



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102013026395-8

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 102013026395-8

(22) Data do Depósito: 14/10/2013

(43) Data da Publicação Nacional: 04/08/2015

(51) Classificação Internacional: C02F 1/32; C02F 3/32.

(54) Título: FOTOBIOREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. CGC/CPF: 75095679000149. Endereço: Rua João Negrão, 280 - 2º andar, Curitiba, PR, BRASIL(BR), 80010-200

(72) Inventor: JOSÉ VIRIATO COELHO VARGAS; BRUNO MIYAWAKI; ANDRÉ BELLIN MARIANO; DIEGO DE OLIVEIRA CORRÊA; BEATRIZ SANTOS; ANDERSON CARDOSO SAKUNA; NELSON FERNANDO HERCULANO SELESU; PEDRO HENRIQUE ROCHA PEIXOTO; DÉBORA ANDREATTA DA SILVA; DHYOGO MILÉO TAHER; EMERSON DILAY.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 14/10/2013, observadas as condições legais

Expedida em: 20/07/2021

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

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

FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES

[001].A presente invenção refere-se a um fotobiorreator tubular modular para tratamento de efluentes líquidos e emissões poluentes através do cultivo de microalgas e/ou cianobactérias em modo batelada, semi-contínuo ou contínuo. O sistema é composto por uma entrada inferior de ar/gás com um controlador de vazão, uma válvula de retenção, uma membrana difusora de gás, uma coluna ascendente de gaseificação, e sendo modular, o sistema permite variações nas dimensões de altura, comprimento e colunas de circulação. O produto consiste num sistema para tratamento de resíduos de origem agroindustrial ou urbana e gases poluentes através do cultivo de microalgas e/ou cianobactérias, ou seja, através da biorremediação de contaminantes ambientais por um grupo de microrganismos capazes de realizar tal processo. Em paralelo, ao final do processo de tratamento desses poluentes, o sistema produz uma biomassa que pode ser utilizada para fins energéticos e comerciais. Para realizar essas operações, o sistema possui um formato modular que possibilita a produção de microalgas em diversos ambientes, tal qual a possibilidade de instalação e de acordo com o espaço disponível. O sistema possui uma válvula de entrada inferior de gás/ar que após entrar no sistema é difundido ao passar por uma membrana porosa, criando assim microbolhas na coluna de transporte ascendente que facilitam a troca gasosa bem como a purificação e mitigação dos gases. De acordo com o formato do fotobiorreator, o mesmo descarta a utilização de bombas de circulação o que o torna menos custoso energeticamente e de fácil manutenção. Desta maneira, o fotobiorreator realiza o tratamento de passivos ambientais concomitantemente à possibilidade de geração de energia

proveniente da biomassa final do processo e produção de produtos de alto valor agregado.

[002].A demanda energética nos dias atuais aumentou exponencialmente e o desenvolvimento de combustíveis alternativos e renováveis consiste em uma importante tarefa. O desenvolvimento requer que as matrizes fornecedoras de energia sejam cada vez mais eficientes e abundantes. Uma alternativa promissora consiste na utilização de microalgas como fonte de biodiesel que poderia atender a demanda de combustível para geração de energia e outros fins específicos. O cultivo de microalgas para biocombustíveis apresenta-se hoje como uma tecnologia cara sem capacidade de competir com fontes tradicionais de óleo como, por exemplo, as oleaginosas. Desta forma, aprimorar os processos envolvidos na produção de biomassa de microalgas de forma viável é um importante passo para se atingir a autonomia energética independente do petróleo. Um dos principais desafios nesta tecnologia é o aprimoramento dos processos de cultivos e também o custo dos processos para produção da biomassa. Desta forma, a presente invenção tem como objetivo possibilitar a produção de biomassa de microalgas para produção de bioenergia de forma sustentável utilizando poluentes como nutrientes para as microalgas.

[003].Pensando sustentavelmente, os resíduos originários da agroindústria revelam-se como uma alternativa para o barateamento e simplificação dos meios de cultivo das microalgas. O crescente desenvolvimento mundial promove o aumento de renda em países como Brasil, China e Índia, aumentando invariavelmente a demanda pelo fornecimento de proteína animal. Assim, países com grande potencial para a agricultura como o Brasil vêm se destacando no fornecimento de carne para exportação. A forma mais eficiente para a criação de animais consiste no confinamento. Entretanto, a alta

densidade dos animais nas propriedades promove a geração de grandes quantidades de resíduos. O destino inadequado deste material apresenta-se como um grande desafio para o meio ambiente e, desta forma, compromete a manutenção e ampliação das unidades produtoras de animais. Esses resíduos animais são ricos em carbono, nitrogênio e fósforo. De uma forma embrionária, parte do material é processado em biodigestores com geração de biogás e os efluentes utilizados diretamente com biofertilizante. Entretanto, os resíduos são em sua maior parte dispostos de forma incorreta, colocando em perigo a integridade ambiental e até mesmo a saúde dos seres vivos. Desta forma, o uso destes resíduos na formulação de meios de cultivo para produção de microalgas apresenta um destino para um material que hoje apresenta problemas ambientais e agregaria valor à cadeia produtiva de proteína animal.

[004]. Apesar de existirem na literatura diversos trabalhos que produzem microalgas a partir de resíduos, a maioria dos estudos concentra-se na realização de experimentos apenas em escala laboratorial. Poucos trabalhos são realizados em grande escala de produção ou se propõem a apresentarem soluções para os resíduos produzidos pela agroindústria brasileira. Outro fato relevante consiste no fato de que os tratamentos de resíduos em larga escala utilizam apenas cultivos abertos que apresentam baixa produtividade e necessitam do uso de grandes áreas inundadas para a instalação de tanques ou lagoas. Além disso, existe uma demanda para produção de biodiesel de microalgas em escala piloto. Com o objetivo de preencher essa lacuna, a presente invenção possibilita o cultivo de microalgas, através do uso de meios de cultivo alternativos baseado em resíduos agroindustriais (suinocultura, bovinocultura, caprinocultura e avicultura) e esgoto sanitário, como alternativa aos meios de cultivos sintéticos em

fotobiorreatores tubulares modulares, para obtenção de matéria-prima de alto valor agregado.

[005].O processo de cultivo de microalgas envolve também a fixação de CO₂ durante o processo de fotossíntese. Para a produção de 1 kg de biomassa seca de microalgas são necessários 1,83 kg de CO₂. Assim sendo, os cultivos com alta produtividade são dependentes do fornecimento de gás carbônico que, normalmente, provém de fontes fósseis. As quantidades de CO₂ no ar atmosférico não são suficientes para produção de alta densidade celular. Consiste de grande importância ressaltar o fato de que o CO₂ comercializado para esse fim é de origem fóssil. Além de impor custos adicionais ao empreendimento, grande parte do CO₂ injetado nesses cultivos é perdido devido a baixa eficiência no aproveitamento do gás decorrente da baixa altura de coluna d'água dos sistemas abertos (10 - 25 cm). Deste modo, estabelece-se uma dependência ao CO₂ de origem fóssil nos processos de produção de microalgas altamente eficientes, reduzindo o caráter sustentável desta tecnologia. Portanto, o estabelecimento de sistemas de cultivos de microalgas próximos a indústrias emissoras de CO₂ apresenta-se como uma solução para diminuição do custo da compra do gás, bem como, para a redução de emissão de gases promotores do efeito estufa. Uma fonte de dióxido de carbono disponível é o biogás gerado no tratamento anaeróbio de matéria orgânica. Normalmente, o biogás possui uma concentração de 30 a 70% de CO₂, o que o torna uma fonte promissora de CO₂ para cultivos de microalgas.

[006].Tradicionalmente, a produção comercial de microalgas é limitada a poucas espécies cultivadas em tanques abertos através de um ambiente seletivo, localizados ao ar livre e que dependem diretamente da luz solar. Entretanto, as microalgas não podem ser mantidas por muito tempo em sistemas abertos, devido ao risco de contaminação por

fungos, bactérias e protozoários, e também a concorrência com outras microalgas. Nesse contexto, os fotobiorreatores são sistemas fechados projetados para superar as limitações dos sistemas abertos. Diversas vantagens podem ser citadas na utilização desses sistemas como, perdas reduzidas de água por evaporação; maior produtividade e maior facilidade de colheita da biomassa; maior controle das trocas gasosas; construção em espaços reduzidos; períodos mais curtos de produção; maior rendimento por unidade de área e volume; riscos reduzidos de contaminação com a possibilidade de obter biomassa com alto grau de pureza e possibilidade de cultivar uma maior variedade de espécies de algas.

[007].Fotobiorreatores tubulares são atraentes para a produção em larga escala de microalgas devido à baixa contaminação. Esses sistemas consistem em uma série de tubos transparentes normalmente feitos de plástico ou vidro. A circulação das microalgas pode ser realizada por bombeamento ou através de transporte aéreo. O uso de um dispositivo de transporte aéreo tipo "airlift" oferece algumas vantagens: permite maior eficiência nas trocas gasosas de CO_2 e O_2 entre o meio líquido e o gás de arejamento; os danos às células quando comparado ao bombeamento mecânico são minimizados; e a circulação é conseguida apenas pela aeração diminuindo o custo energético do sistema.

[008].Fotobiorreatores "airlifts" abrangem uma ampla gama de dispositivos que se caracterizam pela circulação cíclica do fluido, definida através de canais construídos especificamente para esta finalidade. Nestes reatores o conteúdo é pneumaticamente agitado pelo fluxo de ar ou por outros gases, nestes casos, os reatores podem receber o nome de "gaslift". Além da agitação, a corrente de gás tem a importante função de facilitar o intercâmbio de material entre a fase

gasosa e o meio. Os padrões de circulação de fluídos são determinados pela concepção do reator, que tem um canal de fluxo ascendente e um canal separado para o fluxo descendente. Os dois canais são ligados na parte inferior e na parte superior formando um circuito fechado.

[009].Em geral, os fotobiorreatores “airlifts” apresentam melhor produção de biomassa de microalgas em comparação a outros fotobiorreatores verticais, contudo a principal dificuldade nesses sistemas está associada à resistência dos materiais transparentes utilizados para construir as colunas e a dificuldade em se aumentar a escala. Desta forma, os fotobiorreatores híbridos se apresentam como uma alternativa frente às dificuldades dos sistemas atualmente empregados para produção de microalgas. Tais sistemas permitem a união da tecnologia de circulação aérea dos fotobiorreatores “airlift” com a concepção modular de fotobiorreatores verticais que apresentam ótima exposição à luz e permitem o aumento da escala.

[010].A projeção de fotobiorreatores está evoluindo rapidamente para atender a necessidade de produção industrial. Um dos principais desafios de pesquisa residi na concepção de um sistema fechado eficaz em produtividade de biomassa que acabará superando o custo de investimento inicial, tornando-se rentável.

[011].Várias patentes já foram depositadas sobre sistemas para produção de microalgas.

[012].O documento PI1102195-0 descreve um fotobiorreator tubular giratório com o objetivo de produzir microalgas como inóculo e como fonte de biomassa. O sistema é constituído por um dispositivo multitubular acoplado em uma base circular onde as microalgas crescem em ambiente fechado. Tal dispositivo possui um sistema de rotação contínua dos tubos, para o processo de homogeneização ocorrer é necessária a utilização de energia aumentando os custos de

manutenção e operação do equipamento. No sistema proposto a circulação e homogeneização do cultivo são realizadas pelos gases que são borbulhados diretamente no meio de cultivo contendo os microrganismos.

[013].O fundamento da proposta do documento PI000925-6 A2, descreve um fotobiorreator para absorção de CO₂. Este sistema se refere a um fotobiorreator tipo tanque, que utiliza luz artificial inserida dentro da cultura. Devido a necessidade de energia artificial para iluminação, se torna inviável a utilização deste sistema de forma sustentável. Além disso, esta patente tem como objetivo principal a fixação de gases do efeito estufa por cultivo de microalgas em tanques, formato que torna menos eficiente a troca gasosa dentro do sistema devido a pequena coluna de troca gasosa.

[014].O documento PI1003908-2 A2, descreve um kit composto de um fotobiorreator e um sistema complementar de recuperação de biomassa. A principal deficiência deste sistema é a definição das disposições do fotobiorreator, que preferencialmente são quadriláteras. Tal formato tem a desvantagem de possuir áreas internas vazias que podem comprometer a produtividade do sistema.

[015].O documento WO2009/069967 descreve um fotobiorreator para culturas em larga escala especificamente de microalgas. O sistema é dependente de luz artificial aumentando os custos e a energia utilizada no processo.

[016].No pedido de patente WO2008/079724, é descrito um fotobiorreator para culturas de microalgas. Este projeto descreve um sistema que necessita um banho térmico em água com temperatura pré-determinada, que dificulta manobras de operação. Além disso, tal sistema é dependente exclusivamente da luz solar e utiliza bombas para circulação do cultivo podendo ser estressante para as células cultivadas.

[017].Os documentos de pedidos de patentes brasileiros PI0702736-2 e PI0701842-8 descrevem fotobiorreatores tubulares que podem ser ligados em série para fixação de gases poluentes utilizando microalgas. Neste projeto são propostos reatores tubulares montados em série em colunas de até 50 metros; isso dificultaria manobras de limpeza, operação e reparos dos equipamentos.

[018].O documento BR 10 2012 011807 6 A2, descreve um sistema de cultivo de microalgas que entrega um maior controle do cultivo devido à distribuição e forma de seus componentes e a possibilidade de incorporar gases ao meio, resultando em um maior rendimento do cultivo e menor consumo de energia por unidade de volume. A invenção compreende uma piscina de manto circular, peças de PVC e uma tampa removível.

[019].O documento US 2012 088296-A1, descreve um sistema de fotobiorreator tubular para cultivo de microalgas. O fotobiorreator consiste num sistema de vários ramais verticais interligados. A circulação do sistema se dá através da utilização de bombas centrífugas. Esta característica aumenta o cisalhamento das células comprometendo o crescimento celular, diminuindo o rendimento final de biomassa produzida.

[020].Contudo, a presente invenção tem como características soluções para os problemas apontados, tais como prover um equipamento de baixo custo, operacionalmente simples e que ofereça a possibilidade do uso de luz natural e artificial. Além disso, são propostos formatos modulares que possibilitam a construção do sistema com melhor aproveitamento do espaço disponível e em áreas de difícil construção como paredes de edifícios, residências e indústrias.

[021].Todas as patentes encontradas apresentam particularidades que as diferenciam conceitualmente do sistema proposto nesta patente. Adicionalmente, nenhuma das patentes encontradas relacionadas a produção de microalgas contempla um sistema modular que integre o tratamento de resíduos agroindustriais, gases poluentes e a produção de biomassa de microalgas com baixo custo de implementação.

[022].Portanto, a presente invenção tem como objetivo a geração de biomassa de microalgas, tratamento de resíduos e tratamento de gases simultaneamente, utilizando luz solar e/ou artificial evitando os inconvenientes dos sistemas descritos anteriormente e ampliando o potencial para a utilização em larga escala.

[023].Para isso é apresentado um fotobiorreator tubular modularo, para geração de biomassa de microalgas e com potencial para uso em ambientes externos de forma independente.

[024].Ao contemplar a produção de microalgas, o tratamento de resíduos e gases simultaneamente, o sistema pode atender situações onde existam as três demandas simultâneas, como é o caso de localidades que apresentem concentrações de produção de animais. A concepção modular permite a utilização de vários ramais, cujo somatório atenda a demanda de gases e o volume de resíduo a ser tratado. A utilização da circulação por transporte aéreo permite alta eficiência de troca gasosa contribuindo para o crescimento das microalgas e para mitigação de gases do efeito estufa.

Sumário da invenção

[025].A presente invenção está relacionada a um fotobiorreator tubular modular destinado ao tratamento de passivos ambientais concomitantemente a produção de biomassa de microalgas e/ou

cianobactérias. O processo se dá através da utilização de resíduos de diferentes origens, tais como da produção agroindustrial de suínos, bovinos, caprinos e aves, e também resíduos urbanos e rurais como por exemplo, esgoto sanitário, como fonte de nutrientes para os microrganismos. Integrado a este processo, a presente invenção contempla o tratamento de gases poluentes como dióxido de carbono e/ou gases do efeito estufa provenientes da combustão de carvão mineral e vegetal, petróleo, biogás e processos industriais. A cultura de microrganismos cresce protegida do ambiente externo, em tubos transparentes feitos de vidro, acrílico, PVC, construídos de forma modular de acordo com a disponibilidade de espaço, demanda de tratamento dos poluentes e necessidade de biomassa de microalgas. A circulação e homogeneização do cultivo é realizada através do transporte aéreo produzido na coluna ascendente de gaseificação pela injeção de ar/gases na parte inferior do fotobiorreator, que impulsionam o meio de forma a produzir a circulação no sistema e garantir a transferência de massa entre o gás injetado e o meio líquido. Os gases gerados durante as reações internas no fotobiorreator, como por exemplo, o oxigênio produzido na fotossíntese das microalgas, são eliminados na parte superior do fotobiorreator na seção de desgaseificação, promovendo a troca gasosa entre o meio líquido e o meio externo. O fotobiorreator pode operar com luz natural e/ou luz artificial. Sendo modular, diferentes variações de tamanho podem ser contempladas na sua construção. Para limpeza, o fotobiorreator permite a utilização de água pressurizada para retirada de filmes biológicos que por ventura possam aderir nas paredes das tubulações, além disso, métodos conhecidos como CIP (clean-in-place) podem ser utilizados, onde um produto germicida e/ou detergente é utilizado para limpeza. Os fotobiorreatores podem ser

desmontados o que permite fácil manutenção e conserto de possíveis danos.

[026].Dentre as vantagens da presente invenção destaca-se a versatilidade do sistema que permite diversas configurações de tamanho, podendo ser aumentada a escala em todos os eixos (altura, comprimento e largura) de acordo com as necessidades de cada usuário.

[027].Para melhor compreensão do presente dispositivo e outras vantagens e características é feita em seguida uma descrição detalhada do mesmo, fazendo-se referências aos desenhos anexos, onde a :

FIGURA 1 representa o diagrama esquemático do Fotobiorreator Tubular Modular em seu formato básico;

FIGURA 2 apresenta o diagrama esquemático do Fotobiorreator Tubular Modular;

FIGURA 3 apresenta o diagrama esquemático detalhado da parte inferior do Fotobiorreator Tubular Modular;

FIGURA 4 apresenta o diagrama esquemático detalhado da parte superior do Fotobiorreator Tubular Modular;

FIGURA 05 apresenta o diagrama esquemático detalhado da coluna de gaseificação do Fotobiorreator Tubular Modular em seu formato básico;

FIGURA 06 apresenta o diagrama esquemático do Fotobiorreator Tubular Modular com as descrições das possíveis variações de altura e comprimento do sistema;

FIGURA 07 apresenta uma vista esquemática superior de uma sequência de módulos de Fotobiorreatores Tubulares Modulares;

[028].De acordo com essas ilustrações e em seus pormenores, o dispositivo da presente Patente de Invenção, "FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES",

consiste em uma entrada de ar/gás com vazão controlada com medidores de gás (1), em seguida situa-se uma válvula de retenção (2) para evitar o vazamento do líquido presente dentro do sistema, uma válvula “abre/fecha” (3) que garante a possibilidade de estancar de forma permanente o fluxo contrário do líquido. O ar/gás injetado dentro do fotobiorreator atravessa uma membrana difusora (4) responsável por criar microbolhas com o intuito de facilitar a transferência de massa entre o meio gasoso e o meio líquido na coluna de gaseificação (7). O fluxo ascendente na coluna de gaseificação (7) impulsiona o meio líquido para parte superior permitindo o fluxo dentro do reator de acordo com as setas cinzas (Fig. 02) promovendo a circulação e a homogeneização do meio. Na parte superior do sistema encontra-se o reservatório de desgaseificação (8) que permite a transferência de massa do meio líquido para o ambiente externo. O fluxo do líquido é direcionado por gravidade para dentro do sistema através da coluna de circulação (9). A parte central onde ocorrem as reações de remoção e fixação dos gases bem como o tratamento dos efluentes pelas microalgas e/ou cianobactérias poderá ser composta de um tubo (Fig. 01) ou uma série de tubos (FIG.02) de vidro ou material polimérico transparente (10). Os gases produzidos durante as reações dentro do fotobiorreator são eliminados pela saída de escape (11).

[029].Ao optar pela série de tubos verticais interligados, diferentes configurações podem ser adotadas conforme a descrição da Figura 06, onde (d) representa a expansão em altura da coluna de gaseificação, (d') representa a expansão em altura do reservatório de desgaseificação, (x) representa a expansão do comprimento dos tubos no sentido horizontal, (y) representa a expansão da quantidade de tubos interligados na parte central do fotobiorreator e (L) representa a expansão da altura da tubulação de limpeza.

[030].Na disposição exposta na figura 07 diversos módulos são arranjados de modo a formar uma série de fotobiorreatores (z), cujo conjunto pode variar de um até o máximo de módulos permitido pelo espaço disponível para a produção.

[031].Um dos desafios na produção de microalgas em fotobiorreatores tubulares é a limpeza do sistema devido a formação de filmes biológicos nas paredes internas dos tubos. Desta forma, conforme (FIG. 02), o fotobiorreator apresenta um sistema de limpeza por pressurização de uma mistura de ar/água injetada pelo tubo de limpeza (12) que é conectado a entrada (13), o biofilme produzido na limpeza é recuperado pelo coletor de biofilme (6) e posteriormente processado, garantindo significativa redução nos custos com limpeza e perda de material.

[032].O fotobiorreator apresenta um sistema de desmontagem com válvulas (u) que permite a fácil manutenção e reparo de possíveis danos.

[033].O sistema permite coletas diárias de amostra pelo coletor de amostras (5), por onde também se dá a inoculação do sistema com meios de cultivo, inóculos e água.

[034].Em comparação aos reatores que apresentam circulação com bombas, fotobiorreatores de circulação aérea permitem um ambiente favorável ao crescimento das microalgas, pois apresentam baixíssimas taxas de cisalhamento celular. Contudo, o grande desafio desses sistemas é permitir o aumento da escala para a produção industrial. Neste ponto a presente invenção garante esta possibilidade integrando a produção de microalgas e o tratamento de poluentes, contribuindo com a redução da emissão dos gases do efeito estufa de forma compacta e com baixo custo de produção.

REIVINDICAÇÕES

1 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES caracterizado por compreender: um sistema integrado de tratamento de efluentes líquidos e emissões poluentes, através do cultivo de microalgas e/ou cianobactérias em fotobiorreator tubular modular constituído de, no mínimo, 1 tubo descendente para circulação (10) e o máximo de acordo com a necessidade de utilização, uma entrada de ar/gás com vazão controlada com medidores de gás (1), uma válvula de retenção (2), uma válvula “abre/fecha” (3), uma membrana difusora (4), uma coluna de gaseificação (7), um reservatório de desgaseificação (8) uma coluna de circulação (9), uma saída de escape (11), um coletor de amostras (5), um tubo de limpeza (12), um coletor de biofilme (6).

2 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por um ou mais tubos interligados (10) formando um sistema modular para produção de microalgas e/ou cianobactérias.

3 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com a reivindicação 1 e 2, caracterizado pelo fato de permitir o aumento da altura (y) e comprimento (x) formando um módulo de produção de microalgas.

4 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com a reivindicação 1, 2 e 3, caracterizado pela disposição em série dos módulos arranjados em paralelo (z), compreendendo cada um deles uma série independente.

5 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com as reivindicações 1 e 4 caracterizado pela produção contínua de microalgas nos módulos independentes, onde o cultivo se dá no primeiro módulo servindo como inóculo para os seguintes.

6 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 5, caracterizado pela circulação, agitação e homogeneização do meio por transporte aéreo dispensando a utilização de bombas.

7 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 6, caracterizado pela utilização de uma membrana difusora (4) feita de material polimérico ou metal para produção de microbolhas situada na base do fotobiorreator.

8 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela utilização de dejetos originados na agroindústria, excrementos de animais e esgoto sanitário como nutrientes para o crescimento das microalgas e/ou cianobactérias.

9 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela utilização de gases do efeito estufa como fonte de carbono para o crescimento das microalgas e/ou cianobactérias.

10 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com as reivindicações 1, 9 e 10 caracterizado pelo tratamento de poluentes, gases e produção de biomassa de microalgas simultaneamente.

11 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela limpeza do sistema ser feita por pressurização de água através do tubo de limpeza (12), sem a interrupção dos cultivos.

12 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir a desmontagem do sistema para manutenção e reparos nas válvulas de união (u).

13 - FOTOBIORREATOR TUBULAR MODULAR PARA TRATAMENTO INTEGRADO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E EMISSÕES de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir o cultivo de microalgas em modo batelada, semi-contínuo ou contínuo.

DESENHOS

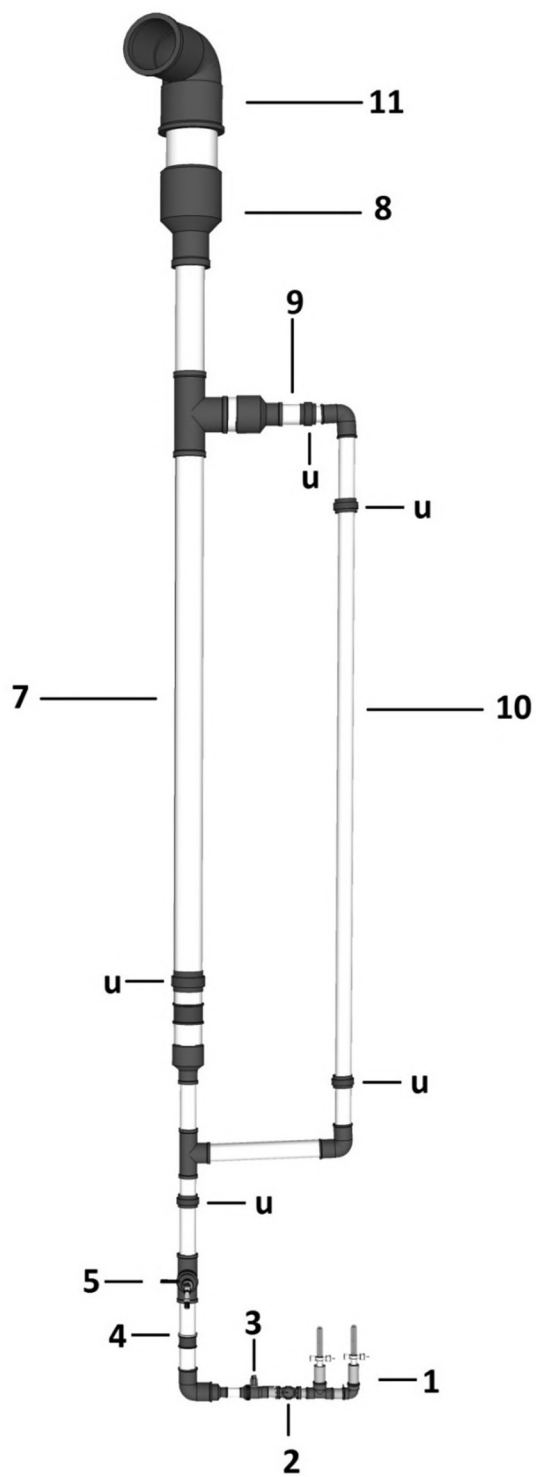


FIG. 01

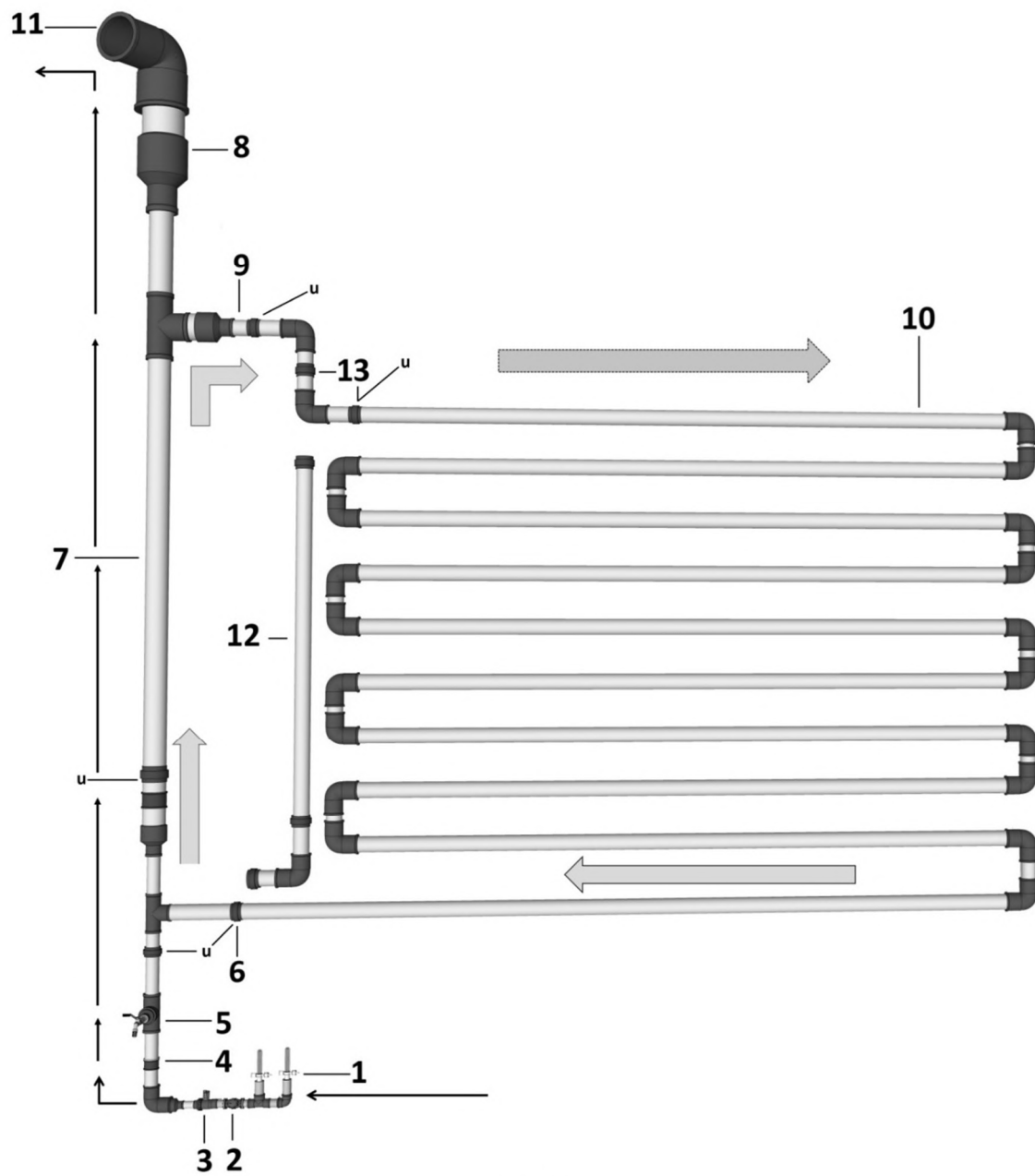


FIG. 02

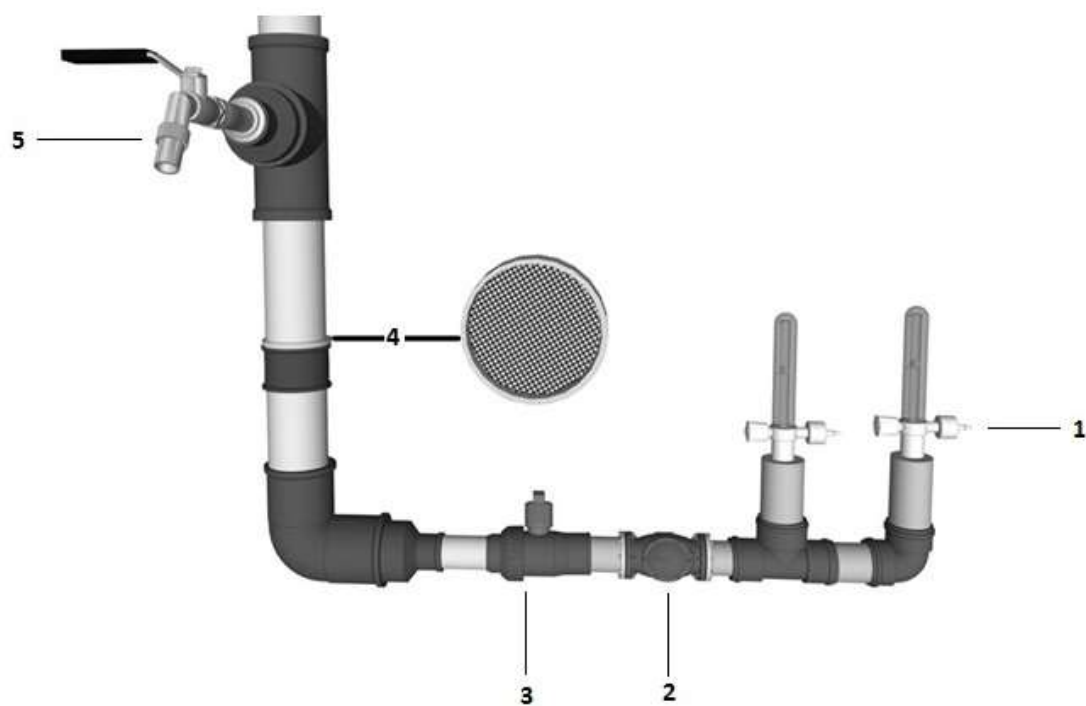


FIG. 03

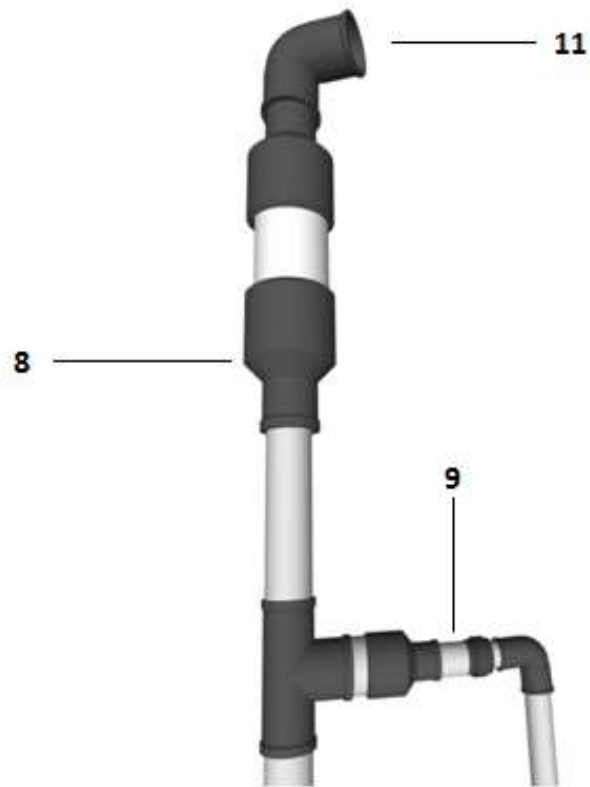


FIG. 04

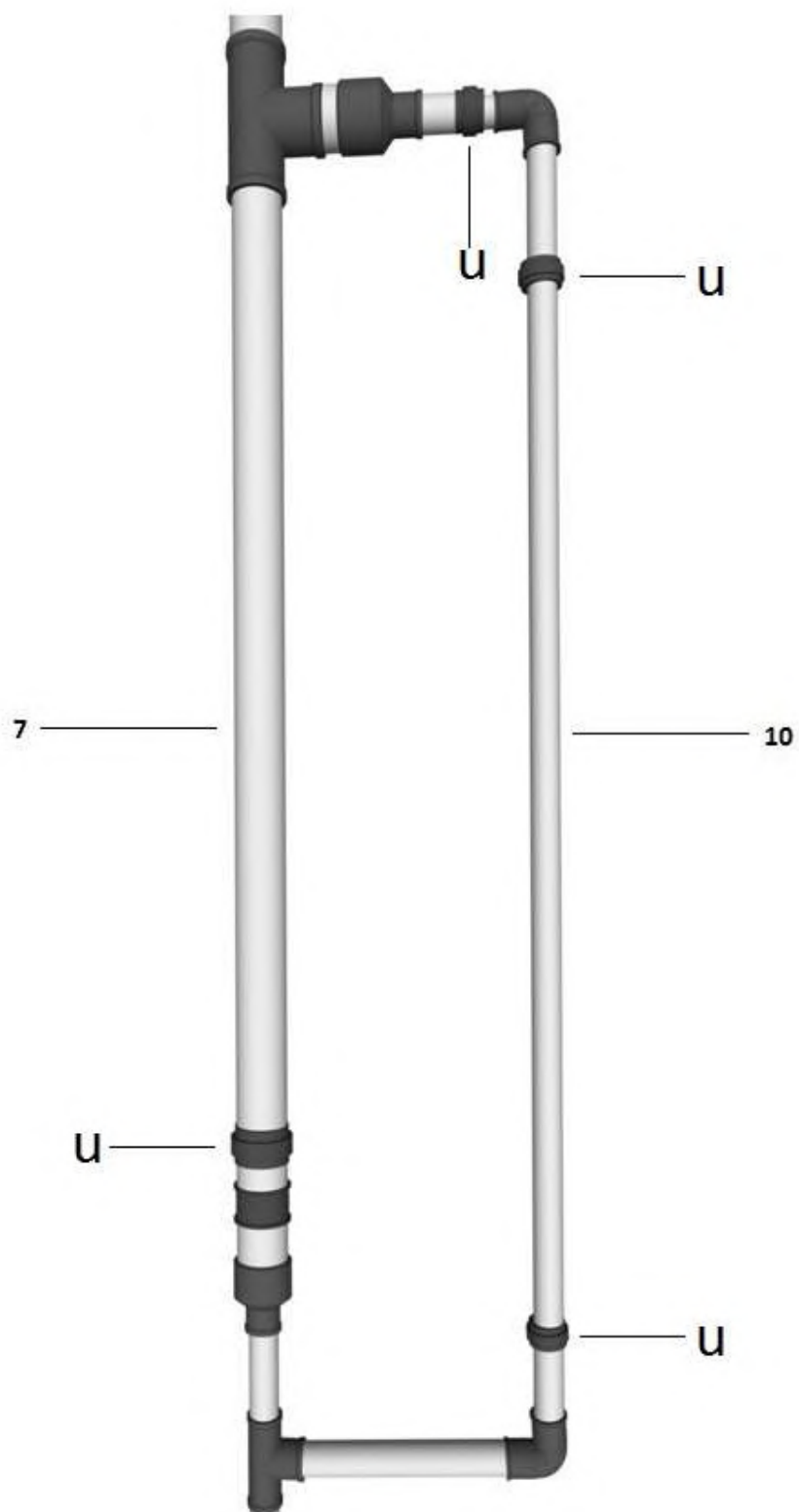
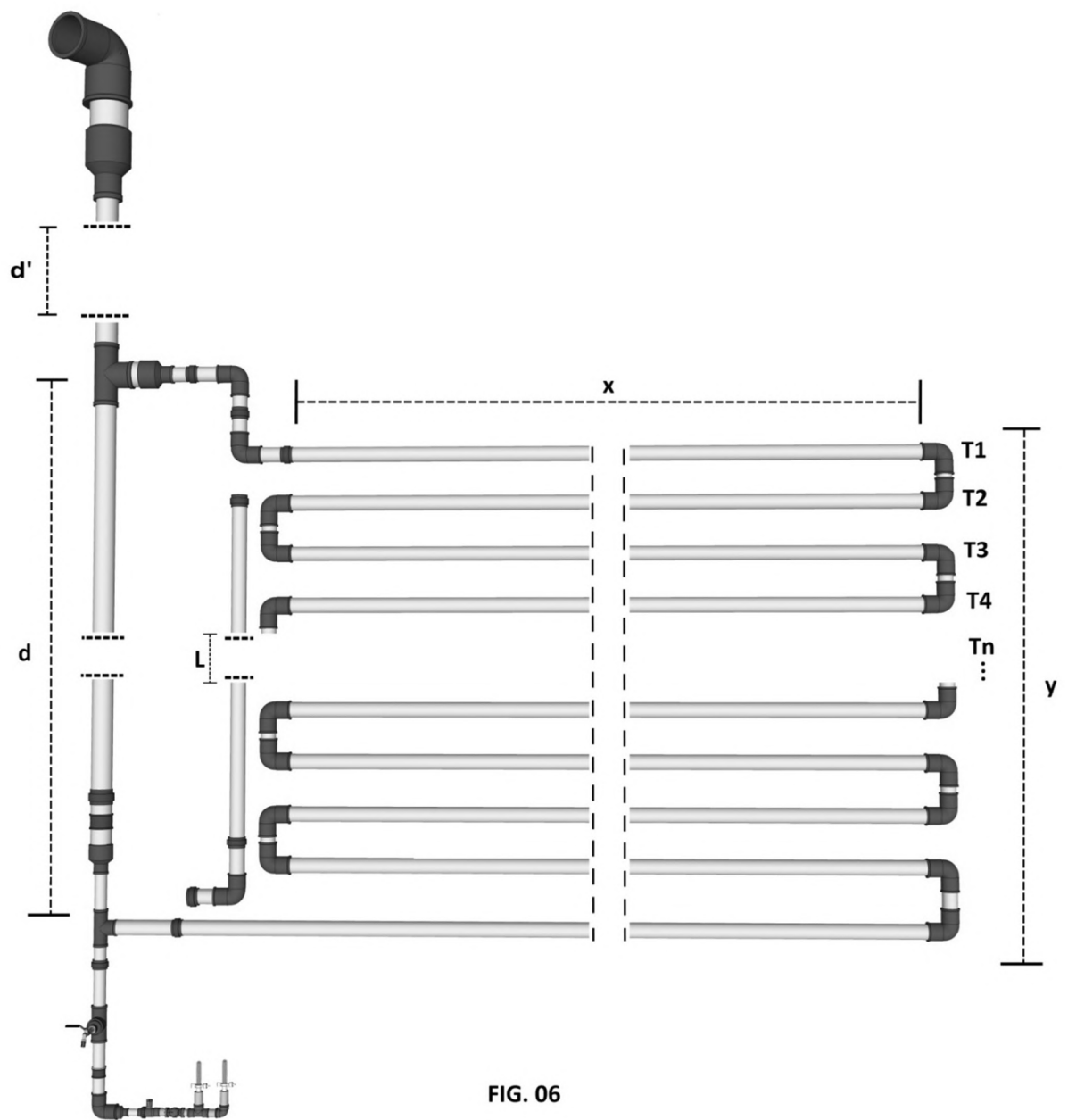


FIG. 05



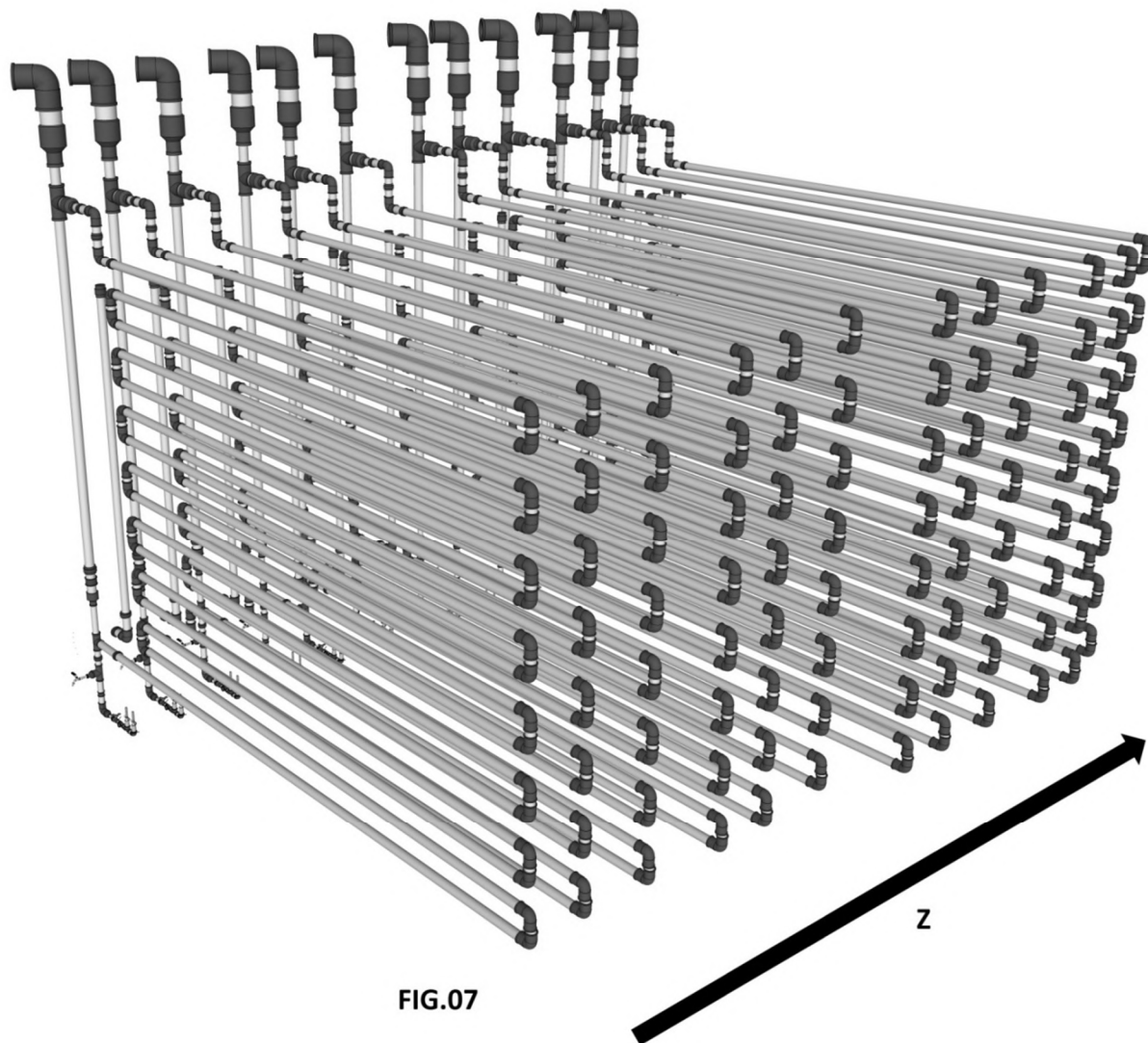


FIG.07