadas.

[0034] Foram realizados alguns testes experimentais para avaliação dos fenômenos envolvidos, visando auxiliar no projeto e no dimensionamento do sistema da presente invenção.

[0035] Em condições laboratoriais (temperatura e pressão ambiente) foi estudada a técnica de monitoramento do comportamento dinâmico dos cristais de calcita. O objetivo principal foi a validação da técnica de microscopia frente à consagrada técnica de granulometria por difração de raios laser.

[0036] O resultado obtido pela análise de imagens de microscópio (representado na Figura 5) conforme mostrado na Figura 6, em condição não intrusiva, apresentou boa concordância, conforme representado na Figura 7.

[0037] Em relação à precipitação em elementos porosos (*gravel-pack*) foram conduzidos testes experimentais preliminares em um aparato para investigar as condições experimentais para a precipitação em meios porosos pressurizados (Figura 8).

[0038] Através da formação de cristais de BaSO_4 no sistema, foi possível avaliar o crescimento da pressão ao longo do tempo, conforme ilustrado qualitativamente na Figura 9.

[0039] De forma análoga, para avaliação da incrustação em cupons de telas, foram realizados experimentos em condições laboratoriais de pressão e temperatura (Figura 10).

[0040] A alteração da curva de pressão em função da restrição causada pelo acúmulo de CaCO_3 na superfície do cupom de tela (Figura 11) pode ser observada na Figura 12.

[0041] No sistema da presente invenção é prevista uma avaliação do potencial de incrustação em cupons de tela; no entanto; em uma condição de vazão mais reduzida, abaixo da velocidade de erosão dos sistemas de contenção de areia.

[0042] Deve ser notado que, apesar de a presente invenção ter sido descrita com relação aos desenhos em anexo, esta poderá sofrer modificações e adaptações pelos técnicos versados no assunto, dependendo da situação específica, mas desde que dentro do escopo inventivo aqui definido.

Reivindicações

1. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, caracterizado por compreender um reator/célula pressurizada (1) acoplado a um *core-holder* (2) e um *core-holder* telado (3), um microscópio ótico, tanque pulmão de água fria (4), aquecedor (5), resfriador (6), *booster* (7), válvulas de segurança (8), válvulas de controle (9), painel de controle (10), filtro de coleta de sólidos (11), impelidor com cesto de cupons, sistema de vent/alívio de gases (12), visor dinâmico (13), pipeta pressurizada (14), bomba de circulação (15), medidor de vazão de gás (16), elevador pneumático (17), tanque pulmão pressurizado com nitrogênio (18), sensores diversos, coletor de amostras (19), hidrociclone (20), funil de adição de reagentes *in process* (21), vent de segurança/exaustor de gases (22), sistema de água destilada (23), e medidor de pH (acoplado ao reator).

2. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo reator/célula pressurizada (1) ser capaz de operar a pressões de até 100 bar e temperaturas entre 2 °C e 100 °C, auxiliado pelos subsistemas de resfriamento (6) com tanque pulmão de água fria (4), aquecimento (5) e *booster* de pressurização (7) com tanque pulmão de água quente pressurizado com nitrogênio (18), controlado por válvulas (9) e (12), sensores, transdutores, medidor de pH, medidor de vazão (16), painel de controle (10), com a segurança do processo garantida por válvulas de segurança (8) (retenção, PSV, PRV e PCV), pela linha de vent de gás (22) e pelo hidrociclone (20), e com os recursos auxiliares de operação de água destilada (23) e de elevação da tampa do reator pelo elevador pneumático (17).

3. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo *core-holder* (2) permitir investigar o fenômeno da precipitação inorgânica em corpos de prova porosos, que visam representar

não só um sistema de contenção de areia do tipo *gravel-pack*, mas também uma condição *near-well*.

4. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo *core-holder* telado (3) ser projetado para suportar cupons de tela que representam sistemas de contenção de areia do tipo telas (*screens*), como por exemplo, *wire-wrapped* e *premium*.

5. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo sistema de fotomicroscopia ótica ser capaz de capturar partículas de diâmetro equivalente de 2,0 micrometros, à pressão de 100 bar diretamente dentro do reator (1) ou do visor dinâmico (13), admitindo a incorporação de recursos que capturem partículas de diâmetro equivalente de 0,5 micrometros para pressões menores.

6. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo filtro de coleta de sólidos (11) associado à bomba de recirculação (15) serem capazes de remover as partículas sólidas da solução, permitindo que ensaios de supersaturação sejam realizados.

7. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo da gaiola de cupons metálicos operar dentro do reator pressurizado (1) compreendendo: acoplamento magnético do motor (24), suporte superior (25), conjunto de 8 cupons (26), suporte inferior (27), e agitador tipo impelidor para o borbulhamento de CO₂ (28).

8. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pela gaiola de cupons instalada dentro do reator (1) ser capaz de avaliar a incrustação dinâmica em diferentes materiais metálicos ou não, com diferentes acabamentos e com diferentes tipos de revestimento.

9. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo visor dinâmico (13) poder ser utilizado para visualizar partículas em fluxo, deslocando-se o microscópio para as suas janelas de visualização.

10. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo visor dinâmico (13) ser dotado de válvulas de bloqueio, sendo possível armazenar uma alíquota do conteúdo do reator (1) na pressão de ensaio, desacoplar o visor do conjunto, e transportá-lo para análise em outro equipamento fora do laboratório.

11. SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, ADESÃO E INCRUSTAÇÃO INORGÂNICA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela pipeta pressurizada (14) ser capaz de injetar reagentes durante a realização dos ensaios com o reator (1) já pressurizado e aquecido.

Figura 1

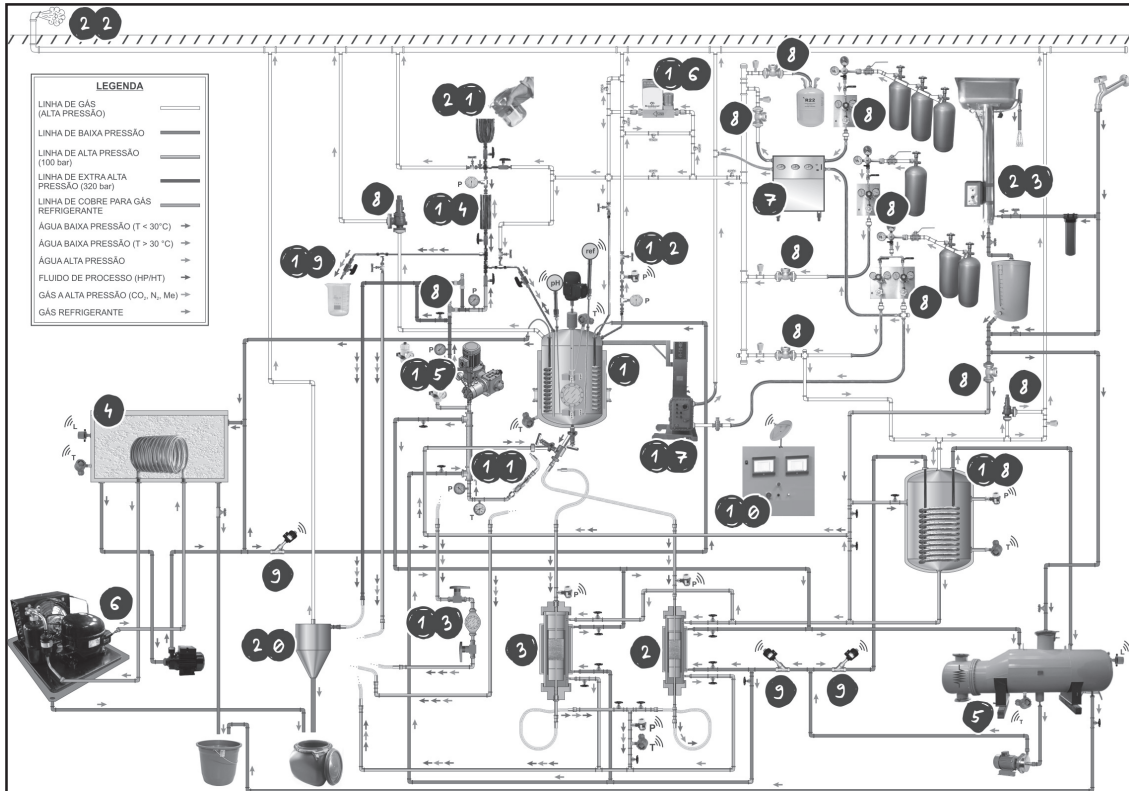


Figura 2

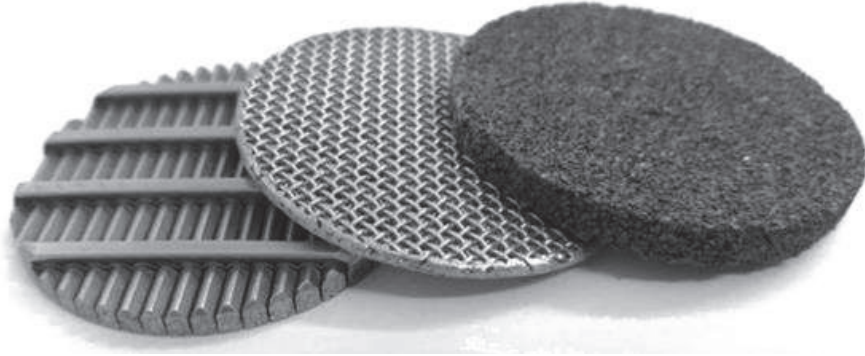


Figura 3

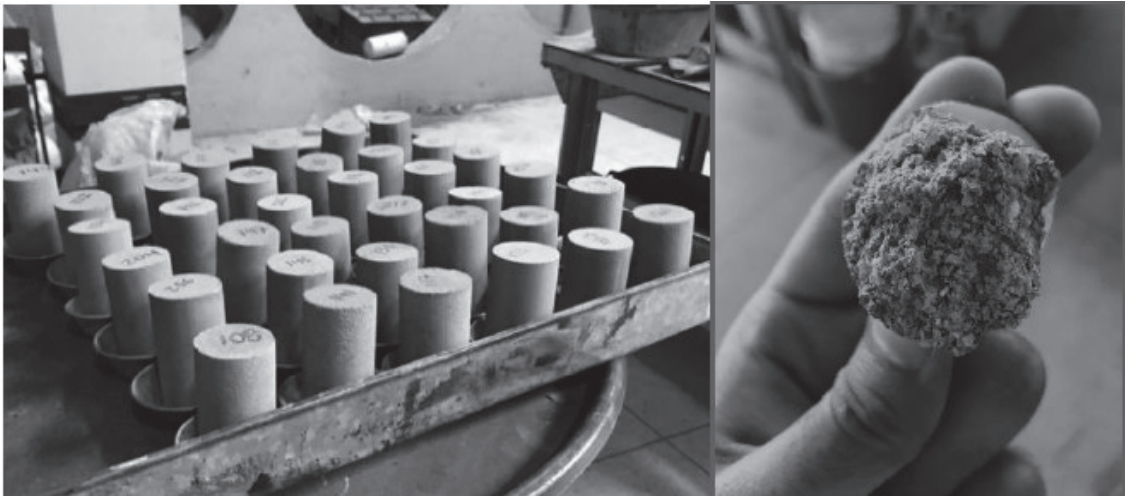


Figura 4

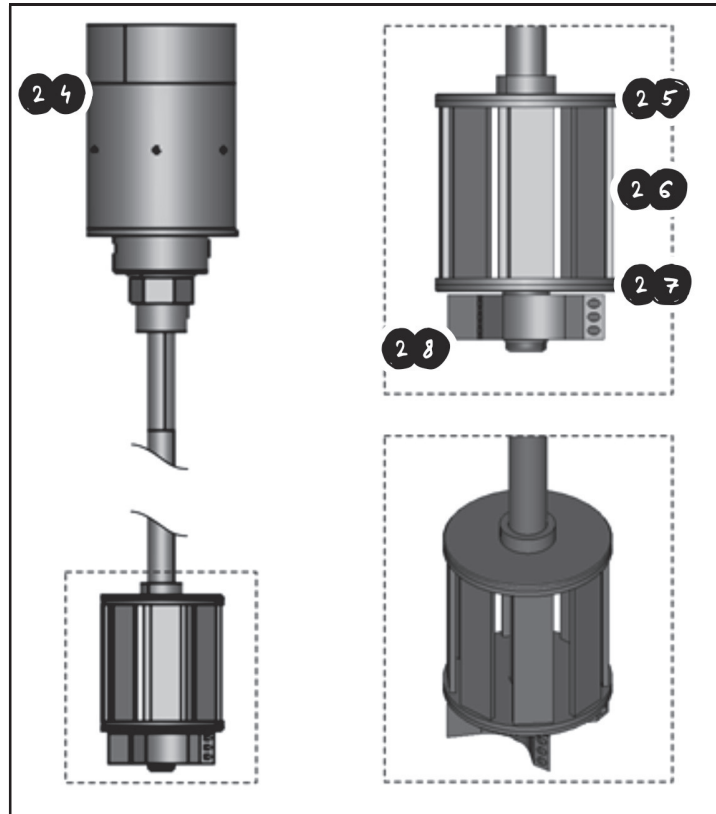


Figura 5

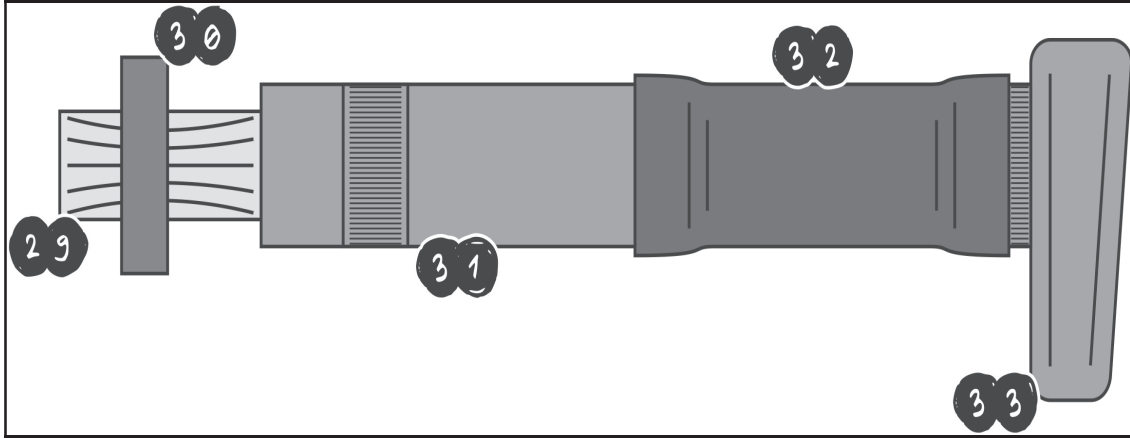


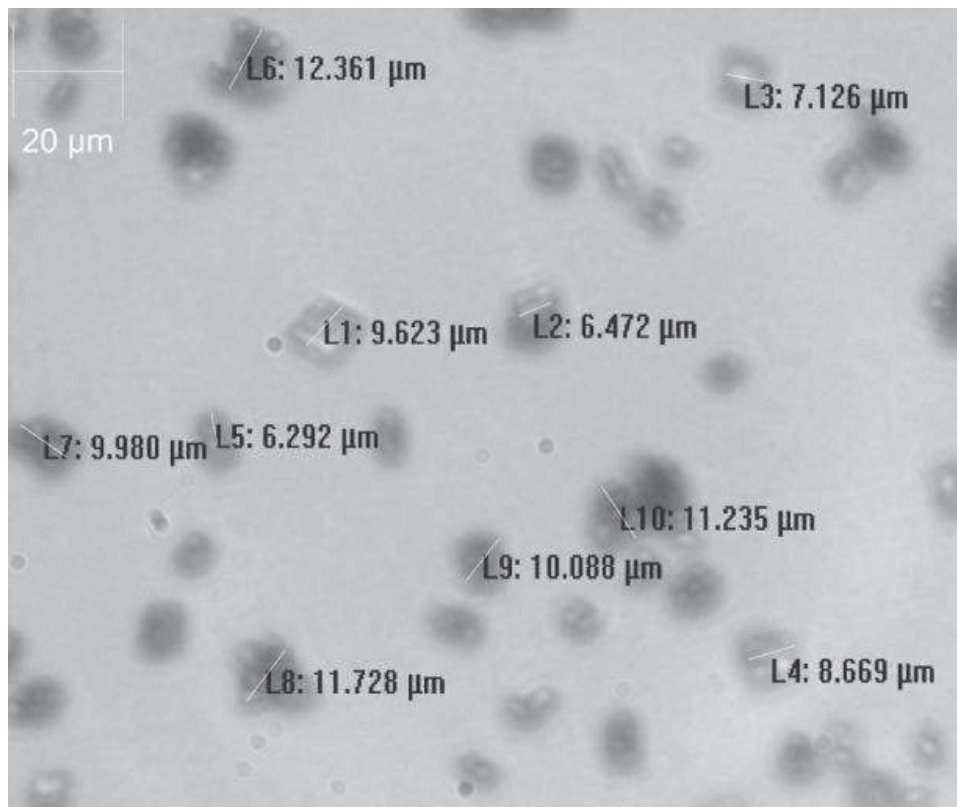
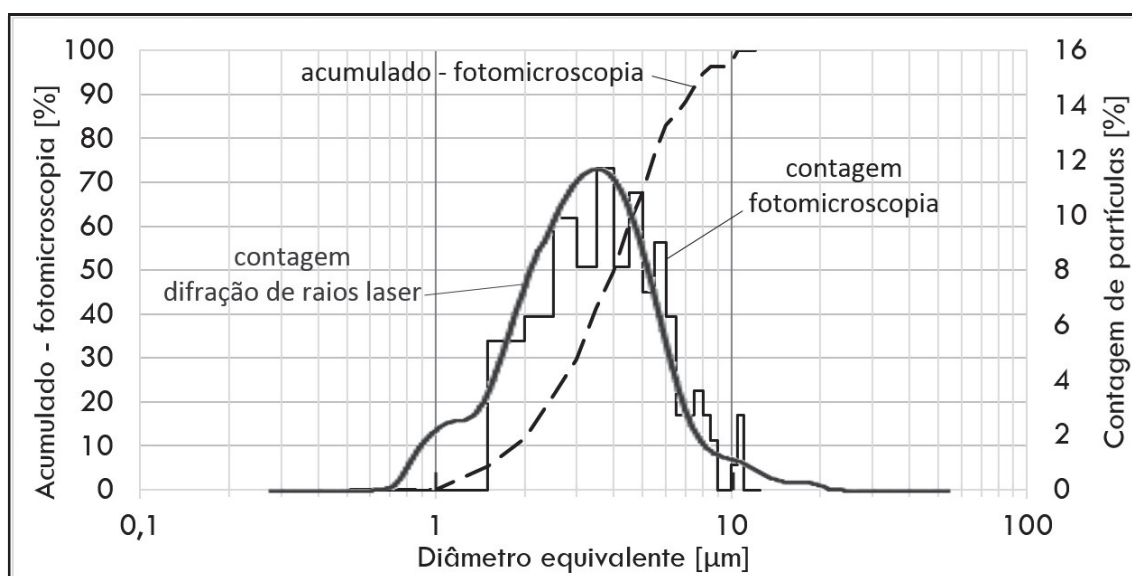
Figura 6**Figura 7**

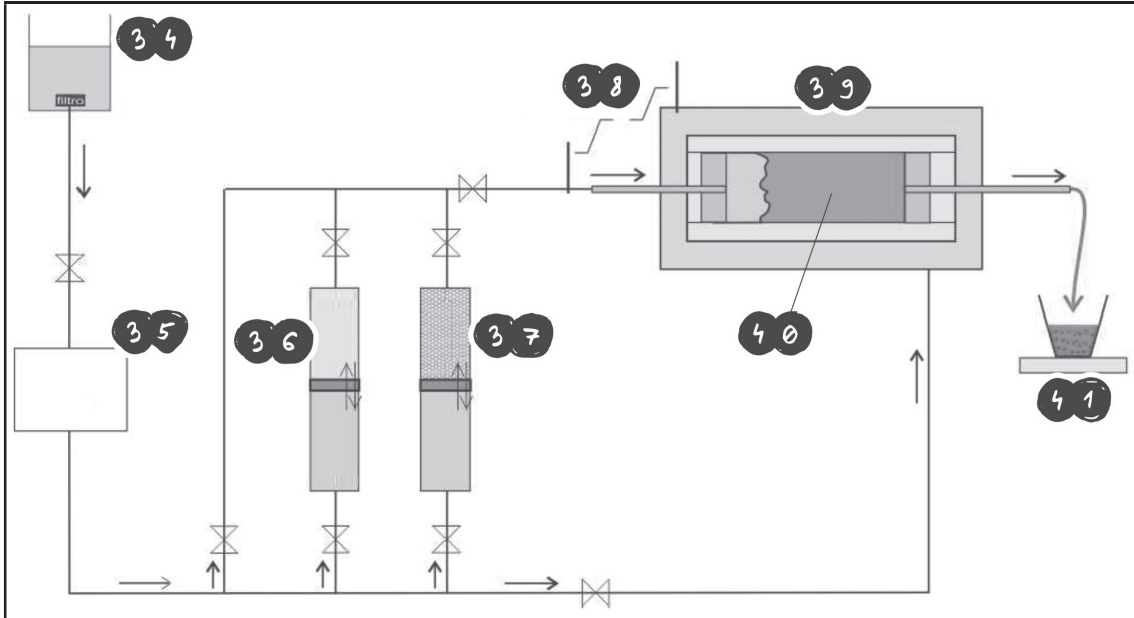
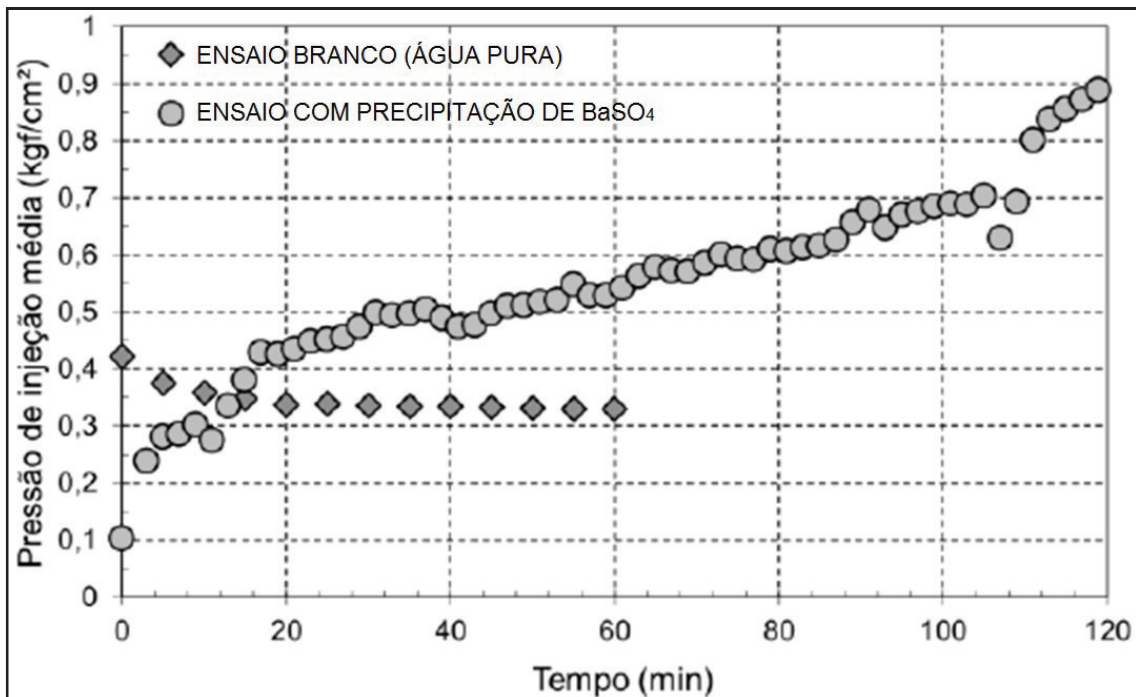
Figura 8**Figura 9**

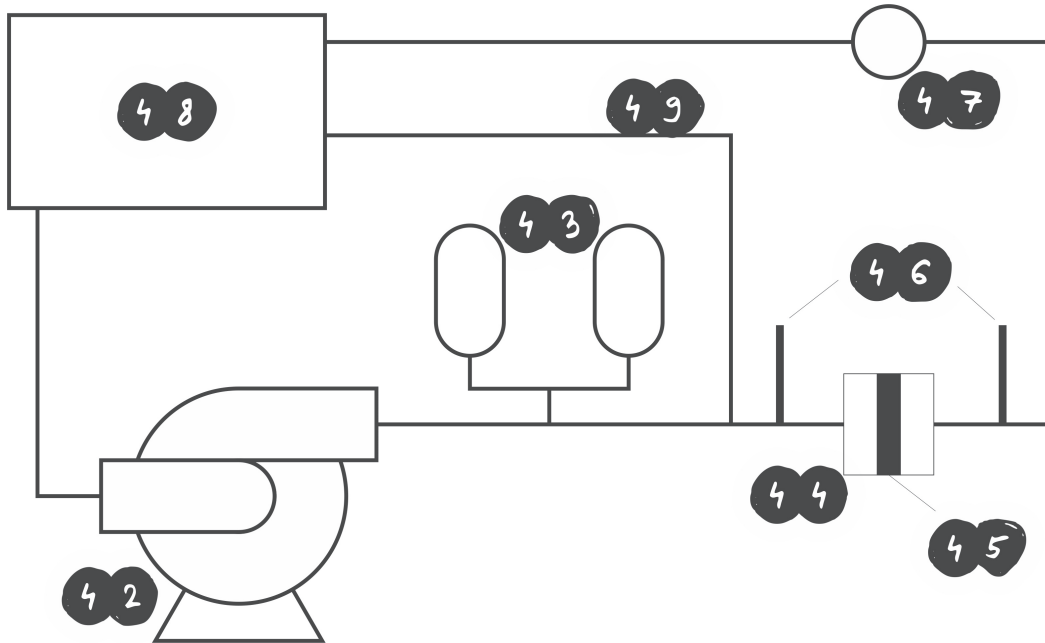
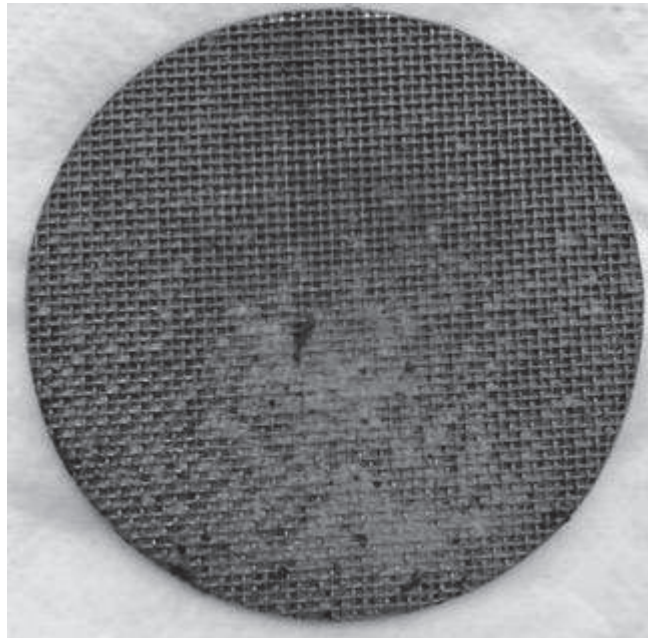
Figura 10**Figura 11**

Figura 12