



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

CARTA PATENTE Nº BR 102016010304-5

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 102016010304-5

(22) Data do Depósito: 06/05/2016

(43) Data da Publicação Nacional: 21/11/2017

(51) Classificação Internacional: F01N 5/02.

(54) Título: APARELHO E PROCESSO PARA RECUPERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA EM DUTOS COM CAMADA DE AR RESISTIVA E SUPERFÍCIE DE CAPTAÇÃO COM GRADIENTE NULO

(73) Titular: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS, Pessoa Jurídica. CGC/CPF: 10870883000144. Endereço: AVENIDA ASSIS CHATEAUBRIAND, Nº 1658, SETOR OESTE, GO, BRASIL(BR), 74130-012

(72) Inventor: PEDRO HENRIQUE GARCIA GOMES; WESLEY PACHECO CALIXTO; AYLTON JOSÉ ALVES.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 06/05/2016, observadas as condições legais

Expedida em: 08/11/2022

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

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



“APARELHO E PROCESSO PARA RECUPERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA EM DUTOS COM CAMADA DE AR RESISTIVA E SUPERFÍCIE DE CAPTAÇÃO COM GRADIENTE NULO”.

[001] Campo e Objetivos da Invenção

[002] A presente invenção refere-se ao aparelho para recuperação da energia térmica em dutos com camada de ar resistiva e superfície de captação com gradiente nulo. O aparelho é conectado a um duto de exaustão qualquer com intuito de obter energia elétrica a partir do efeito Seebeck, gerado pela diferença de temperatura entre a fonte quente e fonte fria e pelo uso de geradores termoelétricos (TEG). A recuperação de energia a partir de fontes diversas realizada pela tecnologia proposta aumenta a eficiência global dos sistemas.

[003] A presente invenção aplica-se em dutos quentes de escape de veículos e moto-geradores, em tubulação de gases quentes (presentes nos mais diversos sistemas e processos fabris), fornalhas, chaminés, aquecedores residenciais ou fontes residuais de calor quaisquer.

[004] Esta invenção tem como objetivo a recuperação de calor de forma homogênea, aumentando a vida útil dos TEG e maximizando a captação de energia, e ainda, contribuindo para diminuir a geração de CO₂, devido ao aumento da eficiência global do sistema.

[005] A metodologia desenvolvida oferece modelo visual para a apresentação dos dados adquiridos e utiliza algoritmos otimizados e simulações por elementos finitos, em que se relaciona a temperatura no interior do duto com espessura da camada de ar (colchão de ar) do duto de captação, com base em expressão linearizada obtida por regressão polinomial. A partir dos dados obtidos, o modelo físico é construído.

[006] Descrição do Estado da Técnica

[007] A presente invenção utiliza-se da relação da variação de resistência térmica do ar com a sua distância da superfície quente (colchão de ar). Espessuras maiores apresentam maior dissipação térmica que as menores. Assim, através do estudo termo-fluidodinâmico do sistema, pode-se encontrar relação entre a espessura requerida no ponto (para atingir temperatura externa desejada) e a temperatura que passa no interior do duto. Este método torna-se diferente dos demais métodos encontrados na

literatura por desenvolver equacionamento que regula a distância dos TEG da superfície quente de forma a equalizar a temperatura dos mesmos.

[008] Durante o escoamento do gás quente pelo duto, este perde calor a medida que atravessa o duto. Nos aparelhos de captação termoelétrica existentes, os TEG são posicionados no sentido do fluxo resultando em variações de temperatura na superfície quente do TEG demasiadamente elevadas. Os TEG posicionados no começo do duto sofrem maiores variações de temperatura dos que os localizados na saída do aparelho.

[009] Comumente este tipo de captação é realizada sem a preocupação da variação de temperatura ao longo do captador (a temperatura decai no sentido do fluxo nos captadores existentes), enquanto nesta presente invenção a temperatura na superfície é mantida constante e protegida da temperatura limite de funcionamento do TEG. A presente invenção apresenta disposição simples e de alta eficiência para realizar o aproveitamento de diversas fontes térmicas dispensadas à atmosfera, diferentemente das tecnologias existentes.

[010] A patente MU91013887U2 propõe o desenho de sistema de captação de energia térmica a ser acoplado no escapamento de veículos automotores com a finalidade de alimentação de baterias. Não há a preocupação com a temperatura limite de funcionamento dos TEG e, menos ainda, com a variação desta temperatura em situações de regime transiente. O modelo proposto nesta invenção prevê, além da homogeneização da temperatura na superfície de captação, a utilização em fontes térmicas com temperaturas bem superiores a encontrada em escapamentos de veículos, o que aumenta a energia elétrica recuperada.

[011] A patente BR1020130279471A2 aborda gerador termoelétrico intercambiável com foco na serpentina que pode ser utilizado para captação de calor em diversos tipos de ambientes, diferenciando-se do foco desta invenção.

[012] As patentes MU91023513, MU89016564 e PI06033156A2 apresentam o conceito de termoeletricidade para geração de energia, porém não contemplam o aproveitamento de energias residuais e nem apresentam características quanto à topologia e sua variação de geometria, diferenciando-se nesse sentido da presente invenção.

[013] A patente PI06033156A2 refere-se a gerador termoelétrico via aquecimento solar que utiliza-se de concentrador solar para gerar calor e

consequentemente gerar energia térmica, diferenciando-se da presente invenção pelo princípio físico utilizado.

[014] As patentes WO2015026433A1 e US20140216056 apresentam dispositivos para obtenção de energia elétrica a partir do escape quente de turbinas de aviões. O sistema proposto tem aplicação única à aviação e não discute sobre a equalização da temperatura na superfície dos TEG, assim a distribuição da temperatura não é homogênea.

[015] As patentes US20120174568A1, US20100269878A1, US20130152562A1 e CN102484196A ilustram o dispositivo termoelétrico aplicado à exaustão de veículos com a criação de duas câmaras de circulação de gás concêntricas. Nestes dispositivos não houve preocupação com a perda de calor na direção do fluxo de gás quente, o que acarreta diferenciação na temperatura de superfície de captação dos TEG.

[016] A patente US8222511B2 descreve dispositivo de obtenção de energia elétrica a partir do calor do duto de escape e apresenta superfícies aletadas no interior do escoamento da parte quente. Este dispositivo apresenta diferenciações de temperaturas no sentido do fluxo de escoamento e portanto, difere da invenção apresentada.

[017] A patente US4516628A descreve modelo de controle de temperatura na superfície dos dutos termoelétricos, porém sua construção e funcionamento depende da atuação de sensores e ventiladores que provocam a convecção forçada o que torna sua fabricação mais onerosa. Nesta presente invenção, não se utiliza de recursos eletrônicos para controle de temperatura superficial.

[018] As patentes US8646261B2 e DE102011114102A1 apresentam aparatos para obtenção de energia elétrica em veículos automotores. O inventor justifica a necessidade de manter o gradiente constante de temperatura na superfície, mas a solução apresentada é o uso de diferentes TEG a cada círculo isotérmico do sistema. Assim, segundo este modelo, deve-se utilizar TEG com faixas de temperaturas menores (menos oneroso) à medida que a faixa de calor no duto diminui. Esta presente invenção propõe o uso de único modelo de TEG.

[019] As patentes US20100186399A1, US20120073619A1 e DE102006040853B3 desenvolvem forma de manter a temperatura da superfície constante através da instalação de metal base entre a fonte quente e o lado quente do

TEG. A temperatura de fusão deste metal estaria relacionada com a temperatura de funcionamento do duto de escape, assim, aproveitando-se do calor latente (transformação de fase com temperatura constante), o lado quente do TEG tem sua temperatura homogeneizada. Este processo é bastante específico para o perfil de temperatura, e caso o sistema opere em temperaturas variáveis (partida da máquina térmica, aceleração, entre outras fases transientes) o gradiente térmico da superfície não se anula, diferenciando-se desta invenção.

[020] Descrição da Invenção

[021] Este documento de patente refere-se ao aparelho para recuperação da energia térmica em dutos com camada de ar resistiva e superfície de captação com gradiente nulo. Este equipamento permite a captação de calor em escapes de dutos quentes de forma otimizada, isto é, torna possível o aproveitamento homogêneo da energia do sistema, o que viabiliza projetos de instalações de módulos Seebeck a fim de aumentar os ganhos e a vida útil dos equipamentos.

[022] Em função do objetivo e do tipo de aplicação desta invenção, a quantidade e configuração dos TEG sofrem variações.

[023] Uma camada de ar é criada entre a superfície do duto quente e a placa que contém os TEG. Esta camada de ar é mais espessa no início (onde o fluido interno no duto está mais quente) e menos espessa no final (onde o fluido no duto já perdeu calor). O ar é excelente isolante térmico e a variação da espessura desta camada permite controlar a temperatura na superfície.

[024] O aparato é composto por um captador hexagonal em metal (1), face de captação (2), chapa de cobre inferior (3), chapa de cobre superior (4), módulo isolante para TEG (5), geradores termoelétricos TEG (6), reguladores de altura (7), camada de ar resistiva (8), módulo de resfriamento da parte fria (9), isolante de extremidades (10), flange de conexão (11), base para suporte do isolante (12).

[025] A superfície do captador hexagonal em metal (1) é perfeitamente lisa e polida e contém orifícios de acoplamento dos sensores de temperatura (13). O conjunto formado pelas partes (3), (4), (5), (6), (7) e (9) constitui o conjunto de geração de energia termoelétrica (14) que é fixado em cada uma das faces do captador sextavado em metal (1). A face do lado de entrada é indicada por (15).

[026] O conjunto de geração termoelétrica (14) é distanciado da superfície do

captador hexagonal em metal (1) por meio dos reguladores de altura (7) formando camada de ar resistiva (8) de maneira inclinada, tal que a entrada do aparelho tem camada mais espessa E e camada menos espessa na saída e .

[027] O aparelho possui flange de conexão (11) com furos para parafusos (18) para facilitar o posicionamento do duto de captação na saída de exaustão dos motores ou máquinas térmicas.

[028] Os reguladores de altura (7) conectam o conjunto de geração termoelétrica (14) ao captador hexagonal em metal (1) através da base para suporte do isolante (12) que contém furos (19) para reguladores.

[029] No duto de passagem do calor (16), é acoplada a superfície estendida de troca de calor (17), que aumenta a turbulência dos gases e, conseqüentemente, aumenta a captação do calor.

[030] O gradiente térmico é equalizado na superfície de captação, a partir da existência de camada de ar resistiva (8). Quanto maior a espessura desta camada, mais isolante o meio se torna, pois maior será a quantidade de ar atmosférico, o qual tem baixa condutividade térmica. Portanto, na entrada do duto, onde há maior calor em trânsito, há a necessidade de camada de ar maior E e na saída, onde há menor trânsito energético, tem-se isolamento menor e, conseqüentemente, menor espessura e .

[031] A partir de processo de otimização, foram obtidas as expressões para cálculo dos valores de espessura E da entrada da camada de ar resistiva, expressa em [1], e da espessura e da saída, expressa em [2], em milímetros. A temperatura T , variável de entrada nas equações [1] e [2], é dada pela temperatura média do fluido no duto de passagem do calor (16) em graus celsius.

$$E(T) = -1.119e^{-5}T^2 + 6.169e^{-2}T - 19.79 \quad [1]$$

$$e(E) = E - 5.41 \quad [2]$$

[032] O processo de otimização consistiu em cálculos analíticos, que foram realizados com base nas equações de fluido-dinâmica e transferências de calor acopladas, expressas de [3] a [6], e simulados a partir do método de elementos finitos.

[033] A função objetivo, expressa em [6], descreve a solução ótima do sistema

e foi otimizada utilizando-se de métodos heurísticos, baseados nas expressões abaixo.

$$\rho(u \cdot \nabla) = \nabla \cdot \left[-\rho I + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T) - \frac{2}{3}\mu(\nabla u)I \right] + F \quad [3]$$

$$\nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad [4]$$

$$\rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \quad [5]$$

$$f(x) = |T_m - T_e| - (t_i - t_o) \quad [6]$$

[034] Nas expressões [3], [4] e [5] ρ é a densidade do fluido, u é a velocidade do fluido, ∇ é o gradiente, I é o impulso, T é a temperatura, F é a força convectiva, C_p é o calor específico, k é a constante de condutividade térmica, Q é a vazão. Na expressão [6], tem-se a função objetivo do sistema $f(x)$, onde T_m é a temperatura média na superfície, T_e é a temperatura da iteração, t_i é a temperatura pontual na superfície de entrada do aparato e t_o é a temperatura pontual na superfície de saída do aparato.

[035] A partir da função objetivo descrita em [6] e das expressões ordinárias apresentadas de [3] a [5], as funções [1] e [2] foram definidas, em que a espessura E é expressa em função da temperatura média do fluido no duto e a espessura e é expressa em função de E .

[036] Assim, o processo para ajuste do aparelho proposto consiste na regulação da altura do conjunto de geração termoelétrica a partir das seguintes etapas:

- a. mensurar a temperatura do gás na fonte quente;
- b. aplicar a temperatura medida T na expressão [1];
- c. obter valor da espessura de entrada $E(T)$ da camada de ar resistiva (8) em milímetros;
- d. aplicar o valor obtido da espessura de entrada $E(T)$ na expressão [2];
- e. obter o valor da espessura de saída $e(E)$ da camada de ar resistiva (8) em milímetros;

f. aplicar espessuras no aparelho por meio dos reguladores de altura (7) do conjunto de geração termoelétrica (14).

[037] As figuras que representam o conjunto do sistema são:

- Figura 1 – Vista do duto hexagonal.
- Figura 2 – Aparelho com vistas explodidas.
- Figura 3 – Vista em detalhe (montagem).
- Figura 4 – Vista do colchão de ar.
- Figura 5 – Vista do duto com a mola.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho de recuperação de energia térmica em dutos CARACTERIZADO POR manter o gradiente de temperatura nulo na face inferior do conjunto de geração termoelétrica (14) por meio de camada de ar resistiva (8) regulável e possuir captador hexagonal em metal (1) contendo superfície estendida de troca de calor longitudinal (17) separado do conjunto de geração termoelétrica (14) por camada de ar resistiva (8) e conectado por reguladores de altura (7) fixados na base de suporte (12), ligada no flange de conexão (11) por módulo isolante (10) nas extremidades do aparelho.
2. Aparelho de recuperação de energia térmica em dutos, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR possuir conjunto de geração termoelétrica (14) composto por chapa de cobre inferior (3), chapa de cobre superior (4), módulo isolante de gerador termoelétrico (5), geradores termoelétricos - TEG (6) e módulo de resfriamento da parte fria (9).
3. Aparelho de recuperação de energia térmica em dutos, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR criar camada de ar resistiva (8) entre o conjunto de geração termoelétrica (14) e faces de captação (2) com orifícios de acoplamento dos sensores de temperatura (13) do captador hexagonal em metal (1).
4. Aparelho de recuperação de energia térmica em dutos, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR manter o gradiente de temperatura nulo na chapa de cobre inferior (3) e manter a temperatura constante da fonte quente nos TEG (6) do conjunto de geração termoelétrica (14) por regulagem da camada de ar resistiva (8).
5. Aparelho de recuperação de energia térmica em dutos, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR possuir base de suporte (12) em metal com furos (19) para posicionamento dos reguladores de altura (7) do conjunto de geração termoelétrica (14).
6. Aparelho de recuperação de energia térmica em dutos, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR possuir flanges de conexão (11) em metal com furos (18) para

instalação pela face de entrada (15) e manutenção por parafusos.

7. Aparelho de recuperação de energia térmica em dutos, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR possuir superfície estendida de troca de calor longitudinal (17) em contato com o duto de passagem do calor (16) de diâmetro constante.

8. Processo para ajuste do aparelho definido nas reivindicações de 1 a 7, CARACTERIZADO POR regular a altura do conjunto de geração termoelétrica a partir das etapas:

a. mensurar a temperatura do gás na fonte quente;

b. aplicar a temperatura medida T na expressão

$$E(T) = -1.119e^{-5}T^2 + 6.169e^{-2}T - 19.79 ;$$

c. obter valor da espessura de entrada $E(T)$ da camada de ar resistiva (8) em milímetros;

d. aplicar o valor obtido da espessura de entrada $E(T)$ na expressão

$$e(E) = E - 5.41 ;$$

e. obter o valor da espessura de saída $e(E)$ da camada de ar resistiva (8) em milímetros;

f. aplicar espessuras no aparelho, descrito nas reivindicações de 2 a 7, por reguladores de altura (7) do conjunto de geração termoelétrica (14).

FIGURAS

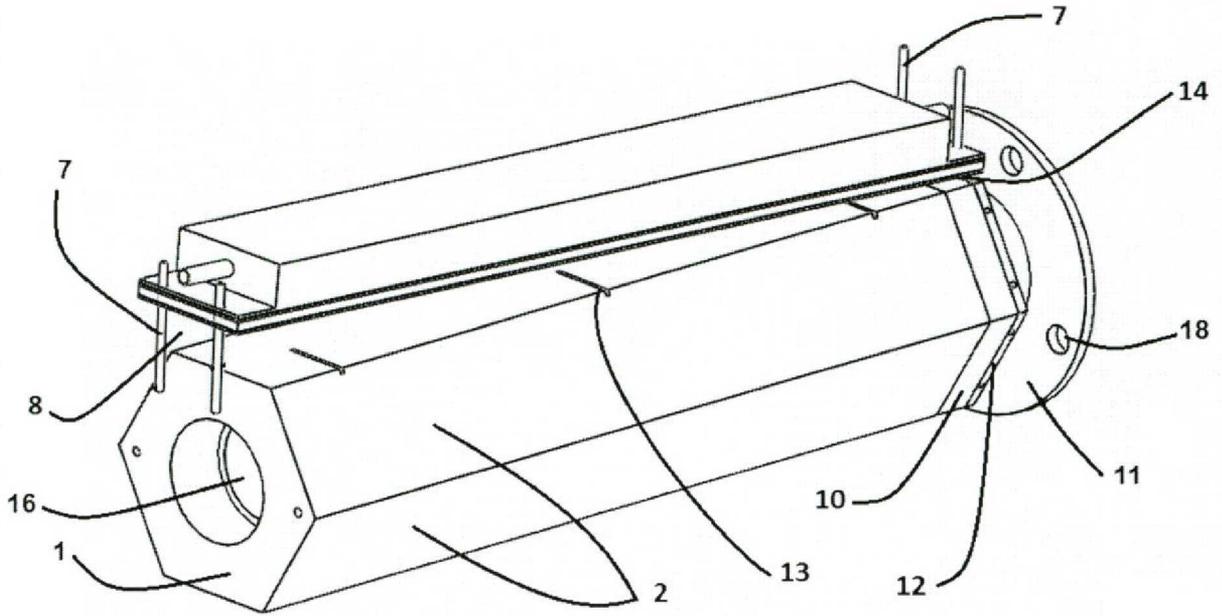


FIGURA 1

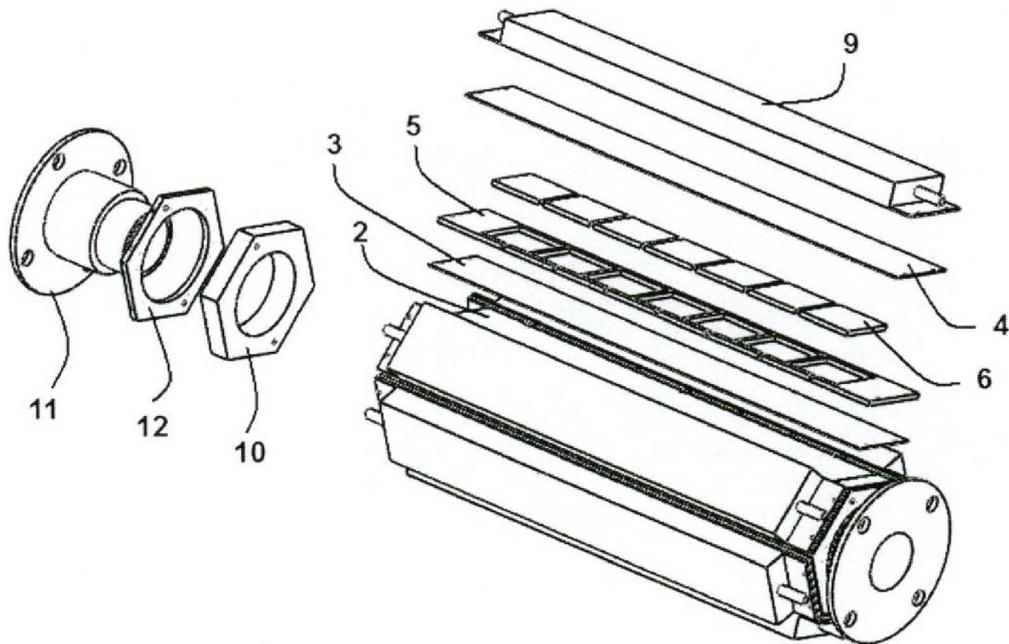


FIGURA 2

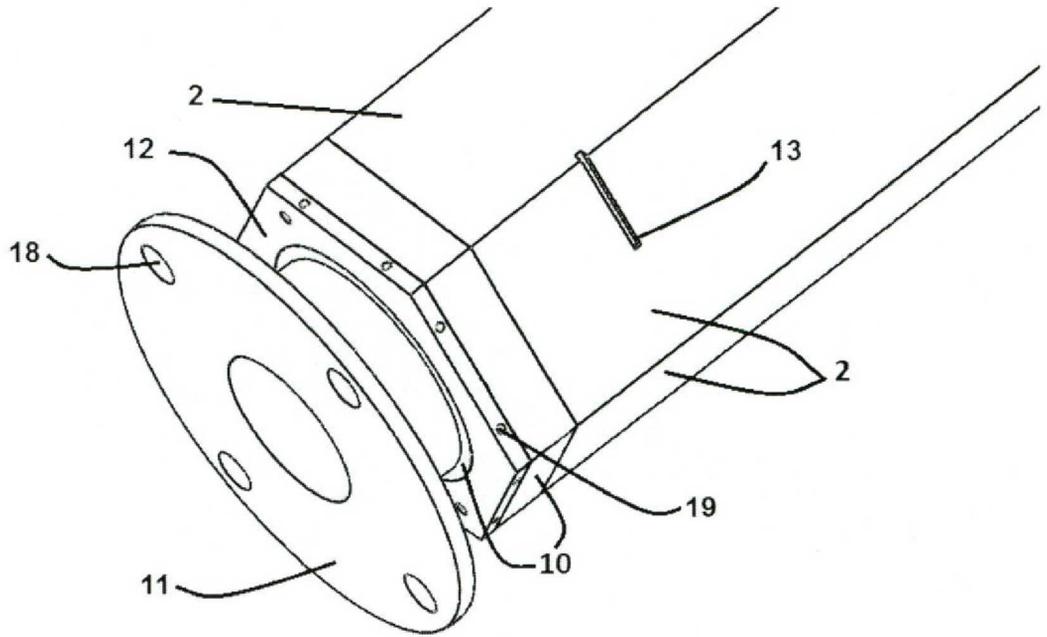


FIGURA 3

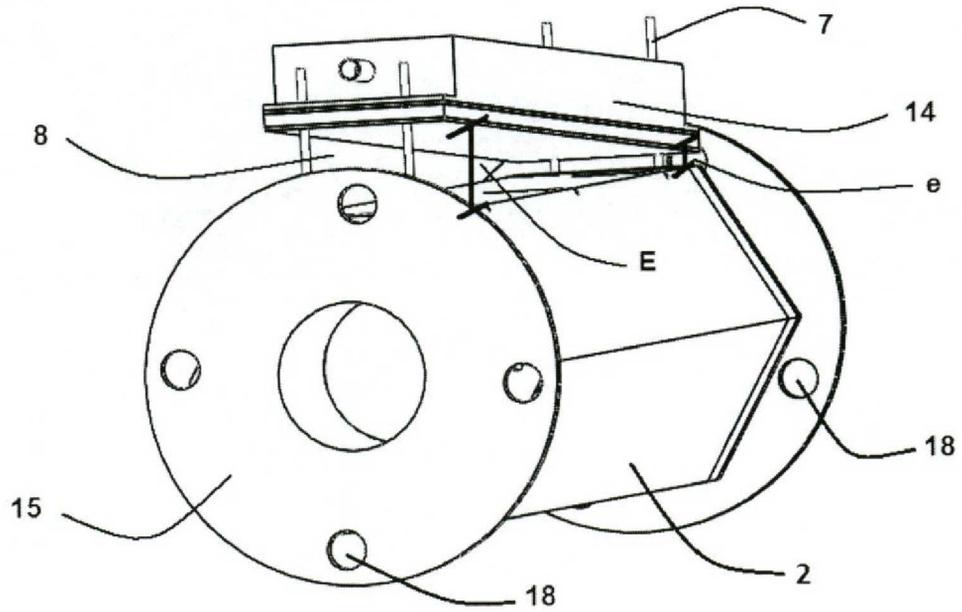


FIGURA 4

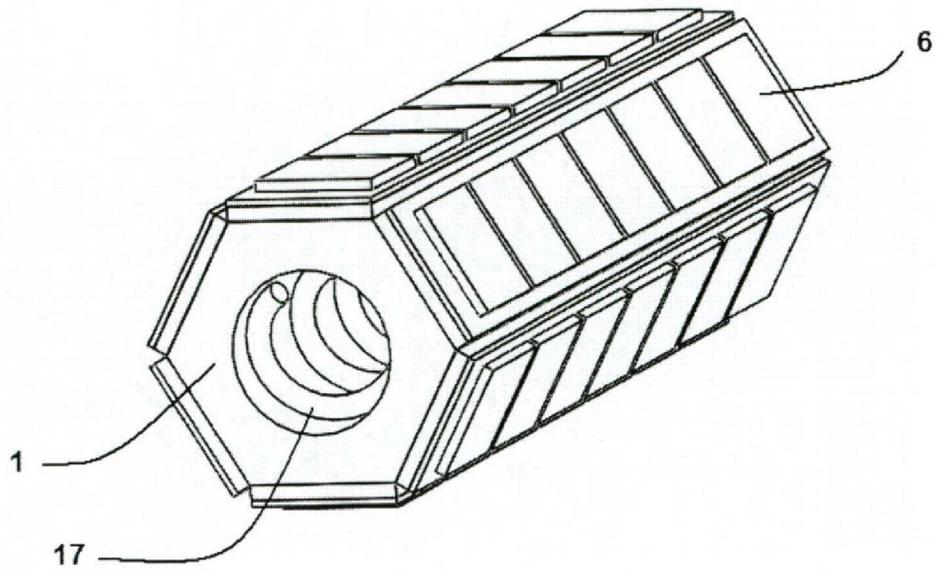


FIGURA 5