



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

(21) PI 0719235-5 A2



(22) Data de Depósito: 28/09/2007
(43) Data da Publicação: 28/01/2014
(RPI 2247)

(51) *Int.Cl.*:
F24J 2/07

(54) Título: INSTALAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA SOLAR.

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 04/10/2006 US 11/543659

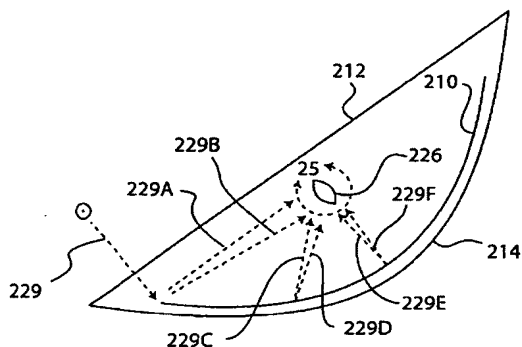
(73) Titular(es): Lawrence Livermore National Security, Llc

(72) Inventor(es): Charles Bennett

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT US2007020902 de
28/09/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2009/041947 de
02/04/2009



“INSTALAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA SOLAR”

I. REFERÊNCIA CRUZADA AOS PEDIDOS RELACIONADOS

5 Esse pedido é uma continuação em parte do pedido anterior Nº
10/835.665, depositado em 30 de abril de 2004, por Charles L. Bennett, e
incorporado por referência aqui.

II. DECLARAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO PATROCINADO PELO GOVERNO

10 O Governo dos Estados Unidos tem direitos nessa invenção
por força de um contrato Nº. W-7405 ENG-48 entre os o Departamento de
Energia e a Universidade da Califórnia para a operação de Lawrence
Livermore National Laboratory.

III. CAMPO DA INVENÇÃO

15 Esta invenção refere-se a sistemas de energia solar-térmica.
Em particular, a invenção refere-se a um altamente eficiente sistema de
coleta, armazenagem, e utilização, de energia térmica solar residencial, que
tem um concentrador solar do tipo de calha parabólica, que pode ser
rotativamente montado sobre uma estrutura preferivelmente fixa, tal como um
topo de telhado residencial, e um coletor de calor tubular, coaxialmente
20 posicionado para receber luz solar concentrada a partir do concentrador, com
o concentrador e coletor configurados e orientados para maximizar eficiência
de coleta solar e fornecimento de energia térmica para um motor acionado a
calor para otimizar geração de energia mecânica e elétrica.

IV. ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

25 A despeito de mais de um século de tentativas para tornar a
energia solar comercialmente disponível, a energia solar atualmente constitui
uma significativa proporção de fornecimento de energia *per capita*. Isto foi
devido principalmente ao desempenho e ineficiências de custo dos existentes
coletores de energia solar, concentradores, e interfaces com os meios de

armazenagem de calor, que preveniram a adoção e uso amplamente difundidos para aplicações comerciais e residenciais. Por exemplo, as instalações de SEGS, Sistema de Geração Elétrica Solar, no sul da Califórnia, representam o estado da arte atualmente utilizado na CSP, Energia Solar de Concentração. Com base na experiência com as instalações existentes de SEGS, o custo de eletricidade de instalações recentemente construídas usando a tecnologia atualmente disponível é aproximadamente 10 ¢/kWh. Este custo é muito maior que o custo para gerar eletricidade por meio da combustão de carvão, o qual é aproximadamente 3 ¢/kWh.

Vários coletores e concentradores de energia solar, e interfaces para aquecer meio de armazenagem e motores a calor, são conhecidos para uso em sistemas de energia termoeletrica, tal como as instalações de SEGS. Alguns poucos exemplos incluem: Pat. US no. 4.586.334 de Nilsson, e a Pat. US no. 6.487.859 de Mehos. A patente de Nilson revela "...um sistema de geração de energia solar que inclui meio para coletar e concentrar energia solar; meio de armazenagem de calor; meio de motor de Stirling para produzir energia", e "...o meio para coletar e concentrar energia solar é um disco refletor; e o meio de transferência de calor inclui preferivelmente primeiro e segundo tubos de aquecimento; o meio de armazenagem de calor é preferivelmente um meio de alteração de fase...". A patente de Mehos revela: "... receptores de tubo de aquecimento de sódio para sistemas de disco/Stirling", e cita referências demonstrando: "... temperaturas de vapor de sódio até 790° C". Adicionalmente, a Pat. US no. 4.125.122 revela um tubo de aquecimento recebendo energia a partir de um concentrador solar, a Pat. US no. 6700054 B2 descreve a conexão com um motor de Stirling, dentre outras coisas, e a Pat. US no. 4088120 descreve uma calha parabólica com um tubo de aquecimento no foco, conectado com um meio de armazenagem de calor. A Pat. US no. 787.145 descreve um espelho de disco elíptico que é orientado para rastrear o sol, com um boiler para produzir vapor no foco do espelho. A

Pat. US no. 3.982.526 descreve um dispositivo para girar um coletor solar em torno de um eixo geométrico polar, e a Pat. US no. 6.886.339 B2 descreve um concentrador solar de calha parabólica com um sistema de rastreamento do sol. A Pat. US no. 4.205.657 descreve um concentrador solar de calha parabólica com um sistema de geração de vapor. A Pat. US no. 4.108.154 descreve um coletor solar de calha parabólica com um anteparo.

Uma limitação particular dos coletores/concentradores solares atualmente disponíveis, todavia, é sua eficiência de coleta relativamente baixa, que é a relação do calor térmico fornecido pelo elemento de coleta de calor em relação ao calor solar incidente sobre a área de superfície de espelho de concentração. Com base em recentes medições de campo, os melhores coletores disponíveis (tais como o coletor de calor UVAC de Solel ou o coletor de calor PTR 70 de Schott, usando um fluido de transferência de calor baseado em óleo, aquecido para 400° C, atingem um valor máximo de somente 50% da eficiência de coleta térmica em uma incidência solar de 800 W/m². Nos níveis de irradiação solar mais elevados ou mais baixos, a eficiência térmica é até mesmo mais baixa. Esta eficiência é baixa principalmente porque o fator de concentração solar destes coletores é relativamente baixo. Por exemplo, na geração atual de instalações de SEGS, o diâmetro da superfície de absorção no elemento de coleta de calor é 7 cm, enquanto a largura da abertura de calha parabólica é 5,77 m, e a relação entre a área de abertura de concentrador e área de absorvedor de coletor, o fator de concentração solar, é somente 26. Outra limitação associada com os fatores de concentração relativamente baixos de coletores de calha parabólica é que o comprimento axial do coletor em relação à largura de abertura de concentrador é muito grande. No caso de DISS, por exemplo, a relação entre comprimento e largura é 46.

Outro fator de perda de eficiência que é característico do estado da arte dos atuais coletores de calha parabólica está associado com sua

implementação horizontal. A realização de média sobre a faixa de ângulos de incidência tanto ao longo do dia quanto ao longo do ano, conduz a um fator de esforço geométrico médio de 87%.

Uma vez que é conhecido que a eficiência de conversão de irradiação solar para energia tem um grande impacto sobre o custo de eletricidade, seria vantajoso prover um sistema de energia térmico solar altamente eficiente para a utilização econômica de energia térmica solar no contexto de uma unidade residencial/comercial que supera as limitações da tecnologia atual de energia solar para reduzir os custos de energia. E, em particular, um aparelho e método capazes de aumentar o fator de concentração solar para coletores de calha parabólica para acima de aproximadamente 160 e melhorar o fator de esforço geométrico medido para maior que aproximadamente 90%, seriam particularmente benéficos para substancialmente elevar a eficiência de coleta térmica de tais instalações de energia térmica solar.

V. SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Um aspecto da presente invenção inclui uma instalação de energia térmica solar compreendendo: um espelho de calha parabólico tendo um eixo geométrico focal longitudinal para concentrar luz solar ao longo do mesmo; um meio para girar dito espelho em torno de um eixo geométrico de rotação longitudinal para seguir o sol; e um coletor de calor compreendendo um tubo de aquecimento alongado circundando um canal de fluxo, dito canal de fluxo tendo um formato de seção transversal oblongo, distinguido por eixos geométricos maior e menor com um diâmetro máximo do canal ao longo do eixo geométrico maior e um diâmetro mínimo do canal ao longo do eixo geométrico menor e com o eixo geométrico maior alinhado com um plano de simetria longitudinal do espelho de calha parabólico, dito tubo de aquecimento posicionado coaxialmente ao longo do eixo geométrico focal de dito espelho para receber luz solar concentrada a partir do mesmo de modo

que um fluido de trabalho em dito tubo de aquecimento é aquecido pela mesma e provido para uso através de uma extremidade de saída de dito tubo de aquecimento.

Outro aspecto da presente invenção inclui uma instalação de energia térmica solar compreendendo: um espelho de calha parabólico tendo um eixo geométrico focal oblongo para concentrar luz solar ao longo do mesmo; um meio para girar dito espelho em torno do eixo geométrico de rotação para seguir o sol; e um coletor de calor tubular compreendendo um tubo de aquecimento de parede espessa, opticamente transparente, tendo uma superfície de parede interna formando um canal de fluxo e uma superfície de parede externa convexa curvilínea para aumentar as dimensões do canal de fluxo, dita superfície de parede interna revestida com material que absorve luz solar, e dito tubo de aquecimento coaxialmente posicionado ao longo do eixo geométrico focal para receber luz solar concentrada a partir de dito espelho de modo que um fluido de trabalho no canal de fluxo é aquecido assim e provido para uso através de uma extremidade de saída do tubo de aquecimento.

E, outro aspecto da presente invenção inclui uma instalação de energia térmica solar compreendendo: um espelho de calha parabólico tendo um eixo geométrico focal longitudinal para concentrar luz solar ao longo do mesmo; um meio para montar dito espelho de modo que o eixo geométrico focal é paralelo ao eixo geométrico de rotação da terra e dito espelho é rotativo em torno de um eixo geométrico de rotação longitudinal do mesmo, um meio para girar dito espelho em torno do eixo geométrico de rotação para seguir o sol; e um coletor de calor tubular alongando formando um canal de fluxo e posicionado coaxialmente ao longo do eixo geométrico focal para receber luz solar concentrada a partir de dito espelho de modo que um fluido de trabalho no canal de fluxo é assim aquecido e provido para uso através de uma extremidade de entrada de dito coletor de calor.

E, outro aspecto da presente invenção inclui uma instalação de

energia térmica solar compreendendo: um espelho de calha parabólico tendo um eixo geométrico focal longitudinal para concentrar luz solar ao longo do mesmo; um meio para montar dito espelho de modo que o eixo geométrico focal é paralelo ao eixo geométrico de rotação da terra e dito espelho é rotativo em torno de um eixo geométrico de rotação longitudinal do mesmo, um meio para girar dito espelho em torno do eixo geométrico de rotação longitudinal para seguir o sol; e um coletor de calor tubular compreendendo um tubo de aquecimento, de parede delgada, opticamente transparente, evacuado, tendo uma superfície de parede interna formando um canal de fluxo e uma superfície de parede externa convexa curvilínea para aumentar as dimensões do canal de fluxo, dito canal de fluxo tendo um formato de seção transversal oblongo, caracterizado por eixos geométricos maior e menor com um diâmetro máximo do canal ao longo do eixo geométrico maior e um diâmetro mínimo do canal ao longo do eixo geométrico menor e com o eixo geométrico maior alinhado com um plano de simetria longitudinal do espelho de calha parabólico, dita superfície de parede interna revestida com material que absorve luz solar, e dito tubo de aquecimento posicionado coaxialmente ao longo do eixo geométrico focal para receber luz solar concentrada a partir de dito espelho de modo que um fluido de trabalho no canal de fluxo é aquecido assim e provido para uso através uma extremidade de saída do tubo de aquecimento.

Geralmente, a instalação de energia térmica solar residencial da presente invenção é amplamente baseada na planta de energia térmica solar usada na aeronave térmica solar descrita aqui. Como tal, a instalação de energia térmica solar residencial da presente invenção tem vários componentes principais, incluindo um espelho de concentração solar capaz de focar/concentrar luz solar e girar em torno de um eixo geométrico de rotação, um tubo de coletor de calor/aquecimento posicionado para absorver luz solar concentrada, um reservatório de armazenagem de energia térmica, conectado

com uma extremidade de saída do coletor de calor, e um moto acionado por calor operativamente conectado com o reservatório de armazenagem de energia térmica, todos dos quais são similares em construção e operação àqueles previamente descritos para a aeronave térmica solar. A instalação de energia térmica solar residencial, todavia, inclui características adicionais que melhoram a eficiência, as quais são permitidas, em parte, por poderem ser montadas sobre uma estrutura, preferivelmente fixa, tal como o telhado de um edifício, e que operam conjuntamente para melhorar a eficiência total da instalação de energia.

Por exemplo, em uma forma de realização particular, o tubo de aquecimento do coletor de calor tem um perfil de seção transversal oblongo que aumenta o fator de concentração solar, isto é, a relação entre a área de abertura do espelho concentrador e a área de absorção de luz solar do tubo de aquecimento. Em outra forma de realização, um tubo de aquecimento de parede espessa, opticamente transparente, é usado de modo que a superfície externa do tubo de aquecimento opera para aumentar as dimensões do canal de fluxo formado por uma superfície interna, para aumentar o fator de concentração solar ainda mais. Além disso, em ainda outra forma de realização, o espelho concentrador e o coletor de calor são capazes de serem montados de modo que o eixo geométrico focal do espelho e o coletor de calor são alinhados em paralelo com o eixo geométrico de rotação da terra. Isto minimiza o efeito de escorço de incidência solar por diferentes momentos do ano para melhorar a concentração solar. Uma vez que a eficiência aumentada, com impacto desprezível sobre o custo de capital, aumenta diretamente a taxa de geração de energia para diminuir o custo de energia elétrica, as características que melhoram a eficiência da instalação de energia térmica solar residencial da presente invenção, independentemente bem como em combinação, provê geração de energia/potência a custo reduzido.

A tabela 1 lista vários fatores de eficiência que são bem

conhecidos (com base na experiência com instalações de energia comercialmente correntes, tais como as instalações de SEGS no sul da Califórnia) para contribuir na eficiência total de sistemas de calha parabólica. Adicionalmente, a tabela 1 mostra como estes fatores de eficiência são

5 melhorados pela presente invenção.

Tabela 1

Componente	Calhas Parabólicas de S&L 2004	Presente Invenção	Observações
Eficiência de coletor de calor	0,862	0,944	Formato oblongo e tamanho de tubo de aquecimento reduzem grandemente as perdas por irradiação.
Ângulo de Incidência	0,873	0,959	A orientação polar reduz o escorço
Eficiência óptica	0,704	0,774	A orientação polar essencialmente elimina perdas terminais. A unidade simples não tem nenhum sombreamento de "fileira para fileira"
Perdas Térmicas de tubulação	0,965	1	A conexão direta com a armazenagem térmica elimina virtualmente perdas de tubulação
Eficiência de Instalações térmica para de energia	0,934	1	Perda não significativa para armazenagem em contato muito estreito com o motor térmico
Parasíticos	0,883	0,699	Apenas parte móvel (fora motor) é a calha propriamente dita
	0,422	0,699	Produto dos Seis Fatores acima

Os valores numéricos na tabela 1 para calhas parabólicas convencionais são tomados a partir de Sargent Lundry report para 2004 da tecnologia de calha parabólica. A vantagem de eficiência líquida da presente

10 invenção, isto é, o produto de todos os fatores de eficiência individuais, é mostrada na última fileira na tabela.

Uma vez que existe pouca na configuração corrente que incorre em custo adicional em relação àquelas instalações de SEGS bem conhecidas, é possível estimar o custo de eletricidade por meio da colocação

15 em escala o custo das SEGS convencionais pelo inverso do fator de eficiência relativa da tabela 1. Assumindo nenhum aumento significativo em custos capitais, o Custo de Eletricidade Nivelado (LEC) é estimado como sendo

cortado de 10 ¢/kWh para 6 ¢/kWh. Na aplicação residencial, o valor econômico do aquecimento derivado da água de resfriamento alimentada ao motor a vapor pode ser estimado com base na quantidade de combustível de aquecimento evitado. Este valor econômico é aproximadamente 2¢ por kWh de energia de aquecimento. A energia de aquecimento derivada do resfriamento do motor é aproximadamente o dobro da energia produzida pelo motor. A redução do custo de LEC pelo benefício econômico derivado da água e aquecimento de espaço conduz a um custo para a energia elétrica que é menor que 4¢/kWh. Uma vez que este é muito menor que o preço a varejo de energia elétrica, aproximadamente 10¢/kWh para um cliente típico no norte da Califórnia, isto mostra que a energia térmica solar residencial baseada na configuração da presente invenção é, na verdade, economicamente competitiva.

VI. BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Os desenhos acompanhantes, os quais são incorporados na exposição e formam uma parte da mesma, são como segue:

A figura 1 é uma vista em perspectiva de uma forma de realização de exemplo da aeronave térmica solar da presente invenção.

A figura 2 é uma vista de seção transversal da aeronave térmica solar, tomada ao longo da linha 2-2 da figura 1.

A figura 3 é uma vista de seção transversal da fuselagem de aeronave térmica solar, tomada ao longo da linha 3-3 da figura 2.

A figura 3a é uma vista de seção transversal ampliada do elemento de coleta de calor e retro-refletor encerrado no círculo 3a da figura 3.

A figura 4 é uma vista de seção transversal ampliada do elemento de coleta de calor encerrada no círculo 4 da figura 3a.

A figura 5 é uma vista em perspectiva do vaso de armazenagem de calor, acoplado com um motor térmico.

A figura 6 é uma vista de seção transversal do vaso de armazenagem de calor, tomada ao longo da linha 6-6 da figura 5.

5 A figura 7 é uma vista de seção transversal do vaso de armazenagem de calor e o motor térmico, tomada ao longo da linha 7-7 da figura 5.

A figura 8 é uma vista de seção transversal ampliada da estrutura de bombeamento de eixo de manivela, encerrada no círculo 8 da figura 7.

10 A figura 9 é uma vista de seção transversal ampliada da estrutura de invólucro de contenção híbrida de lítio.

A figura 10 é uma vista de seção transversal ampliada da estrutura de isolamento multicamada.

A figura 11 é um diagrama de circuito heliostato para o modo de rastreamento do sol.

15 A figura 12 é um diagrama de circuito heliostático para o modo de busca do sol.

A figura 13 é um diagrama de circuito de comutação de modo heliostático.

20 A figura 14 é uma vista em perspectiva de uma aeronave térmica solar de motor duplo/coletor duplo.

A figura 15 é uma vista em perspectiva de um propulsor solar de aeronave térmica, de motor duplo/tucho duplo.

A figura 16 é uma vista de seção transversal de um motor de Stirling.

25 A figura 17 é um gráfico de pressão de vapor de hidrogênio em equilíbrio com a mistura de LiH-Li.

A figura 18 é uma vista de seção transversal lateral de uma forma de realização de ventilador canalizado da aeronave solar acionada termicamente.

A figura 19 é uma vista de seção transversal através de uma forma de realização alternativa de tubo de calor, compreendendo uma estrutura de seis canais.

5 A figura 20 é uma vista de seção transversal de um vaso de armazenagem de calor alternativo e motor térmico incluindo um reservatório hermeticamente selado de fluido de trabalho.

A figura 21 é uma vista em perspectiva de uma forma de realização de exemplo da instalação de energia térmica solar residencial da presente invenção, montada em um local do hemisfério norte.

10 A figura 22 é uma vista de seção transversal axial de uma forma de realização de exemplo do espelho concentrador da presente invenção, mostrado protegido por um anteparo.

15 A figura 23 é uma vista de seção transversal da forma de realização mostrada na figura 1, tomada ao longo da linha 23-23 mostrando raios solares representativos no solstício do verão.

A figura 24 é uma vista de seção transversal similar à figura 23 da forma de realização mostrada na figura 21 e mostrando raios solares representativos no solstício do inverno.

20 A figura 25 é uma vista de seção transversal ampliada do coletor de calor de exemplo encerrado no círculo 25 na figura 22.

25 A figura 26 uma vista de seção transversal ampliada de uma forma de realização de exemplo do coletor de calor da presente invenção tendo um tubo de aquecimento de parede delgada com perfil de seção transversal oblongo circundado por um invólucro tubular opticamente transparente, evacuado.

A figura 27 é uma vista de seção transversal ampliada de uma terceira forma de realização de exemplo do coletor de calor da presente invenção, que é um tubo de aquecimento de parede espessa, opticamente transparente.

A figura 28 é uma vista de seção transversal ampliada de uma quarta forma de realização de exemplo do coletor de calor da presente invenção tendo um tubo de aquecimento de parede espessa, opticamente transparente, similar ao da figura 27, circundado por um invólucro tubular opticamente transparente, evacuado.

A figura 29 é um diagrama esquemático que ilustra uma forma de realização de geração de vapor de exemplo da presente invenção.

A figura 30 é uma vista geométrica em perspectiva do espelho de calha parabólico da presente invenção.

A figura 31 é uma vista de seção transversal ampliada de uma quinta forma de realização de exemplo do coletor de calor da presente invenção que tem quatro lados e quatro vértices opostos.

V. DESCRIÇÃO DETALHADA

A Aeronave térmica solar

Numerais de referência usados na descrição seguinte para a aeronave térmica solar são listados na Tabela 2.

Tabela 2

100	Aeronave acionada por calor solar	132	Camadas de MLI (isolamento de multicamadas) de material altamente refletor
102	Asa	133	Estrutura de invólucro de contenção de LiH
103	Fuselagem	134	Hidrogênio e outros produtos de dissociação de LiH
104	Leme	135	Espaçadores entre camadas de MLI
105	Leme de profundidade	136	Hidreto de lítio e lítio
106	Aileron	137	Liga impermeável de lítio
107	Transmissão	139	Camada de ouro
108	Canal de entrada de ar de refrigeração	140	Motor térmico
109	Hélice	141	Aletas de refrigeração
110	Espelho concentrador	142	Lado quente de trocador de calor
111	Leme de Profundidade do Leme vertical	143	Trocador de calor de regenerador
112	Revestimento de fuselagem transparente	144	Lado frio de trocador de calor
113	Refletor traseiro	145	Bomba de eixo de manivela
114	Suporte de concentrador solar	146	Filtro
115	Motor de acionamento de	147	Mecanismo de manivela

	concentrador solar		
116	Heliostato	148	Eixo de manivela
117	Heliostato Fotovoltaico A	149	Válvula de alívio de pressão de caixa de manivela
118	Heliostato Fotovoltaico B	150	Ventilador canalizado
119	Heliostato Fotovoltaico C	151	Espaço de expansão
120	Coletor de calor	152	Pistão de deslocador
121	Revestimento anti-reflexão	153	Espaço de compressão
122	Invólucro de coletor de calor	154	Pistão de Energia
123	Espaço de evacuado	155	Espaço de caixa de manivela
124	Revestimento de coletor de calor	156	Interstício de pistão deslocador
125	Invólucro de aço inoxidável	157	Interstício de pistão de energia
126	Fase de vapor de sódio	158	Região dobrada de tubo de calor
127	Fase líquida de sódio	160	Vaso de pressão de fluido de trabalho
128	Condensador de sódio	161	Reservatório de fluido de trabalho
129	Tubo de calor	162	Mancal de munhão impermeável a gás
130	Bateria térmica	163	Tampa permeável a hidrogênio
131	Invólucro de vácuo altamente reflexiva	164	Amplificador operacional

Fazendo agora referência aos desenhos, as figuras 1 e 2 mostram uma forma de realização de exemplo da aeronave da presente invenção, geralmente indicada com o caractere de referência 100. A aeronave 100 é mostrada tendo uma configuração convencional de corpo de aeronave com asas fixas, compreendendo uma fuselagem 103, e asas 102 e aletas de estabilização horizontais e vertical estendendo-se a partir da fuselagem. Quando usado aqui e nas reivindicações, o termo “corpo de aeronave” geralmente inclui a fuselagem, as asas, e as aletas horizontais e vertical, dentre outros componentes estruturais conectados com e estendendo-se a partir da fuselagem. Adicionalmente, o controle de atitude é provido pelo leme 104, lemes de profundidade 105 (ou um leme de direção de leme vertical 111 mostrado na figura 15) e ailerons 106. E um dispositivo de propulsão, tal como um hélice 109 na figura 1, é acoplado com um motor, tal como um motor térmico 140, para propelar a aeronave, e produzir assim força ascensional e sustentar voo livre da aeronave. Formas de realização alternativas de exemplo do corpo de aeronave são mostradas nas figuras 14, 15 e 17, discutidas em maior detalhe abaixo.

As figuras 1 e 2 também mostram a instalação de energia térmica solar da aeronave 100, geralmente posicionada no interior do corpo de

aeronave, mais precisamente a fuselagem 103. A instalação de energia térmica solar inclui um motor térmico 140, meio de armazenagem de calor, ou seja, uma bateria térmica 130, incluindo um recipiente de armazenagem de calor e meio, um concentrador de rastreamento solar 110, e um conduto de coleta/transporte de calor, dispositivo, ou outro meio 120. O motor térmico 140 é mostrado montado dentro da fuselagem 103 e em uma extremidade dianteira, com a bateria térmica 130 (e em particular o meio de armazenagem de calor) em contato térmico com um lado quente do motor térmico. Devido ao seu local interno, um canal de entrada de ar de refrigeração 108 pode ser provido para direcionar a esteira do ar ambiente recalcado pela hélice da hélice 109 para um lado frio do motor térmico, para refrigeração. Uma forma de realização de exemplo, alternativa, mostrada na figura 18, compreende uma montagem traseira de um motor térmico 140, com ar ambiente aspirado para depois das aletas de refrigeração 141 por meio de um ventilador canalizado 150, montado atrás. O concentrador de rastreamento solar 110 é movelmente montado para atuação em uma seção opticamente transparente 112 do corpo de aeronave, mostrada na figura 2 como uma seção da fuselagem 103. A seção opticamente transparente 112 tem uma revestimento de fuselagem que é feito de um material leve, opticamente transparente, resistente a ultravioleta, tal como TEDLAR da DuPont, que permite que a maioria da energia solar incidente seja transmitida através da mesma e para o concentrador solar 110.

Concentrador de Rastreamento Solar

As figuras 2 e 3 mostram o concentrador solar, isto é, o espelho concentrador 110, na forma preferida de um refletor parabólico configurado como calha, o qual é montado móvel em uma estrutura de suporte 114 conectada com a fuselagem. Em particular, o espelho concentrador é montado de modo a girar livremente em torno de um eixo geométrico de rotação, o qual é preferivelmente um eixo geométrico focal do

refletor de calha parabólico. Além disto, o eixo geométrico de rotação pode também ser posicionado para ser coaxial com o eixo geométrico central da fuselagem. Em qualquer caso, o espelho concentrador pode ser feito de um leve filme de plástico delgado, por exemplo, estirado sobre um arranjo de esqueleto do último e revestido com uma camada delgada de metal altamente reflexivo, tal como ouro ou prata. E a estrutura de suporte de concentrador solar é preferivelmente uma armação de espaço que permite que a maioria do fluxo solar incidente seja transmitida para o espelho concentrador 110. O conjunto de concentrador solar inteiro é balanceado, de modo que nenhum torque é requerido para manter uma orientação particular.

O controle rotacional do concentrador solar é provido por meio de um dispositivo ou meio de rastreamento solar incluindo um dispositivo ou meio para determinar se o concentrador solar é otimamente alinhado com o sol, e um dispositivo ou meio para atuar, por exemplo, girar, o espelho concentrador solar para o alinhamento ótimo com o sol com base na determinação ótima de alinhamento. Quando usado aqui e nas reivindicações, “alinhamento ótimo” é aquele alinhamento e ângulo que produzem a concentração máxima de fluxo solar, Istoé, uma posição “voltada diretamente” para o sol. O dispositivo ou meio de atuação pode compreender, por exemplo, um motor de acionamento 115 (figura 2) montado no eixo geométrico de rotação do conjunto concentrador solar. E o dispositivo ou meio utilizado para determinar o alinhamento ótimo pode ser um heliostato 116 adaptado para determinar o alinhamento do sol com respeito ao eixo geométrico focal do espelho concentrador 110 e operativamente conectado com o motor de acionamento 115 para controlar a atuação rotacional do concentrador solar. Em particular, o heliostato é adaptado para detectar uma sombra de um elemento de coleta e transporte de calor (tubo de calor) ao longo do eixo geométrico focal para uso na determinação de alinhamento óptico. O heliostato 116 é mostrado na figura 2 montado no espelho

concentrador, e, em particular, ao longo de um plano simétrico da calha parabólica reflexiva. O heliostato 116 inclui elementos de detecção que são preferivelmente células solares (por exemplo, 117-119) e que são preferivelmente simetricamente arranjados em torno do plano de simetria do espelho concentrador 110. Em uma forma de realização preferida, as células solares incluem uma célula central 118, e duas células externas 117, e 119, em lados opostos da célula central.

Um método preferido de operação do heliostato usa uma célula solar central e duas células solares externas em um sistema de estabilização de realimentação de circuito fechado envolvendo dois modos de operação: um modo de busca do sol, e um modo de rastreamento do sol, mostrados nas figuras 11-13. Primeiramente, no modo de rastreamento do sol, o sol já está alinhado com o plano de simetria da calha parabólica reflexiva, e desvios a partir do alinhamento são detectados. Quando o concentrador solar está apropriadamente, isto é, otimamente, alinhado com o sol, ambas as células externas 117, 119 do heliostato 116 são igualmente iluminadas, enquanto a célula central 118 está na sombra do refletor traseiro 113 do coletor de calor 120 (ou a sombra do coletor de calor propriamente dito, se um refletor traseiro não for usado). Quando o alinhamento se desvia ligeiramente a partir do ótimo, uma das células solares externas 117, 119 no heliostato 116 obtém uma maior exposição solar, enquanto a exposição da célula oposta diminui. Estes sensores alimentam um mecanismo de controle (não mostrado), conhecido na arte, operativamente conectado com o mecanismo de atuação, por exemplo o motor 115, para girar ajustavelmente o concentrador solar 110 sobre a estrutura de suporte 114 para manter o alinhamento ótimo do espelho concentrador com relação à direção projetada para o sol. Um exemplo de um tal sistema é mostrado na figura 11. Nesta figura, a tensão enviada para o motor elétrico de CC 115 é a diferença das tensões através dos fotodiodos 117 e 119, e é proporcional ao desvio a partir da posição alinhada, e tem um

torque de restauração aproximadamente linear para uma certa faixa de desvios.

No modo de busca do sol, fotodiodos associados com as duas células externas 117 e 119 são conectadas eletricamente, como mostrado na figura 12. Desde que alguma iluminação solar esteja presente, o motor de CC 115 produz um torque de acionamento sobre a estrutura de concentrador solar. Sob a condição que nenhuma sombra cai sobre quaisquer dos fotodiodos, e eles são igualmente iluminados, a tensão média dos fotodiodos de extremidade (que está acionando o motor) é menor que a tensão através do diodo central. Neste caso, a saída do amplificador operacional 164 é baixa, e o comutador de polaridade está no modo de busca do sol. A transição do modo de busca do sol para o modo de rastreamento de sol ocorre quando a sobre do refletor traseiro de coletor de calor axial cai sobre o fotodiodo central 118. Quando o foto-diodo central torna-se suficientemente sombreado, sua tensão cai abaixo da tensão média dos dois foto-diodo externos 117 e 119. Um circuito que explora esta queda na tensão de diodo central para alterar a polaridade relativa das conexões dos diodos 117 e 119 com o motor 115 é exibido na figura 13. Quando o diodo central 118 torna-se suficientemente sombreado, sua tensão cai, e a saída do amplificador operacional passa a ficar alta, disparando assim o modo de rastreamento do sol. Fricção da estrutura mecânica serve para amortecer oscilações em torno da orientação apropriadamente alinhada.

É apreciado que o modo de busca do sol é requerido no nascer do sol uma vez por dia, e também em cada vez que o rumo da aeronave torna-se muito próximo da projeção projetada para o sol, e o heliostato não está suficientemente iluminado para manter o rastreamento do sol. Adicionalmente, os sensores de célula solar são adaptados para prover energia para acionar diretamente o atuador de rotação axial, isto é, o motor de CC 115, e nenhuma fonte de energia externa é requerida. Desta maneira, a massa

e complexidade requeridas para o sistema de heliostato são grandemente reduzidas.

Coleta de Calor e Elemento de Transporte (Tubo de Aquecimento)

Uma vez quando o refletor de calha parabólico 110 está alinhado com o sol, radiação solar é focada sobre o centro de um coletor de calor 120, mostrado melhor nas figuras 2 e 3 como estando posicionado ao longo do eixo geométrico focal do refletor de calha parabólico 110 (mostrado também como o eixo geométrico central da fuselagem 103). Como mostrado nas figuras 3a e 4, o coletor solar 120 inclui um tubo de aquecimento central 129 e um invólucro de coletor de calor 122, que é um vaso de vácuo transparente que permite que a luz solar focada seja transmitida para o tubo de aquecimento central 129. Em uma forma de realização preferida, o material de invólucro é sílica fundida, em virtude de sua transparência, alta resistência, e tolerância a alta temperatura. O invólucro de coletor de calor transparente 122 é construído para suportar um vácuo suficientemente alto no espaço evacuado 123 para prevenir significativa perda de calor condutiva ou convectiva a partir do tubo de aquecimento central 129. O invólucro de coletor de calor 122 pode ter um revestimento anti-reflexão 121 que diminui a perda de transmissão da luz solar para o tubo de aquecimento central, e minimiza o aquecimento radiativo do invólucro por meio do tubo de aquecimento central. Como mostrado na figura 4, tanto uma superfície interna quanto uma superfície externa do invólucro de coletor de calor 122 são revestidas com o revestimento anti-reflexão 121.

Como mostrado na figura 4, o tubo de aquecimento 129 preferivelmente tem uma micro-estrutura de tubo de calor triangular 129 com um único canal triangular, cuja configuração é especialmente adequada para aplicações em aeronaves pequenas. Para aplicações em maiores aeronaves, todavia, tubos de aquecimento que têm uma rede de múltiplos canais capilares em paralelo são preferidos. Um exemplo da configuração de múltiplos canais

capilares é mostrado na figura 19, que ilustra um conjunto estreitamente empacotado de seis canais paralelos, cada tendo uma seção transversal triangular. O tubo de aquecimento 129 contém um fluido de trabalho de transferência de calor que opera para coletar energia solar e transportar calor para o meio de armazenagem de calor e/ou para o motor térmico (ver as figuras 5 e 6). O fluido de trabalho de transferência de calor é preferivelmente sódio, tanto na fase líquida, mostrada como um menisco ao longo dos três cantos da estrutura de tubo de calor triangular, quanto na fase de vapor 126. Alternativamente, lítio pode ser utilizado na qualidade do fluido de trabalho de transferência de calor. Em qualquer caso, o raio de curvatura do menisco de fluido de trabalho do tubo de aquecimento varia através do comprimento da região de aceitação de calor do coletor de calor e produz uma queda de pressão que impulsiona vapor a partir da extremidade quente do tubo de aquecimento, posicionada ao longo do eixo geométrico focal do concentrador solar, para um condensador de sódio 128, posicionado dentro da bateria térmica 130. Um correspondente fluxo de retorno de sódio líquido é drenado a partir do condensador para dentro da seção quente. Este dreno é principalmente promovido por forças capilares, mas é também suplementado por gravidade em uma região encurvada 158 do tubo de aquecimento, ilustrada na figura 5 e discutida em maior detalhe abaixo.

O invólucro 125 do tubo de aquecimento mostrado na figura 4 é preferivelmente construída de material de alta resistência, de alta temperatura, tal como aço inoxidável, com um revestimento externo 124 que absorve luz solar muito eficientemente, enquanto ao mesmo tempo tem emissividade térmica relativamente baixa. De acordo com a referência “Reduzindo o Custo de Energia de Instalações de Energia Solar de Calha Parabólica: Preprint (Reducing the Cost of Energia from Parabolic Trough Solar Power Plants: Preprint), de H. Price e D. Kearney, disponível do National Technical Information Service, número de relatório NREL/CP-550-

33208, publicado em janeiro de 2003, e aqui incorporado para referência, uma transmitância solar de invólucro de 96%, uma absorção solar de revestimento de 94,1%, e uma emitância térmica de revestimento de 9,1% foram mostradas que são práticas para sistemas de coleta de energia solar. Assumindo estes valores para as propriedades ópticas do elemento de coleta, a eficiência para operação do tubo de aquecimento a 876,85 °C (1150 K), próximo ao ponto de ebulição do sódio, seria aproximadamente 85% para um tubo de aquecimento 129 tendo seção transversal de triângulo equilátero, tendo uma largura de base igual a 0,35% da abertura do espelho concentrador 110.

Com a adição de um refletor traseiro 113 altamente reflexivo, semicircular, mostrado na figura 3a, esta eficiência aumenta para aproximadamente 90%. O refletor traseiro é posicionado adjacente ao coletor de calor 120 em um lado oposto à calha parabólica e preferivelmente montado rotativamente na estrutura de suporte de concentrador 114 juntamente com o concentrador solar. Na forma de realização preferida, o refletor traseiro 113 tem uma seção transversal semicircular que é concêntrica ao tubo de aquecimento, e, assim, muita da radiação térmica do tubo de aquecimento emitida na direção em afastamento ao espelho concentrador não é perdida, mas é, em contraste, refletida de volta e re-focada sobre o tubo de aquecimento. Tubos de aquecimento que têm diâmetros significativamente maiores que 0,35% da abertura de concentrador absorvem um pouco mais de energia, mas têm maior área de superfície radiante e são, assim, menos eficientes. Tubos de calor que têm diâmetros significantemente menores que 0,35% da abertura de concentrador são significantemente menores que a imagem projetada do sol sobre sua superfície, e têm, assim, baixa eficiência de coleta. A eficiência de 90% com o refletor traseiro 113 representa a fração da energia solar incidente sobre o espelho concentrador que é realizado como calor para o lado quente do motor térmico e é disponível para armazenagem térmica. O revestimento de coleta solar 124 se estende somente sobre a

porção do tubo de aquecimento que é iluminada pelo concentrador solar. Para o intervalo entre a extremidade da região de absorção solar e a bateria térmica, a superfície externa de tubo de aquecimento é de material altamente reflexivo, tal como ouro. Isto reduz a emissão térmica a partir do tubo de aquecimento em regiões onde ele não é projetado para ser coletor de energia solar.

Os métodos de fabricação para o coletor de calor 120 são bem conhecidos por aqueles versados na arte de fabricação de tubo a vácuo eletrônico. Mais precisamente, a estrutura total é similar a um longo “bulbo de lâmpada” cilíndrico, consistindo de um invólucro transparente com um “filamento” central de alta temperatura, ou seja, o tubo de aquecimento 129. Como é bem conhecido na arte, tais vasos de vácuo podem manter um vácuo de suficiente qualidade para manter o isolamento térmico entre o filamento e o invólucro de vidro por anos. Um absorvedor de gás, tal como titânio, (não mostrado), pode ser depositado sobre o interior do invólucro de coletor de calor na seção entre a região de concentrador solar e a bateria térmica a fim de ajudar a manter a requisitada qualidade de vácuo, e ainda não degradar a eficiência de coleta de calor.

Ação de Diodo Térmico do Tubo de Aquecimento

Uma vez que o mecanismo de transporte de calor no tubo de aquecimento 129 é predominantemente acionado por meio de ação capilar quando iluminado pelo sol, uma suave curva no coletor de calor 120 pode ser empregada para a conveniência de acoplamento do coletor de calor 120 com a bateria térmica 130. Além disto, uma curva tal como a curva 158 inclinándose para baixo na figura 5, entre a bateria térmica 130 e o concentrador solar 110, também provê uma ação de “diodo térmico” para o tubo de aquecimento. A inclinação descendente na curva 158 em afastamento à bateria térmica 130 serve como um “dreno” para o fluido de trabalho de tubo de aquecimento durante os períodos de escuridão. Uma vez que o dispositivo de heliostato

atua autonomamente para manter o concentrador solar apontado para o sol todas as vezes que luz solar é disponível; durante horas de iluminação solar, o sódio, por exemplo, no tubo de aquecimento, permanece ativo como um meio de transferência de calor. Durante períodos de escuridão prolongados, o sódio nas regiões remotas do tubo de aquecimento a partir da bateria térmica 130 irá se liquefazer e então se solidificar. Sódio líquido irá ser drenado para fora da bateria térmica 130 por gravidade, através da curva 158, para o tubo de aquecimento 120. Eventualmente, quase todo o sódio se congelará em regiões do tubo de aquecimento abaixo da região de curva 158. A conexão térmica remanescente fora da bateria térmica é o invólucro de tubo de aquecimento de aço inoxidável, e o invólucro de vidro fino, nenhum dos quais tem significativa condutividade térmica. Desta maneira, o tubo de aquecimento atua como um diodo térmico para prevenir significativa perda de calor a partir da bateria térmica durante períodos de escuridão prolongados, tal como durante a noite, ou durante prolongados períodos de cobertura por pesadas nuvens, enquanto tem eficiência de transporte de calor muito alta durante períodos iluminados pelo sol.

Recipiente de Bateria Térmica

Como previamente mencionado e ainda mostrado nas figuras 6 e 7, a bateria térmica 130 inclui (1) um recipiente de armazenagem de calor compreendendo camadas 131, 132, 133, e (2) um meio de armazenagem de calor, ou seja, um núcleo de bateria térmica 136 contido no recipiente de armazenagem de calor. Com respeito ao recipiente de armazenagem de calor, ou seja, o recipiente de bateria térmica, ele inclui várias camadas de material delgado altamente reflexivo 132, separadas por meio de espaçadores 135, e um vaso de vácuo externo 131, altamente reflexivo, envolve uma estrutura de invólucro de contenção 133. Como mostrado na figura 9, a estrutura de invólucro de contenção 133 é ainda composta de um invólucro de contenção principal 137 e uma camada de ouro 139, descritas em detalhe abaixo. As

camadas de material altamente reflexivos atuam como blindagem contra radiação, e provêem isolamento térmico do núcleo de bateria térmica 136. Os espaçadores 135 que separam as camadas múltiplas do material reflexivo, na forma de realização preferida, são simplesmente depressões apontadas no material reflexivo, tendo muita pouca massa, e provendo muito pouco contato entre as camadas. O vaso 131 é evacuado para prevenir degradação condutiva ou convectiva do isolamento térmico. Uma certa quantidade de material de “absorvedor de gás”, tal como titânio, (não mostrado), pode ser depositada sobre o interior do vaso de vácuo 131 a fim de manter a qualidade do vácuo suficientemente alta, que a qualidade do isolamento térmico do isolamento multicamada é preservada. Como é conhecido com conhecimento comum na arte, para uma tal estrutura de isolamento multicamada, projetada para ter perda térmica condutiva e convectiva desprezível, para um material reflexivo que tem uma emissividade de 0,03 (como é tipicamente o objetivo do revestimento) em um total de 15 camadas, e uma temperatura interna de 926,85 °C (1200 K), a emissividade térmica efetiva é 0,001, e a taxa de perda de energia de refrigeração radiativa é aproximadamente somente 120 W/m².

Núcleo de Bateria Térmica

Com respeito ao meio de armazenagem de calor, ou seja, o núcleo de bateria térmica 136 contido no recipiente de bateria térmica, a utilidade de LiH como um meio de armazenagem de energia térmica foi previamente discutida nos Antecedentes, e é devida à energia térmica muito alta por característica de unidade de massa de LiH. Todavia, a fim de abordar o problema de contenção de hidreto de lítio para altas temperaturas, por exemplo, 700°C, e mais altas, uma pequena mistura de lítio é utilizada para prevenir uma explosão de hidrogênio. Assim, o meio de armazenagem de calor, ou seja, o núcleo de bateria térmica 136, consiste de uma mistura de hidreto de lítio e metal de lítio, em equilíbrio com vários produtos de dissociação 134, incluindo gás de hidrogênio e lítio em fase líquida e hidreto

de lítio. A contribuição mais significativa para a pressão de vapor total é a pressão parcial de hidrogênio. A pressão de hidrogênio em equilíbrio é uma função tanto da temperatura quanto da fração de Li em uma mistura, como é exibido na figura 17. Teoricamente, LiH puro tem uma pressão de vapor de hidrogênio infinita justamente acima do ponto de fusão de LiH. Por conseguinte, é necessário ou prover uma certa pequena quantidade de Li juntamente com o LiH no núcleo de bateria térmica, ou permitir que algum hidrogênio se permeie para fora do recipiente antes da selagem final.

A fabricação da mistura de LiH e Li pode ser atingida por iniciar com uma quantidade inicialmente pura de LiH no processo de fabricação de bateria térmica, e depois a inicial selagem hermética do LiH em seu invólucro de contenção principal 137, consistindo de uma liga impermeável de LiH-Li, teste da qualidade do selo por meio do aquecimento do LiH para justamente abaixo do ponto de fusão. Algumas ligas possíveis, as quais são relativamente inertes a Li, são Mo-Zr, Mo-Re, e Nb-Zr, como descrito em “Tubos de Aquecimento de Metal Líquido a Altas Temperaturas” (“High Temperature Liquid Metal Heat Pipes”), de A. Bricard, T. Claret, P. Lecocq e T. Alleau, no Proceedings of the 7th International Heat Pipe Conference, (1993), incorporado aqui para referência. Em adição, aço ao carbono muito baixo é também inerte ao Li e LiH. De acordo com a referência “Compatibilidade de materiais de contenção potenciais com hidreto de lítio fundido a 800°C” (“Compatibility of potential containment materials with molten lithium hydride através 800°C”), de S.J. Pawel, publicado no Journal of Nuclear Materials, volume 207, páginas 136-152, em 1993, também aqui incorporado para referência, “Aços de baixo carbono (<0,06%) estabilizados (Nb e Ti) são observados como sendo essencialmente inertes em LiH a 800°C com carbetos estáveis e nenhum crescimento de grão”. o inicial passo de aquecimento de “teste de selo” causa com que uma significativa pressão de hidrogênio se estabeleça no recipiente de LiH. Se o selo é ruim,

uma pressão de hidrogênio relativamente alta será observada. Em contraste, se o recipiente for bem selado, uma pressão de hidrogênio muito menor será ainda vista fora do recipiente, devida somente à permeação de hidrogênio. Depois de uma pequena quantidade de hidrogênio ter sido permitida que se permeie para fora do recipiente, o LiH pode ser lentamente elevado (para evitar um pico de pressão excessiva) acima do ponto de fusão, e suficiente hidrogênio removido pela permeação para levar a fração de metal de Li que remanesce no núcleo 136 até um valor desejável.

Como um exemplo, por obter uma mistura de metal de Li de 2%, a pressão de hidrogênio em uma temperatura de trabalho de 826,85 °C (110 K) será justamente acima de uma atmosfera, como pode ser lido a partir da plotagem na figura 17. Uma vez quando a desejada mistura de LiH-Li foi atingida, o aquecimento pode ser finalizado, e o recipiente de LiH permitido que se resfrie. Para prevenir ulterior significativa permeação de hidrogênio, o invólucro de contenção de LiH é revestida com uma camada de ouro 139. A camada mais externa de ouro 139 provê uma barreira de permeação para a evolução de hidrogênio. Uma camada de ouro de aproximadamente 0,00254 cm (0,001”) é estimada que produza uma vida útil de contenção de hidrogênio superior a um ano. O ouro tem a vantagem adicional de ter baixa emissividade térmica (aproximadamente 3%), e provê assim baixa perda de refrigeração radiativa térmica através do isolamento térmico multicamada.

Cavidades internas dentro da bateria térmica 130 provêem bom contato térmico com ambos os condensadores de sódio 128 na extremidade do tubo de aquecimento 129, como ilustrado na figura 6. A superfície externa do condensador de sódio 128 é principalmente refrigerado pelo hidrogênio “em ebulição” quando o LiH se dissocia. Bolhas de hidrogênio se elevam para o espaço de vapor, com alguma recombinação de hidrogênio-lítio ocorrendo na fase líquida 136, e alguma recombinação que ocorre na fase de vapor 134, até que o equilíbrio seja atingido. O condensador

de sódio é suficientemente grande para assegurar que o fluxo de calor através do condensador de sódio 128 para dentro da bateria térmica é abaixo do fluxo de calor crítico marcando o início da assim chamada ebulição de “transição”, e mantendo assim uma alta eficiência de transferência de calor.

5

Motor térmico

A figura 16 ilustra um motor de Stirling da forma beta, bem conhecido pelos profissionais na arte de motores térmicos, o qual serve como uma forma de realização preferida do motor térmico 140. Geralmente, um mecanismo de manivela 147 converte o movimento alternativo do motor de Stirling para o movimento rotativo de uma hélice por meio de um eixo de manivela 148, como é bem conhecido para aqueles versados na arte. O motor de Stirling tem um lado quente e um lado frio, representado por um trocador de calor de lado quente 142 e um trocador de calor de lado frio 144, respectivamente. O mecanismo de motor de Stirling força um fluido de trabalho, tal como, por exemplo, ar ou hélio, hermeticamente selado no mesmo, a passar ciclicamente a partir do espaço de expansão 151, através do trocador de calor de lado quente 142, o regenerador 143, o trocador de calor de lado frio 144, para o espaço de compressão 153, e de volta. O fluido de trabalho vai através de um ciclo de pressão que é colocado em fase para fornecer energia líquida sobre o curso de um ciclo, através do pistão de potência 154, para o eixo de manivela 148. A fase da variação do volume de espaço de compressão 153 em relação ao volume de espaço de expansão 151 é aproximadamente 90°. O interstício 156 em torno do pistão deslocador é suficientemente grande de forma que somente uma insignificante queda de pressão é desenvolvida entre o espaço de expansão 151 e o espaço de compressão 153. Em contraste, o interstício 157 em torno do pistão de potência é suficientemente pequeno, de modo que quase não existe nenhum fluido de trabalho entre o espaço de compressão 153 e o espaço de caixa de manivela 155. Ainda, sobre muitos ciclos, suficiente fluido de trabalho flui

através do interstício de pistão de potência 157 que equilíbrio é atingido entre a pressão média no espaço de compressão 153 e a pressão média no espaço de caixa de manivela 155.

Como ilustrado na figura 7, a bateria térmica 130, geralmente, e o meio de armazenagem de calor, em particular, por exemplo, a mistura de LiH/Li, está em contato térmico com o lado quente do motor térmico 140 para fornecer calor ao mesmo a partir do calor armazenado suportado pelo conduto de coleta de calor e de transporte, isto é, o tubo de aquecimento 120. O trocador de calor de lado quente 142 é principalmente aquecido por condução a partir da fase líquida quente 136 através da parede de recipiente delgada 133. Calor perdido é removido do trocador de calor de lado frio 144 do motor térmico 40 por meio de refrigeração convectiva forçada provida pelo ar ambiente fluindo para dentro através do canal de entrada 108 depois do conjunto de aletas de refrigeração 141. Uma vez que a temperatura de ar em alta altitude é muito baixa, aproximadamente $-53,15^{\circ}\text{C}$ (220 K) entre 10 km e 40 km, o lado frio do motor térmico pode se mantido relativamente frio, e a resultante eficiência de motor térmico de Carnot pode exceder a 70%. O atingimento de uma tal eficiência é auxiliada pelo projeto do canal de refrigeração 108 mostrado na figura 2. O ar de refrigeração forçado depois das aletas de refrigeração 141 pode ser impulsionado pelo fluxo de ar após a aeronave, uma hélice dianteira 109 ou um ventilador canalizado traseiro 150. Como exibido na figura 7, o comprimento total do trocador de calor de lado quente 142 está situado dentro do núcleo de bateria térmica, enquanto a envergadura total do gerador 143 estende-se através do interstício entre o núcleo de bateria térmica e o vaso de vácuo externo, e o trocador de calor de lado frio 144 está situado dentro da faixa das aletas de refrigeração 141. Este arranjo maximiza o contato térmico tanto com o reservatório térmico quente quanto como frio.

Modulação de Energia do Motor de Stirling

A energia produzida pelo motor de Stirling tende a aumentar com a pressão média no espaço de expansão 151 dentro do motor. Assim, a ventilação da caixa de manivela de motor, através da válvula de alívio de pressão da caixa de manivela 149 mostrada na figura 7, para o ar ambiente, por exemplo, serve para diminuir a energia de saída. Correspondentemente, o aumento da pressão de caixa de manivela serve para aumentar a energia de saída.

A pressurização da caixa de manivela acima da pressão atmosférica ambiente é preferivelmente atingida por meio da ação de uma bomba de eixo de manivela 145 que produz uma ação de bombeamento quando o eixo de manivela gira, para auto-pressurizar a caixa de manivela. A bomba de eixo de manivela 145 compreende pelo menos uma ranhura helicoidal na superfície de eixo de manivela ou em um munhão que envolve o eixo de manivela. É apreciado que uma ou mais ranhuras helicoidais podem ser utilizadas na mesma direção para maior desempenho de bombeamento. E um filtro 146 previne a contaminação por particulados no fluido de trabalho por entupimento das passagens na bomba de eixo de manivela 145.

Na forma de realização preferida, a caixa de manivela pressuriza-se para um valor determinado pela queda de pressão através da bomba de eixo de manivela e a pressão atmosférica externa, para o caso que o fluido de trabalho é simplesmente ar ambiente. Esta queda de pressão é, por sua vez, determinada pela configuração das ranhuras, tanto em termos do número de ranhuras, quanto no formato de ranhura. A velocidade de estado estável da bomba de eixo de manivela é projetada para produzir uma dada pressão de operação média dentro da caixa de manivela do motor. Uma queda de pressão da atmosfera através da bomba de caixa de manivela, por exemplo, produz uma pressão de operação que é relativamente insensível à altitude de operação da aeronave. Em uma altitude que corresponde a 10% da pressão atmosférica, a pressão de operação de motor seria aproximadamente 50%

daquela que corresponde ao nível do mar.

Uma forma de realização alternativa é mostrada na figura 20, que usa hélio como o fluido de trabalho no motor de Stirling, inclui um reservatório fechado e selado 160 (o vaso de pressão do fluido de trabalho) que serve para conter hélio que é ventilado a partir da válvula de alívio de pressão de caixa de manivela 149, e retornar o hélio liberado para a bomba de eixo de manivela 145 m um ciclo fechado através de um filtro 146. A pressão do hélio na câmara selada é muito menor que a pressão de operação de motor, e assim o mancal de munhão de eixo de manivela externo 162 pode facilmente atuar como um selo impermeável a gás para prevenir significativa perda de hélio para o ar ambiente. Em outra forma de realização, o fluido de trabalho pode ser hidrogênio e, em adição, uma tampa permeável a hidrogênio 163 (até mesmo aço de temperatura mais alta será adequado para esta finalidade, sob muitas circunstâncias) pode ser usada na extremidade quente do motor de Sterling. Neste caso, a lenta perda de hidrogênio a partir do núcleo de bateria térmica 136 pode ser equilibrada por um lento ganho a partir do fluido de trabalho de hidrogênio do motor de Stirling através da tampa terminal 163, estendendo assim a vida útil de contenção de hidrogênio da bateria térmica para um grau arbitrário.

20 Configurações Alternativas

As figuras 14, 15 e 18 mostram arranjos alternativos das instalações de energia térmica solar para aeronave de várias configurações. A figura 14 ilustra a aeronave 100 tendo duas instalações de energia solar, uma em cada asa 102 da aeronave. Em particular, a figura 14 mostra múltiplos sistemas de coleta e armazenagem de energia solar, montados nas asas, acoplados diretamente em um correspondente motor térmico montado na asa. Assim, cada instalação de energia solar de cada asa é auto-sustentável e independentemente operável. A figura 15 mostra um sistema de coleta e armazenagem de energia solar, montado na fuselagem, com uma

multiplicidade de hélices montadas nas asas, acionadas por um sistema de transmissão 107. É apreciado que as hélices podem ser arranjadas para empurrar a aeronave, como especificamente mostrado na figura 15, ou, alternativamente, para puxar a aeronave (não mostrada). E a figura 18 mostra um sistema de coleta e armazenagem de energia solar, montado na fuselagem, com um sistema de propulsão de ventilador canalizado montado na popa 150. Como mostrado, o motor térmico 140 e aletas de refrigeração 141 em particular são refrigeradas através de uma entrada de ar 108 que também serve para fornecer fluxo de ar para o sistema de propulsão por ventilador canalizado.

B. Instalação de Energia Térmica Solar Residencial

A instalação de energia térmica solar que foi previamente discutida para aeronave acionada por energia solar pode também ser incorporada para uso em aplicações residenciais e comerciais baseadas no solo, doravante coletivamente referidas como “instalações de energia solar-térmica residenciais”. Quando usadas em tais implementações estacionárias fixas, benefícios adicionais podem ser obtidos, tais como, por exemplo, eficiências de custo que podem tornar tais plantas de energia térmica solar residenciais economicamente atrativas para o consumo doméstico. Embora a seguinte descrição enfoque principalmente aplicações de estruturas fixas, é apreciado, todavia, que a instalação de energia térmica solar residencial da presente invenção pode ser também montada sobre outras estruturas que não são necessariamente fixas ou baseadas no solo, tais como, por exemplo, em embarcações, trens, ou outras plataformas móveis, mas adstritas à terra, para realizar benefícios similares de eficiente geração de energia solar-térmica.

Os números de referência usados na descrição que segue para a instalação de energia térmica solar residencial são listada na tabela 3.

Tabela 3

210	Espelho concentrador de calha parabólico	231	Válvula de água de ciclo de coletor
212	Anteparo transparente	232	Topo do nível de líquido
213	Plano de simetria de espelho	233	Linha de vapor fornecido
214	Suporte de espelho concentrador	234	Topo da região de ebulição
215	Suporte/girador de espelho concentrador	235	Bomba de água do ciclo de coletor
220	Coletor de calor	236	Bomba de água de enlace de motor
222	Invólucro de parede delgada de silicato de boro	237	Válvula de retenção automática
223	Tubo de parede espessa de lente de imersão	238	Válvula de vapor de enlace de motor
224	Espaço evacuado	239	Válvula de água de enlace de motor
226	Tubo de aquecimento de aço texturizado	240	Motor acionado por calor (por exemplo, motor a vapor)
227	Revestimento preto	241	Vaso de pressão
228	Espaço de fluido de transferência de calor; canal de fluxo	242	Seixos de rocha
229	Raio solar representativo	244	Tanque de água condensada
229A	Raio solar representativo A	245	Seixos superiores
229B	Raio solar representativo B	248	Eixo de manivela
229C	Raio solar representativo C	249	Gerador
229D	Raio solar representativo D	250	Linha de fornecimento de água fria
229E	Raio solar representativo E	251	Linha de retorno de água quente
229F	Raio solar representativo F	260	Fornecimento de água quente residencial
229G	Ponto de absorção de Raio solar mais inferior	261	Radiador
229H	Ponto de absorção de raio solar mais superior	262	Fornecimento de água fria
230	Reservatório de armazenagem de energia térmica	270	Estrela do Norte

A figura 21 mostra em vista em perspectiva uma forma de realização de exemplo da instalação de energia térmica solar residencial da presente invenção tendo vários componentes principais, incluindo um espelho de concentração solar 210 capaz de girar em torno de um eixo geométrico de rotação e focalizar luz solar ao longo de um eixo geométrico focal, um coletor de calor 220 (similar ao coletor de calor 120) posicionado ao longo do eixo geométrico focal do espelho para absorver a luz solar focada/concentrada, um reservatório de armazenagem de energia térmica 230, conectado com uma extremidade de saída do coletor de calor, e um motor acionado por calor 240, operativamente conectado com o reservatório de armazenagem de energia

térmica, todos dos quais são similares em construção e operação àqueles previamente descritos para a aeronave térmica solar. Em particular, o formato preferido de espelho de concentração solar 210 para uso na instalação de energia térmica solar residencial é também aquele de uma calha parabólica alongada, como ilustrada na figura 30, a qual tem um comprimento L na direção longitudinal de seu eixo geométrico focal e uma seção transversal de curva parabólica com uma superfície interna reflexiva que focaliza luz solar sobre o eixo geométrico focal. O espelho concentrador tem uma largura W , e um plano de simetria longitudinal 213 que passa através tanto do eixo geométrico focal da curva parabólica, na metade ao longo da largura W , quanto do centro da curva parabólica na base da calha, como mostrado na figura 30.

E a figura 22 mostra uma vista de seção transversal axial do espelho de concentração 210 e coletor de calor da instalação de energia térmica solar residencial tendo um tubo de aquecimento 226 (representando o coletor de calor como seu componente principal) posicionado coaxialmente ao longo do eixo geométrico focal do espelho de modo que luz solar focada pelo espelho é incidente sobre o tubo de aquecimento 226 para aquecer um fluido de trabalho (não mostrado) dentro do tubo. Para girar o espelho de concentração em torno de seu eixo geométrico de rotação (por exemplo, o eixo geométrico focal), um dispositivo atuador, motor, ou outro meio 215, para girar o espelho, similar àquele descrito para a aeronave térmica solar, é preferivelmente usado, com a exceção que o dispositivo atuador é preferivelmente um acionamento por mecanismo de relógio que opera para girar o espelho com base em uma determinada programação de rotação, tal como 24 horas por ciclo, de modo a seguir o sol durante o dia e manter luz solar focada concentrada sobre o tubo de aquecimento 226.

Diferentemente da aeronave térmica solar, todavia, esses componentes principais da instalação de energia térmica solar residencial são

preferivelmente montados sobre uma estrutura fixa que é suficientemente exposta ao sol, tal como, por exemplo, um topo de telhado residencial mostrado na figura 21. Também diferentemente da aeronave térmica solar, o calor rejeitado a partir do motor acionado a calor é preferivelmente ainda explorado para seu valor de aquecimento, ao invés de ser simplesmente lançado para o ambiente. Como tal, a energia térmica coletada pela instalação de energia térmica solar residencial pode ser usada em várias maneiras para o consumo doméstico ou comercial, tal como para o uso diretamente para deslocar exigências de aquecimento doméstico, para conversão em energia mecânica para bombear água através do motor térmico, ou para outra conversão em energia elétrica com um gerador elétrico. Por exemplo, a figura 21 ilustra a instalação de energia térmica solar residencial para uso em uma aplicação combinada de aquecimento de água e de energia, onde água quente útil é derivada por meio de conexão de uma linha de utilidade de água fria a um motor térmico para prover refrigeração do motor. Em particular, a linha de fornecimento de água fria doméstica 250 é mostrada conectada com o sistema de motor acionado a calor 240 da planta de energia e então com o tanque de armazenagem de água quente 260 através de uma linha de retorno de água quente 251. A figura 21 também mostra a instalação de energia térmica solar residencial, conectada pelo eixo de manivela 248 com um gerador elétrico 249, para a geração de eletricidade.

Como ilustrado na figura 21, as necessidades de consumo de energia residencial típico são tais que o espelho de concentração, o qual é o único componente maior do presente sistema, precisa ocupar somente poucos metros quadrados por pessoa (que é uma pequena fração de uma área típica do topo do telhado), especialmente em regiões relativamente ensolaradas, tais como, por exemplo, no sul dos Estados Unidos. Em contraste com as instalações de SEGS discutidas na seção de Antecedentes, e na maioria de outras instalações de energia centralizadas, correntemente empregadas,

usando coletores solares de calha parabólica, não existe sombreamento de “fileira para fileira”, produzido pelo espelho de concentração da instalação de energia térmica solar residencial, porque ele é isolado dos outros espelhos que podem ser montados nos topos de telhados de outros edifícios ou estruturas.

5 Em uma planta de energia centralizada, o custo de terra torna-se um fator, e existe uma troca entre a área por hectare requerida e o grau de auto-sombreamento. Em contraste, no caso residencial aqui apresentado, com mais do que suficiente área de topo de telhado disponível para o espelho concentrador, não existe necessidade de incorrer na penalidade de auto-sombreamento. Assim, a área de topo de telhado por kW de capacidade
10 dedicada para o coletor solar é menor que a correspondente área na terra por kW necessária em grandes instalações centralizadas de energia térmica solar de calha parabólica.

É apreciado que, quando montada como tal para aplicações
15 residenciais, a instalação de energia térmica solar residencial é freqüentemente diretamente expostas aos elementos, por exemplo, ar, chuva, neve, sujeira, etc. Para protegê-las contra efeitos ambientais, um conjunto de pára-brisa é preferivelmente provido para envolver o espelho 210 e tubo 226. A figura 22 mostra uma forma de realização preferida do conjunto de pára-brisa tendo uma janela transparente 212 e uma estrutura de suporte de espelho
20 214. O pára-brisa previne que vento resfrie indevidamente a superfície do tubo 226, o que pode abaixar a eficiência de transporte de calor do sistema. Adicionalmente, a proteção provida pelo pára-brisa permite que a estrutura do espelho coletor 210 seja feita de material leve. Além disto, em uma forma de
25 realização de exemplo da aplicação residencial, uma porção da exigência de aquecimento do espaço doméstico no inverno pode ser fornecida por meio da circulação de ar da residência através do interior do volume de pára-brisa, onde é aquecida pelo tubo coletor de aquecimento.

Alinhamento Polar de Eixo geométrico Focal de Espelho Coletor

Na forma de realização de exemplo da instalação de energia térmica solar residencial mostrada na figura 21, o eixo geométrico focal do espelho 210 é preferivelmente paralelo ao eixo geométrico de rotação da Terra, e é assim substancialmente alinhado com a Estrela Polaris 270 para locais do hemisfério norte. O coletor de calor 220 é também preferivelmente coaxialmente posicionado ao longo do eixo geométrico focal do espelho concentrador de modo que ele é também alinhado paralelamente com o eixo geométrico de rotação da Terra, e substancialmente alinhado com a Estrela Polaris para locais do hemisfério norte. Primeiramente, para ajustar apropriadamente a orientação do espelho e do coletor de calor, uma estrutura de montagem apropriada, conhecida na arte, mostrada geralmente com 215 na figura 1, é provida para permitir que uma extremidade do espelho e coletor de calor (isto é, a extremidade de saída) seja elevada para uma posição mais alta que a outra extremidade do espelho e coletor de calor (isto é, a extremidade de entrada). Por exemplo, cada extremidade pode ser montada através de suportes de montagem ajustáveis. Além disto, a estrutura de montagem preferivelmente suporta o espelho e coletor de calor de modo a girar em torno do eixo geométrico focal, ou seja, o eixo geométrico focal é o eixo geométrico de rotação do espelho.

Para atingir o alinhamento apropriado com o anulo de rotação da Terra, vários métodos podem ser utilizados. Para locais do hemisfério norte, um exemplo utiliza um pequeno telescópio provido com e mantido em paralelo com o conjunto de espelho/coletor para localizar a Estrela Solaris em uma noite clara, como mostrado nas figuras 21, 23 e 24. Desta maneira, durante a instalação ou depois de possível instalação na residência, ligeiros ajustes do alinhamento do coletor podem ser realizados de modo que a Estrela Solaris esteja não mais que alguns minutos de arco fora do centro. O alinhamento substancial do eixo geométrico focal do espelho para apontar para a Estrela Solaris é mais fácil no hemisfério norte em virtude da fácil

visibilidade da Estrela Solaris, MS o correspondente alinhamento do Pólo Celestial Sul é também possível no hemisfério Sul bem como por observação das estrelas de referência de menor luminosidade.

Um método alternativo de atingir o correto alinhamento paralelo com o eixo geométrico de rotação da Terra usa a coordenada de latitude do local de montagem e um compasso para determinar a direção do norte verdadeiro, como mostrado nas figuras 23 e 24. Neste caso, a estrutura de montagem iria angular o eixo geométrico focal acima de um plano horizontal por um ângulo igual ao ângulo local de latitude, e inclinada em direção a um dos Pólos (para latitudes de não-zero). Gradações angulares podem ser providas sobre a estrutura de montagem para permitir desta maneira o ajuste angular. Para locais do hemisfério norte, o eixo geométrico focal é inclinado em direção ao Pólo Celestial Norte, e para locais do hemisfério sul, o eixo geométrico focal é inclinado em direção ao Pólo Celestial Sul.

Com o eixo geométrico focal da calha parabólica substancialmente paralelo com o eixo geométrico de rotação da Terra, o ângulo entre a normal ao eixo geométrico de coletor e a direção para o sol não variará por mais que $23,5^\circ$ ao longo do curso do ano, isto é, raios do sol nunca são mais que $23,5^\circ$ a partir da incidência normal do plano de abertura do espelho de concentração. Esses desvios extremos ocorrem no solstício do verão, o dia mais longo, e no solstício do inverno, o dia mais curto. Os percursos para o par de raios extremos a partir do sol no solstício do verão estão ilustrados na figura 23, e os percursos para um par de raios extremos a partir do sol no solstício de inverno são ilustrados na figura 24. A posição axial mais baixa, por todo o curso de um ano, solicitada pela luz solar concentrada é representada pelo ponto 229G na figura 23, e é atingida ao meio-dia no solstício do verão. Similarmente, a posição axial mais alta, atingida ao meio-dia no solstício do inverno, é o ponto 229H na figura 24. O

comprimento ativo do conjunto de coletor 220 que é sempre exposto à luz solar concentrada sobre o curso do ano se estende somente do ponto 229G para o ponto 229H. o grau máximo de escorço no caso alinhado polar é somente atingido nos solstícios e é somente 91,7% no extremo.

5 O comprimento limitado de tubo coletor exposto e o pequeno grau de escorço no caso alinhado polar estão em contraste com aqueles para a implementação horizontal típica de coletores de calha parabólicos comerciais. O fator de escorço médio anual, associado com este efeito de ângulo incidente, é listado na primeira fileira da Tabela 1, mostrada na seção

10 Sumário. Similarmente, as perdas finais associadas com os coletores horizontais convencionais para ângulos solares, para os quais a luz solar focada converge em posições ao longo do eixo geométrico além da extensão do tubo de coletor, são listadas. Na orientação polar da presente invenção, esta perda é evitada por ter um tubo de aquecimento que é ligeiramente mais

15 longo que a calha propriamente dita, como ilustrado nas figuras 23 e 24. O tubo de aquecimento é mostrado posicionado estendendo-se além de ambas as extremidades do espelho por até uma quantidade substancialmente igual ao comprimento focal do espelho vezes a tan de (23,5 graus), a fim de capturar toda a luz solar concentrada, incluindo durante os solstícios. Isto incorre em

20 muito pequeno custo adicional, mas melhora a eficiência de coleta. Este fator de eficiência é listado na segunda fileira na Tabela 3.

Por ter o eixo geométrico do coletor solar inclinado em um ângulo substancialmente igual à latitude local, e paralelo com o eixo geométrico de rotação da Terra, vários benefícios são obtidos sobre o caso

25 com um coletor horizontal. Como mencionado previamente, uma vez que o ângulo dos raios solares com relação ao eixo geométrico do coletor solar não se desviam por mais que 23,5° a partir da incidência normal sobre o curso de um ano, a área de espelho projetada, disponível para a coleta solar, varia por somente +/- 4% sobre o curso do ano. Isto está em contraste com calhas

parabólicas horizontalmente implementadas, tipicamente de instalações de energia térmica solar comerciais correntes, tais como SEGS, para as quais o co-seno de ângulo de incidência médio é significativamente menor. Levando em conta a variação deste ângulo de incidência ao longo de todo o ano, as

5 calhas parabólicas horizontalmente implementadas, convencionais, têm um fator de eficiência geométrico de 87,3 %, enquanto para o caso em que o ângulo da calha é alinhado com a Estrela Solaris, esse fator de eficiência geométrico aumenta para 95 %. O aumento em eficiência de coleta solar total com respeito a calhas horizontais a partir desta implementação de ângulo,

10 sozinha, é, assim, aproximadamente 9 %. Outra vantagem de orientação inclinada: por ter a armazenagem de energia térmica posicionada na extremidade superior do coletor solar, a fase líquida do fluido de trabalho de duas fases no coletor de calor pode ser muito eficazmente retornada do condensador para o boiler principalmente pela ação gravitacional. Tais

15 coletores de calor são chamados termo-sifões, e são bem conhecidos na arte e são comercialmente disponíveis. Outra vantagem significativa de ter o eixo geométrico de coletor alinhado com a Estrela Solaris é que a rotação do refletor parabólico pode ser acionada por mecanismo de relógio relativamente simples e barato, com somente necessidade ocasional de ajuste para funcionar

20 um pouco mais rápido ou funcionar um pouco mais lento. O mecanismo de controle necessitado para tais ajustes graduais pode ser muito simples e barato.

Formato de Espelho de Concentração

Como previamente mencionado, o formato preferido do

25 espelho concentrador 210 é aquele de uma calha parabólica que é retilínea na direção longitudinal e que tem uma seção transversal parabólica curva no plano perpendicular que define a largura de calha. Além disto, o comprimento focal, f , para a curva parabólica é preferivelmente igual a 25% da largura total W da calha. Em outras palavras, a relação focal, designada por $f/\#$ na

nomenclatura da óptica, é preferivelmente aproximadamente $f/0,25$. Nesta relação, o tamanho relativo do absorvedor (por exemplo, a superfície externa do tubo 226 nas figuras 22 e 25), requerido para capturar totalmente todos os raios solares refletidos, assumindo uma figura parabólica perfeita para o espelho 210, é mínimo, e o correspondente fator de concentração solar é máximo em comparação com qualquer outra relação focal $f/\#$. Em particular, para este formado e $f/0,25$, raios solares incidentes na borda extrema da calha são refletidos por aproximadamente 90° , como mostrado na figura 22 para o raio solar representativo de chegada 229. Uma vez que o diâmetro angular do sol, quando visto a partir da Terra, é aproximadamente $\frac{1}{2}$ grau, os raios refletidos de qualquer ponto dado sobre o espelho 210 diverge por este ângulo quando eles se aproximam do eixo geométrico focal. A divergência de tais feixes de raios a partir de três pontos representativos separados é mostrado na figura 22 com uma grande escala de ampliação em sua expansão angular. Em particular, os raios 229A e 229B correspondem à luz solar que foi refletida a partir do extremo esquerdo do espelho 210, isto é, a partir do raio solar de chegada 229. Similarmente, os raios 229C e 229D correspondem à luz refletida e uma posição intermediária sobre o espelho 210, enquanto os raios 229E e 229F correspondem à luz refletida a partir de próximo do centro do espelho 210. Com o $f/0,25$ como a relação focal, a amplitude próxima ao foco do espelho parabólico 210 entre os raios 229A e 229B é o dobro da amplitude entre os raios 229E e 229F. isto pode ser visto na ilustração da figura 25 que mostra uma vista detalhada na vizinhança do eixo geométrico focal como mostrado na figura 22, mas sem ampliação na amplitude angular dos vários raios solares.

A eficiência relativa para valores de $f/\#$ que diferem ligeiramente do $f/0,25$ ótimo varia como segue: para valores de $f/\#$ entre $f/0,2$ e $f/0,3$, o fator de concentração relativa diminui por 2% do máximo possível em $f/0,25$, enquanto para valores de $f/\#$ entre $f/0,16$ e $f/0,4$ o fator de

concentração máximo atingível diminui por 10%.

Tubo de coletor

O componente principal do coletor de calor 220 mostrado na figura 21 é o tubo de aquecimento 226 mostrado como uma seção transversal na figura 22, coaxialmente posicionado ao longo do eixo geométrico focal do espelho de concentração de calha parabólica 210. Na figura 22, o tubo de aquecimento 226 é mostrado centralizado entre bordas opostas do perfil parabólico do espelho 210 no foco do espelho preferivelmente de $f/0,25$. Em geral, o tubo de aquecimento é posicionado no focal (ou seja, eixo geométrico focal) do espelho, seja qual for seu comprimento focal. O coletor de calor 220 e o tubo de aquecimento 226 são similares ao coletor de calor 120 e tubo de aquecimento 129, respectivamente, previamente discutido com respeito à aeronave térmica solar. Várias formas de realização do formato de seção transversal de coletor de calor são mostradas nas figuras 25-28 e 31, que permitem a operação altamente eficiente. O tubo de aquecimento pode ser um tubo de parede delgada, opticamente transparente, tal como mostrado nas figuras 25 e 31, ou, na alternativa, o tubo de aquecimento pode ser um tubo de parede espessa 223, opticamente transparente, que funciona como uma lente de imersão (figura 27) para ampliar uma superfície interna formando um canal de fluxo. Como mostrado na figura 26, o coletor de calor 220 pode opcionalmente também incluir componentes adicionais, tal como um invólucro de vidro tubular 222A que provê isolamento a vácuo em torno do tubo de aquecimento 226. E, como mostrado na figura 28, o tubo de parede espessa pode também adicionalmente ter um tubo/invólucro evacuado 222, de parede delgada, opticamente transparente, que provê isolamento a vácuo em torno do tubo de coletor 226. Em qualquer caso, a eficiência de coleta melhorada permite que o tubo de aquecimento 226 seja muito mais curto em relação à largura do espelho coletor que na arte convencional. Por exemplo, no arranjo de DISS, Direct Solar Steam, da arte anterior, a relação entre

comprimento para largura é aproximadamente 46. Uma tal relação de aspecto desfavorável requereria uma grande capacidade de “dobramento” para se ajustar sobre um topo de telhado residencial típico, e isto incorre em um grau significativo de tubulação adicional, bem como de ineficiência adicional. No presente caso, a relação entre comprimento para largura pode ser tão baixa quanto um ou dois, sem indevida perda de eficiência.

Preferivelmente, o tubo de aquecimento 226 compreende um tubo de aço inoxidável do tipo 316 com uma superfície gravada por ionização iônica. Tais superfícies sobre o aço inoxidável do tipo 316 são conhecida que são resistentes à deterioração, e são factíveis para o uso em ar a temperaturas de até 400°C. A preparação e características de tais superfícies são conhecidas na arte e descritas em, por exemplo, “Sputter Etched Metal Solar Selective Absorbing Surfaces for High Temperature Thermal Collectors”, de G. L. Harding e M.R. Lake, publicado em Solar Energy Materials, volume 5 (1981), páginas 445-464, incorporado aqui para referência. Absortâncias solares para aço inoxidável, gravado por pulverização iônica, são observadas como sendo 93%, com uma emitância térmica de somente 22 %. É ainda conhecido que aço inoxidável do tipo 316 é apropriado para uso com sódio, potássio ou vapor a alta pressão como fluidos de transferência de calor.

Formato do Tubo Coletor

A figura 25 mostra uma vista ampliada do círculo 25 da figura 22 e de uma forma de realização de exemplo do tubo 226 que circunda um canal de fluxo tendo perfil de seção transversal que é oblongo em formato e que tem um eixo maior que corresponde ao diâmetro máximo do canal e um eixo menor que corresponde ao diâmetro mínimo do canal, e que lembra aproximadamente um formato de limão. Na forma de realização de exemplo da figura 25, o perfil oblongo é preferivelmente produzido por duas superfícies parabólicas confrontantes, unidas para formar dois vértices

opostos, com um ângulo formado em cada dos vértices opostos preferivelmente de 90° . Em outro caso de exemplo, mostrado na figura 31, o perfil de seção transversal oblongo é preferivelmente produzido por um formato oblongo similar a diamante tendo quatro lados com dois vértices opostos ao longo do eixo geométrico maior e dois vértices opostos ao longo do eixo menor. Em qualquer caso, o perfil oblongo preferivelmente tem uma relação entre comprimento de eixo maior para eixo menor de 2 para 1, mas com lados externos ou retilíneos, como mostrado na figura 31, ou lados encurvados, como mostrados nas figuras 25 a 28.

Em qualquer caso, o eixo geométrico maior ou longo deste perfil é preferivelmente posicionado dentro do plano de simetria longitudinal 213 (mostrado na figura 25 e na figura 30) do espelho concentrador 210, e tem assim que girar juntamente com o espelho para seguir o sol. No interior do tubo 226 está um canal 228 para a passagem e o transporte de um fluido de transferência de calor, isto é, fluido de trabalho. A relação de comprimento-para-largura para a seção transversal oblonga de tubo 226 (onde o comprimento é medido ao longo do eixo geométrico maior, e a largura é medida ao longo do eixo geométrico menor) é preferivelmente dois para um. Como ilustrado nas figuras 24 e 25, um tal perfil permite a intersecção de toda luz solar focalizada a partir do espelho 210 com uma área de superfície substancialmente reduzida (comparada com um círculo) para o tubo 226, assumindo que o espelho 210 tem uma figura parabólica perfeita. De fato, a área de superfície que corresponde a um tal tubo oblongo configurado como dois segmentos parabólicos confrontantes é somente 73% daquela de um tubo circular que tem o mesmo diâmetro que o eixo geométrico maior do tubo oblongo. Também, o diâmetro hidráulico (ou seja, quatro vezes a área de fluxo de canal central, dividida pelo perímetro do canal central) é somente 58% daquele do caso circular, desprezando a espessura de parede. Este diâmetro hidráulico diminuído é útil para finalidades de transferência de

calor.

É também importante notar o ângulo de incidência dos raios solares concentrados quando eles encontram a superfície do tubo 226. Os raios 229A e 229B encontram a superfície do tubo 226 em um ângulo de incidência de 45° . Em contraste, para um tubo coletor circular que tem o mesmo diâmetro que o eixo geométrico maior do formato oblongo, o ângulo de incidência para tais raios seria 90° . Por outro lado, os raios 229E e 229F encontram a superfície do tubo 226 em um ângulo de incidência de 90° , enquanto para o caso de tubo circular, o ângulo de incidência seria 45° . Uma vez que os raios marginais podem encontrar a superfície de um tubo minimamente dimensionado 226 em ângulos de incidência relativamente grandes, é importante que a absorptância da superfície permaneça alta, mesmo para tais ângulos rasantes. De acordo com a referência de Harding e Lake, mencionada na seção prévia, a absorptância solar relativa para aço inoxidável do tipo 316, gravado por pulverização iônica, é acima de 90% em um ângulo de incidência de 60° , e é aproximadamente 80% em um ângulo de incidência de 80° . Visto que a absorptância solar permanece alta em ângulos de incidência muito altos ou grandes, é factível que o eixo geométrico maior do tubo coletor 226 não seja maior que aproximadamente 0,45 % da largura W mostrada na figura 30. Pode ser notado que na aproximação mais estreita da Terra com o sol, diâmetro angular do sol, observado a partir da Terra, é tal que o eixo geométrico maior do tubo coletor precisaria ser precisamente 0,474% para cobrir a imagem com um perfeito espelho de concentração parabólico de $f/0,25$, enquanto na distância mais afastada do sol, o eixo geométrico maior de tubo coletor precisaria ser 0,458%.

É apreciado que, com a supressão apropriada de perdas convectivas, as perdas de calor do conjunto coletor tendem a ser dominadas pela irradiação térmica a partir do tubo central quente. Por vez, a perda de energia associada com a radiação térmica é diretamente proporcional à área

da superfície irradiante. Por meio da diminuição da área da superfície irradiante, como descrito com o perfil oblongo, a eficiência do coletor é melhorada pelo fator listado pela primeira fileira na tabela 1 na seção Sumário. A magnitude da perda de energia térmica aumenta com temperatura mais alta. O valor numérico na tabela 1 é calculado assumindo uma temperatura de 400°C, como é correntemente usado nas instalações de SEGS.

Uma vez que a área irradiante do presente tubo é então muito mais reduzida em comparação com a arte convencional, é factível atingir temperaturas de fluido de transferência de calor mais elevadas que para os coletores solares de calha parabólica convencionais. Isto pode permitir que motores térmicos mais eficientes sejam empregados. Por outro lado, se fluidos de transferência de calor convencionais forem usados, tais como aqueles nas instalações de SEGS, e a temperatura for limitada para 400°C, a eficiência irá melhorar substancialmente em virtude das reduzidas perdas de radiação térmica.

É apreciado, todavia, que, enquanto que um tubo configurado circular não é tão eficiente quanto o tubo de seção transversal oblonga, na é necessário girar um tubo circular com o espelho coletor, e um tubo circular pode ser assim completamente estacionário com respeito ao solo, e isso pode oferecer uma simplicidade de operação compensadora.

Invólucro a Vácuo

Embora o pára-brisa 212 substancialmente reduza a refrigeração convectiva do tubo 226, gerada pelo vento, um invólucro de vidro transparente opcional pode ser provido para proteger ainda mais e prover isolamento térmico para o tubo 226. A figura 26 mostra uma forma de realização de exemplo de um conjunto coletor 220A que tem um invólucro 222A de vidro transparente, de perfil circular, em forma de tubo, que é preferivelmente radialmente espaçado e angulado coaxialmente ao tubo 226, com um vácuo 224 mantido dentro do invólucro de vidro transparente 222A

para eliminar a refrigeração convectiva do tubo 226. Nesta forma de realização, o conjunto coletor de calor 220A é considerado a combinação de tubo 226, invólucro de vidro 222A, e isolamento a vácuo 224 entre eles. Tal construção de tubo de vácuo é bem conhecida na arte para coletores solares de calha parabólica. Com invólucros de vidro de parede delgada, essencialmente não existe degradação do benefício do coletor propriamente dito em forma de limão. Existe, todavia, uma perda de aproximadamente 5% de intensidade da luz solar, assumindo que o benefício de um revestimento de superfície de anti-reflexão (não mostrado), associado com transmissão do invólucro de vidro de calha 222A. o invólucro de vácuo de vidro pode ser empregado especialmente em aplicações onde é esperado que convecção natural produza uma maior perda de energia que 5%, tal como, por exemplo, com operação em temperatura muito alta, como é necessária para a forma de realização de aeronave. Para aplicações residenciais, o invólucro de vácuo de vidro pode ser usado, por exemplo, onde o tubo coletor não é usado diretamente para recuperação de calor, tal como previamente descrito onde uma porção do aquecimento residencial é provida pela passagem de ar através do interior de pára-brisa. É apreciado que em porções do sistema, para as quais iluminação por luz solar concentrada na está presente, tais como a seção entre o espelho coletor e a armazenagem térmica mostrada na figura 21, enquanto que pode ser vantajoso ter um invólucro contendo vácuo circundando o tubo de aquecimento 226, não é necessário que ele seja transparente.

Coletor de Calor com Lente de Imersão

A figura 27 mostra uma forma de realização alternativa de coletor de calor de exemplo, que tem um tubo de aquecimento 223 de parede espessa, opticamente transparente, tendo uma superfície externa curvilínea convexa e uma superfície interna formando um canal de fluxo, com um material absorvente de luz solar (por exemplo, revestimento preto 227/) revestindo a superfície interna. Como tal, as funções de superfície externa na

qualidade de uma lente de imersão para ampliar as dimensões da superfície interna e do canal de fluxo. A espessura da parede de tubo preferivelmente tem uma relação entre um diâmetro de superfície externa e o diâmetro de superfície interna máximo (por exemplo, comprimento do eixo geométrico maior do tubo de seção transversal oblongo 226) preferivelmente sendo pelo menos três para um. O resultado de ter um tubo de aquecimento opticamente transparente, de parede espessa, é que, quando observado do exterior, o canal de fluxo central configurado oblongo parece ser ampliado. O grau de ampliação depende do índice de refração do vidro. Para vidro barato feito de silicato de boro, por exemplo, “Pyrex”, o fator de ampliação é 140% a 150%. A significância deste fator de ampliação é que o tamanho do canal de fluxo necessário para absorver toda a luz solar focada sobre o eixo geométrico do espelho concentrador de calha parabólico 210 pode ser reduzido para aproximadamente 2/3 do tamanho de um tubo não ampliado.

Um exemplo do efeito desta ação de lente sobre a luz solar convergente é ilustrado na figura 27, desenhado na mesma escala que a figura 26, para os raios 229A e 229B. Quando estes raios de entrada encontram a superfície do vidro espesso, eles se encurvam por meio de refração, e o fluxo solar se torna mais altamente concentrado quando ele é absorvido na superfície 227. Tal ação de lente de imersão é bem conhecida, como no contexto de microscopia de imersão de óleo, por exemplo. Uma vez que o tubo coletor parece ser opticamente maior, é possível atingir uma maior concentração da luz solar incidente que é imaginada ser comumente factível com coletores solares de calha parabólica.

Adicionalmente, com uma tal seção transversal reduzida do tubo coletor, o comprimento axial do tubo 226 em relação à largura do coletor 210 pode ser reduzido por mais que um fator de 25 em relação à geometria de calha parabólica convencional, tal como aquela estudada nos experimentos de DISS anterior, Direct Steam Generation, e ainda uma transferência de calor

equivalente. Isto permite que o coletor seja muito mais compacto que para os coletores de calha parabólica convencionais, e facilita o empacotamento de tais sistemas sobre os topos de telhado residenciais típicos.

A figura 28 mostra uma outra forma de realização de exemplo que modifica a lente de imersão 220B da figura 27 por meio da provisão de um invólucro de vácuo de vidro 222C, de parede delgada, radialmente espaçado, para circundar o invólucro de vidro espesso com uma região de vácuo 224 entre eles para prover isolamento térmico até mesmo maior.

Armazenagem de Energia Térmica Residencial

A instalação de energia da presente invenção preferivelmente também inclui um reservatório de armazenagem térmico, tal como 230 na figura 21, operativamente conectado com a extremidade de saída do coletor de calor. Preferivelmente, o reservatório de armazenagem térmico e o coletor de calor são fluidicamente conectados de modo que a transferência de calor é atingida por meio do uso do mesmo fluido de trabalho tanto para o coletor de calor quanto a unidade de armazenagem térmica. O meio preferido para a armazenagem de energia térmica na forma de realização residencial é uma combinação de água e rocha, pois ele é muito menos perigoso e muito menos caro que o material de LiH-Li necessário para a forma de realização de aeronave. Além disto, água é também apropriada como o meio de transferência de calor usado no tubo coletor de calor 226, substituindo o sódio mais caro e mais perigoso, preferido na forma de realização de aeronave. Em um terceira função, a água é também apropriada como o fluido de trabalho para o motor térmico, o qual, assim, torna-se um motor a vapor familiar 240, e provê um meio menos caro, e mais facilmente substituível, que o hidrogênio ou hélio, preferido na forma de realização da aeronave. Finalmente, em uma quarta função, a água é também apropriada como consumível. O uso de uma única substância, água, para todos os quatro das funções: transferência de calor no coletor de calor, armazenagem de energia térmica, fluido de trabalho

- do motor, e fornecimento de água quente, elimina virtualmente as ineficiências de troca de calor associada com a transferência de calor do fluido de transporte de calor para o reservatório de armazenagem de energia térmica, do reservatório de armazenagem de energia térmica para o fluido de trabalho do motor térmico, e do reservatório de armazenagem de energia térmica ou o motor térmico para o fornecimento de água quente consumível. Como tais processos de troca de calor inevitavelmente incorrem em quedas de temperatura, sua eliminação pode se traduzir em operação mais eficiente, ou menores exigências de temperatura máxima para um dado nível de eficiência.
- 10 O uso de água como um meio térmico é suficientemente benigno na medida em que, com bombas sem óleo, válvulas e componentes de motor apropriadamente limpos, a água quente pode ser usada diretamente para lavagem de pratos, limpeza de roupas, ou até mesmo cozimento. Financeiramente, o custo da água e rocha como o meio de armazenagem de
- 15 energia térmica é tão baixo que é essencialmente o único custo da contenção destas matérias.

Conversão de Energia Térmica e Geração de Energia

- Embora os motores térmicos de fase de gás única, tais como a forma de realização de motor de Stirling discutida acima no contexto da
- 20 forma de realização de aeronave, possam ter a vantagem da temperatura de ar ambiente muito baixa em grande altitude e podem atingir assim eficiência térmica muito alta, no contexto do ambiente baseado no solo, sem tal capacidade de baixa temperatura, o motor a vapor familiar é preferido. Isto é especialmente assim, considerando a vantagem de água como o meio de
- 25 energia térmico.

O uso de vapor para gerar energia é muito bem conhecido e muito bem desenvolvido tecnologicamente, e existe uma tal miríade de propostas em que a configuração ótima irá depender fortemente da natureza do produto de energia desejado. Em um extremo, pode ocorrer que tudo que é

requerido seja um fornecimento de alta pressão, vapor a alta temperatura para algum processo particular de interesse, e pode existir relativamente pouca exigência por potência. Em outro extremo, pode ser que essencialmente a energia elétrica é requerida, e o calor rejeitado é somente uma inconveniência.

5 na próxima seção, dentre estes casos de miríade, o caso específico para a energia média e necessidades de energia de um consumidor residencial é considerado. Neste exemplo, em linha com as necessidades de um consumidor de energia residencial típico, quantidades comparáveis de energia de aquecimento e energia elétrica são necessárias sobre o curso de um ano,
10 mas com mais aquecimento requerido durante o inverno, e mais energia elétrica requerida durante o verão. Por conseguinte, é importante ter flexibilidade na conversão de energia solar concentrada em calor ou energia elétrica.

Como mostrado na figura 21, o reservatório de armazenagem
15 térmico está preferivelmente em contato com o motor acionado a calor. Como tal, também não existe um componente de tubulação extensivo entre o reservatório de armazenagem térmico e o motor térmico, como existe nas instalações de SEGS, por exemplo. Na verdade, o reservatório de armazenagem térmica está em contato térmico muito estreito com o motor
20 térmico, e esta perda é virtualmente eliminada. Uma vez que essencialmente toda a transferência de calor ocorre através de efeitos amplificados de alteração de fase, extremamente eficazes autonomamente, que envolvem tanto a ebulição no coletor quanto a condensação no reservatório de armazenagem térmico, existe muito pouca perda de energia parasítica associada com
25 ativamente bombear fluidos de transferência de calor em torno de interconexões de tubulações extensivas transpassantes e trocadores de calor.

Um dos benefícios da armazenagem de energia térmica no caso residencial é que interrupções momentâneas na iluminação solar não causam correspondentes transtornos no fornecimento de calor para o motor.

Enquanto a função principal do armazenamento de energia térmica na aplicação de aeronave solar é a de permitir o voo ao longo da noite, na aplicação residencial ela nem sempre é necessária para armazenar uma quantidade de calor correspondente ao dia inteiro. Em alguns casos, pode ser economicamente vantajoso ter somente uma capacidade de duração de armazenamento relativamente pequena. Outro benefício de armazenamento de energia térmica no caso residencial é que o pico normal do meio-dia na iluminação solar pode ser distribuída sobre um número de horas durante a tarde, permitindo assim um projeto de menor capacidade de geração elétrica máxima, e assim um motor térmico e gerador elétrico menos caro. Além disto, por meio do armazenamento de energia térmica, o pico típico do instante do meio-dia no fornecimento de energia solar pode ser melhor conjugado com o pico típico da tarde em demanda de energia elétrica. Em outro extremo, para auto-suficiência de energia, a capacidade de armazenamento de energia térmica pode ser feita suficientemente grande por semanas até meses de armazenamento, de modo que a dependência da energia solar dos caprichos do tempo pode ser virtualmente eliminada.

Operação do Sistema de Exemplo: Geração de Vapor Direta

A figura 29 mostra um diagrama esquemático de uma forma de realização de instalação de energia a vapor, de exemplo, da instalação de energia térmica solar residencial da presente invenção. Como mostrado, o tubo coletor de calor 226 é inclinado de uma extremidade inferior para uma extremidade superior, com a extremidade superior conectada com o topo do reservatório de armazenamento de energia térmica 230 através de uma válvula de retenção de regulação de pressão automática 227, e a extremidade inferior do tubo de aquecimento 226 é conectada com o fundo do reservatório de energia térmica 230 através da bomba de água 235 e válvula de água 231 para formar um circuito fluídico caracterizado como o enlace de coletor. Setas indicam a direção de fluxo normal da água através deste circuito.

Similarmente, um segundo circuito fluídico independentemente, caracterizado como o enlace de motor, conecta em série o topo do reservatório de energia 230, válvula de vapor 240, radiador de condensação 261, tanque de água condensada 244, bomba de água 236, válvula de água 239, e retorna de volta para o fundo do reservatório de armazenagem de energia térmica 230.

A válvula de água de ciclo de coletor 231 controla o fluxo de água da armazenagem de energia térmica para o fundo do tubo de aquecimento 226, enquanto a bomba de água 235 controla a pressão de água no enlace de coletor e a válvula de retenção automática 237 previne que pressão excessiva se forme no enlace de coletor. Similarmente, a válvula de vapor 238 controla o fluxo de vapor superaquecido para o motor a vapor 240, enquanto a bomba de água de enlace de motor 236 determina a pressão dentro do reservatório de armazenagem térmica 230.

A transferência de calor para o reservatório de armazenagem térmica 230 a partir do coletor solar e a transferência de calor a partir do reservatório de armazenagem térmica para o motor a vapor 240 têm lugar em dois fluxos de processo independentes. O fluxo de coletor opera em proporção com o fornecimento de aquecimento solar, enquanto o fluxo de motor opera em proporção com a demanda de energia. Com relação ao fluxo de coletor, durante períodos quando luz solar adequada é disponível, de modo que suficiente pressão de vapor é produzida no tubo coletor 226 por meio da absorção de luz solar concentrada para forçar a válvula automática aberta 237, calor a partir da luz solar concentrada é transferido para a água no tubo 226, e então transferido para o topo do reservatório de armazenagem térmica 230. Inversamente, à noite, ou durante períodos de sol obscurecido, as válvulas 237 e 231 estão fechadas. É apreciado que através de todo o dia e noite, o espelho concentrador 210 é continuamente girado sobre seu eixo geométrico de modo que, quando luz solar direta é disponível, o alinhamento do coletor é tal que o aquecimento da água no tubo 226 irá ocorrer. E, com respeito ao enlace de

motor, durante períodos de demanda por energia, ambas as válvulas 238 e 239 são abertas e vapor a alta pressão a partir do topo do reservatório de armazenagem térmica 230 é admitido ao motor a vapor 240, e, depois da expansão, é condensado no radiador 261 e se drena como água de líquido para dentro do tanque de água 244. No inverno, quando as temperaturas são suficientemente baixas, para requerer aquecimento de espaço, o fluxo de ar de refrigeração depois do radiador 261 pode prover um fornecimento suplementar de ar quente para finalidades de aquecimento de espaço. Em contraste, durante o verão, quando as temperaturas são suficientemente altas que outro aquecimento de espaço é indesejado, o radiador 261 simplesmente rejeita calor para o exterior.

O processo de aquecimento, em maior detalhe, é este: água pressurizada fria é forçada para dentro da extremidade inferior do tubo 226 por meio da bomba de circulação de enlace de coletor 235 e aquecida ao longo do eixo geométrico do coletor. A inclinação para cima no eixo geométrico do tubo 226 permite taxas de aquecimento muito elevadas do vapor em comparação com tubos horizontais, como é conhecido na arte. Sob condições normais de operação, quando a água é aquecida pela luz solar concentrada, ela atinge a temperatura de ebulição em um ponto indicado pelo nível 232. Entre o início de ebulição no nível 232 e o início de superaquecimento no nível 234, as transições de vapor a partir de muito úmido até muito seco em temperatura substancialmente constante. Acima do nível 234, o vapor é superaquecido, e sua temperatura aumenta para o máximo de projeto. Uma vez elevada em temperatura para ponto de projeto, o vapor superaquecido flui para o reservatório de seção transversal de armazenagem térmica 230, e/ou para o motor a vapor 240.

Em um caso “partida a frio”, que corresponde à quantidade mínima de calor em armazenagem, o vaso de pressão 241 é quase que inteiramente cheio com água com temperatura quase ambiente, com um

espaço de vapor relativamente pequeno no topo, e o tanque de água 244 é quase vazio. Neste estado, o topo do nível de líquido 232 é próximo ao topo do vaso de pressão 241. Muito brevemente depois de a luz solar concentrada ser focalizada sobre o tubo 226, vapor superaquecido é forçado para dentro do

5 topo de vaso de pressão 241, através da válvula automática 237. Ao mesmo tempo, água fria é bombeada pela bomba 235 desde o fundo do vaso de pressão 241 através da válvula 231. Quando este vapor é soprado contra os seixos de pedra 245 no topo do reservatório de armazenagem de energia

10 térmica 230, os seixos começam a se aquecer. Uma porção do vapor de chegada inicialmente se condensa sobre os seixos 245 e goteja para baixo para o nível de água 232 e começa a aquecer a água no reservatório 230. Por causa da condutividade relativamente baixa do vapor gasoso, existe relativamente pouca queda na temperatura de vapor gasoso, e a válvula 238 pode ser aberta

15 por curto tempo depois de a luz solar tornar-se disponível para prover vapor superaquecido para o motor a vapor 240. Um vapor superaquecido continua a fluir para dentro do topo do reservatório 230, enquanto que água líquida continua a ser bombeada do fundo, a temperatura de água líquida continua a aumentar até que ela atinja o ponto de ebulição. Também quando o vapor superaquecido continua a fluir depois dos seixos superiores 235, sua

20 temperatura também excede em breve o ponto de ebulição da água pressurizada no vaso 241. Quando a água no vaso de pressão entra em ebulição, quando vapor é provido para o motor 240, e quando água é bombeada do fundo do reservatório 230, o nível de líquido 232 cai, e uma maior fração de seixos de pedra 232 é exposta acima do nível de água 232, e

25 eles começam a aumentar em temperatura acima do ponto de ebulição de água pressurizada. Pode se permitido que este processo prossiga até que o nível de água 232 tenha caído para o nível mínimo seguro permitido; ponto térmico este no qual o reservatório de armazenagem de energia térmica 230 atingiu sua capacidade máxima, e essencialmente todos dos seixos 242 acima do

nível de água saturada 234 estão na temperatura de vapor superaquecido, e a maioria da água n sistema está contida no tanque de água líquida 244. Neste ponto, outra remoção de água líquida pela bomba 235 a partir do reservatório 230 tem que ser feita pela bomba de água 236 que bombeia água condensada do tanque 244 através da válvula 239 de volta para o fundo do reservatório 230.

Depois do pôr-do-sol, ou durante períodos prolongados sem luz solar concentrada disponível, as válvulas 237 e 231 são fechadas e o enlace de coletor não é mais operativo. Neste caso, quando vapor superaquecido é provido para o motor a vapor 240 através da válvula 238, água de compensação é bombeada para dentro do fundo do reservatório 230 por meio da bomba 236 através da válvula 239. Quando o nível de água 232 se eleva no reservatório 230, também no nível de vapor saturado 234 se eleva, e calor é transferido dos seixos de rocha quentes recentemente imersos 234 para a água circundante e mais vapor é gerado. Este processo pode continuar até que o nível de vapor saturado 234 no reservatório 230 atinja o nível da válvula de vapor 283. Neste ponto, é tipicamente indesejável continuar a operar o motor a vapor na água saturada, MS a extração de calor a partir do reservatório de armazenagem de energia térmica 230 pelo aquecimento de água a partir do fornecimento de água fria 262 e envio para o fornecimento de água quente residencial 260 é ainda desejável, especialmente no inverno para finalidades de aquecimento de espaço. No limite que praticamente todo calor armazenado no reservatório 230 é extraído ao longo da noite, então o ciclo diurno está completo, e uma condição de “partida a frio” é novamente obtida. É conveniente com o sistema que o instante natural de necessidade de calor seja à noite, o que corresponde ao período de temperatura de água média relativamente baixa no reservatório 230, ao passo que o instante natural de necessidade de energia é durante o dia, o que corresponde ao período de temperatura de vapor relativamente mais alta e geração de energia elétrica

mais eficiente.

A divisão aproximada da energia solar de chegada pode ser estimada, com base nas típicas eficiências térmicas de vapor, para ser $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ para energia e a maioria do equilíbrio para aquecimento. Com um tal sistema, bem acima de 90% da energia solar incidente pode ser explorada para a combinação de aquecimento e energia. A divisão entre calor e energia com um tal sistema é assim muito bem conjugada com o calor típico versus consumo de energia para um consumidor residencial típico no sudoeste dos Estados Unidos, e especialmente assim no inverno.

Depois do pôr-do-sol, em frias noites de inverno quando existe uma possibilidade de a água no tubo coletor 266 se congelar, é vantajoso permitir que vapor seco do reservatório de armazenagem térmico 230 flua retrogradamente através do tubo coletor e niveladamente com qualquer água líquida para fora do tubo 226.

Embora particulares seqüências operacionais, materiais, temperaturas, parâmetros, e formas de realização particulares, tenham sido descritos e/ou ilustrados, estes não são destinados a serem limitativos. Modificações e alterações podem ser aparentes para aqueles versados na arte e é pretendido que a invenção seja limitada somente pelo escopo das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Instalação de energia térmica solar, caracterizada pelo fato de que compreende:

um espelho de calha parabólica tendo um eixo geométrico focal longitudinal para concentrar luz solar ao longo do mesmo;

um meio para girar dito espelho em torno de um eixo geométrico de rotação longitudinal para seguir o sol; e

um coletor de calor compreendendo um tubo de aquecimento alongado circundando um canal de fluxo, dito canal de fluxo tendo um formato de seção transversal oblongo, distinguido por eixos geométricos maior e menor com um diâmetro máximo do canal ao longo do eixo geométrico maior e um diâmetro mínimo do canal ao longo do eixo geométrico menor e com o eixo geométrico maior alinhado com um plano de simetria longitudinal do espelho de calha parabólico, dito tubo de aquecimento posicionado coaxialmente ao longo do eixo geométrico focal de dito espelho para receber luz solar concentrada a partir do mesmo de modo que um fluido de trabalho em dito tubo de aquecimento é aquecido pela mesma e provido para uso através de uma extremidade de saída de dito tubo de aquecimento.

2. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a relação focal de dito espelho é aproximadamente $f/0,25$.

3. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o meio de rotação de espelho inclui um temporizador para girar o espelho de calha parabólico para rastrear o sol com base em uma programação de rotação predeterminada.

4. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a relação do diâmetro máximo para com o diâmetro mínimo é aproximadamente 2:1.

5. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o formato de seção transversal oblongo do canal de fluxo é formado por duas superfícies parabólicas unidas ao longo do eixo geométrico maior para formar dois vértices opostos.

5 6. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que cada dos vértices opostos forma um ângulo de aproximadamente 90 graus.

7. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o formato de seção transversal oblonga do canal de fluxo tem quatro lados com dois vértices opostos ao longo do eixo geométrico maior e dois vértices opostos ao longo do eixo geométrico de espelho.

8. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que dito tubo de aquecimento é um tubo de parede delgada que absorve luz solar.

9. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de que dito coletor de calor ainda compreende um tubo de parede delgada, opticamente transparente, evacuado, que circunda telescopicamente e é espacialmente espaçado do tubo de aquecimento.

10. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que dito tubo de aquecimento compreende um tubo de parede espessa, opticamente transparente, tendo uma superfície de parede interna formando o canal de fluxo e uma superfície de parede externa convexa curvilínea para aumentar as dimensões do canal de fluxo, dita superfície de parede interna revestida com material que absorve luz solar.

11. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a relação do diâmetro de

superfície de parede externa do invólucro de espessura opticamente transparente para com o diâmetro máximo do canal de fluxo ao longo do eixo geométrico maior é pelo menos 3:1.

5 12. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de que dito coletor de calor ainda compreende um tubo delgado opticamente transparente, evacuado, telescopicamente circundante, e radialmente espaçado do tubo de aquecimento de parede espessa opticamente transparente.

10 13. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que dito tubo de aquecimento é mais longo que dito espelho e posicionado para estender-se além de cada extremidade de dito espelho.

15 14. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 13, caracterizada pelo fato de que dito coletor de calor é posicionado para estender-se além de cada extremidade de dito espelho por até uma quantidade substancialmente igual ao comprimento focal de dito espelho vezes a tan de (23,5 graus).

20 15. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a relação entre um diâmetro externo máximo do tubo de aquecimento e a largura de dito espelho é aproximadamente 0,45 %.

25 16. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que ainda compreende meio para montar dito espelho de modo que o eixo geométrico focal é paralelo ao eixo geométrico rotacional da terra e dito espelho é rotativo em torno de um eixo geométrico de rotação do mesmo.

17. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 16, caracterizada pelo fato de que o meio de montagem de espelho é capaz de suportar dito espelho de modo que seu eixo geométrico

focal é também o eixo geométrico de rotação.

18. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 16, caracterizada pelo fato de que dito meio de montagem de espelho inclui meio para substancialmente alinhar o eixo geométrico focal com a Estrela do Norte para uso em locais do hemisférico norte.

19. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 16, caracterizada pelo fato de que dito meio de montagem de espelho inclui meio para angular o eixo geométrico focal de dito espelho a partir da horizontal por um ângulo igual à latitude do local de montagem.

20. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 16, caracterizada pelo fato de que, para locais de montagem de latitude de não-zero, o meio de montagem é capaz de suportar dito espelho de modo que a extremidade de saída do tubo de aquecimento é elevada para mais alto que a extremidade oposta.

21. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que ainda compreende um reservatório de armazenagem térmica operativamente conectado com a extremidade de saída do tubo de aquecimento para receber de forma armazenada energia térmica transferida para o reservatório pelo fluido de trabalho aquecido.

22. Instalação de energia térmica solar de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que dito reservatório de armazenagem térmica é também operativamente conectado com uma extremidade de entrada do tubo de aquecimento para retornar o fluido de trabalho para o mesmo em um ciclo de armazenagem térmica de circuito fechado.

23. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 21, caracterizada pelo fato de que dito reservatório de armazenagem térmica é fluidicamente conectado com a extremidade de saída

do tubo de aquecimento para receber de forma a poder ser armazenado o fluido de trabalho aquecido a partir do mesmo.

24. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato de que dito reservatório de armazenagem térmica é também fluidicamente conectado com uma extremidade de entrada do tubo de aquecimento para retornar o fluido de trabalho para o mesmo em um ciclo de armazenagem térmica de circuito fechado.

25. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 21, caracterizada pelo fato de que dito reservatório de armazenagem térmica contém água e rocha para uso como o meio de armazenagem de energia térmica.

26. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 21, caracterizada pelo fato de que dito reservatório de armazenagem térmica tem uma superfície de troca de calor que pode ser conectada com uma linha de fornecimento de água para aquecer água fornecida pela mesma.

27. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que ainda compreende um motor acionado por calor operativamente conectado para receber energia térmica a partir de dito coletor de calor para produzir energia.

28. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 27, caracterizada pelo fato de que ainda compreende um reservatório de armazenagem térmica operativamente conectado tanto com a extremidade de saída do tubo de aquecimento para armazenar energia térmica recebida do mesmo, quanto com dito motor acionado por calor para fornecer energia térmica para o mesmo.

29. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 28, caracterizada pelo fato de que dito motor acionado por calor

é um motor a vapor fluidicamente conectado com dito reservatório de armazenagem térmica para receber vapor armazenado no mesmo.

5 30. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 29, caracterizada pelo fato de que o motor a vapor é fluidicamente conectado com dito reservatório de armazenagem térmica para também retornar água de volta para dito reservatório em um ciclo de energia de circuito fechado.

10 31. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 30, caracterizada pelo fato de que dito reservatório de armazenagem térmica é também operativamente conectado com uma extremidade de entrada do tubo de aquecimento para retornar o fluido de trabalho para o mesmo em um ciclo de armazenagem térmica de circuito fechado que opera independentemente do ciclo de energia de circuito fechado.

15 32. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 31, caracterizada pelo fato de que água é também o fluido de trabalho para o ciclo de armazenagem térmica de circuito fechado.

20 33. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 32, caracterizada pelo fato de que dito reservatório de armazenagem térmica é fluidicamente conectado a extremidade de saída de dito coletor de calor para receber de forma que pode ser armazenado vapor a partir do mesmo e com a extremidade de entrada de dito coletor de calor para retornar água para o mesmo, de modo que o mesmo fluido de trabalho é usado tanto para o ciclo de energia de circuito fechado quanto o ciclo de armazenagem térmica de circuito fechado.

25 34. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 27, caracterizada pelo fato de que ainda compreende um gerador elétrico operativamente conectado com dito motor acionado por calor.

35. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a extremidade de saída do tubo

de aquecimento é fluidicamente conectável com um tanque de armazenagem de água, e o tubo de aquecimento tem uma extremidade de entrada fluidicamente conectável com uma fonte de água.

5 36. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 35, caracterizada pelo fato de que ainda compreende uma bomba de água para bombear água da fonte de água para a extremidade de entrada e água aquecida da extremidade de saída para o tanque de armazenagem de água.

10 37. Instalação de energia térmica solar, caracterizada pelo fato de que compreende:

um espelho de calha parabólico tendo um eixo geométrico focal longitudinal para concentrar luz solar ao longo do mesmo;

um meio para girar dito espelho em torno do eixo geométrico de rotação para seguir o sol; e

15 um coletor de calor tubular compreendendo um tubo de aquecimento de parede espessa opticamente transparente tendo uma superfície de parede interna formando um canal de fluxo e uma superfície de parede externa curvilínea convexa para aumentar as dimensões do canal de fluxo, dita superfície de parede interna revertida com um material que absorve luz
20 solar, e dito tubo de aquecimento coaxialmente posicionado ao longo do eixo geométrico focal para receber luz solar concentrada a partir de dito espelho de modo que um fluido de trabalho no canal de fluxo é assim aquecido e provido para uso através de uma extremidade de saída do tubo de aquecimento.

25 38. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 37, caracterizada pelo fato de que a relação entre o diâmetro de superfície de parede externa e o diâmetro de superfície de parede interna do tubo de aquecimento é pelo menos 3:1.

39. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 37, caracterizada pelo fato de que o canal de fluxo tem um

formato de seção transversal oblongo distinguido por eixos geométricos maior e menor com um diâmetro máximo do canal ao longo do eixo geométrico maior e um diâmetro mínimo do canal ao longo do eixo geométrico de espelho e com o eixo geométrico maior alinhado com um plano de simetria longitudinal do espelho de calha parabólico.

40. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 39, caracterizada pelo fato de que o formato de seção transversal oblongo do tubo de aquecimento é formado por dois segmentos parabólicos unidos ao longo do eixo geométrico maior para formar vértices opostos.

41. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 40, caracterizada pelo fato de que cada dos vértices opostos forma um ângulo de aproximadamente 90 graus.

42. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 39, caracterizada pelo fato de que a relação entre o diâmetro máximo do canal e o diâmetro mínimo do canal é aproximadamente 2:1.

43. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 37, caracterizada pelo fato de que dito coletor de calor ainda compreende um tubo delgado opticamente transparente, evacuado, circundando telescopicamente e radialmente espaçado do tubo de aquecimento.

44. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 37, caracterizada pelo fato de que a relação entre o diâmetro externo máximo do tubo de aquecimento e a largura de dito espelho é aproximadamente 0,45 %.

45. Instalação de energia térmica solar, caracterizada pelo fato de que compreende:

um espelho de calha parabólico tendo um eixo geométrico focal longitudinal para concentrar luz solar ao longo do mesmo;

um meio para montar dito espelho de modo que o eixo geométrico focal é paralelo com o eixo geométrico de rotação da terra e dito espelho é girável em torno de um eixo geométrico de rotação longitudinal do mesmo;

5 um meio para girar dito espelho em torno do eixo geométrico de rotação para seguir o sol; e

um coletor de calor tubular alongado formando um canal de fluxo e coaxialmente posicionado ao longo do eixo geométrico focal para receber luz solar concentrada a partir de dito espelho de modo que um fluido
10 de trabalho no canal de fluxo é assim aquecido e provido para uso através de uma extremidade de entrada de dito coletor de calor.

46. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 45, caracterizada pelo fato de que o meio de montagem de espelho é capaz de suportar dito espelho de modo que seu eixo geométrico
15 focal é também o eixo geométrico de rotação.

47. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 45, caracterizada pelo fato de que dito meio de montagem de espelho inclui meio para substancialmente alinhar o eixo geométrico focal com a Estrela do Norte para uso em locais do hemisfério norte.

20 48. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a reivindicação 45, caracterizada pelo fato de que dito meio de montagem de espelho inclui meio para angular o eixo geométrico focal de dito espelho desde a horizontal por um ângulo igual à latitude do local de montagem.

49. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a
25 reivindicação 45, caracterizada pelo fato de que, para locais de montagem de latitude de não-zero, o meio de montagem de espelho é capaz de suportar dito espelho de modo que a extremidade de saída do coletor de calor é elevada para mais alto que a extremidade oposta.

50. Instalação de energia térmica solar, de acordo com a

reivindicação 45, caracterizada pelo fato de que a relação entre um diâmetro externo máximo do tubo de aquecimento e a largura de dito espelho é aproximadamente 0,45 %.

5 51. Instalação de energia térmica solar, caracterizada pelo fato de que compreende:

um espelho de calha parabólico tendo um eixo geométrico focal longitudinal para concentrar luz solar ao longo do mesmo;

10 um meio para montagem de dito espelho de modo que o eixo geométrico focal é paralelo ao eixo geométrico de rotação da terra e dito espelho é girável em torno de um eixo geométrico de rotação longitudinal do mesmo;

um meio para girar dito espelho em torno de um eixo geométrico de rotação longitudinal para seguir o sol; e

15 um coletor de calor tubular compreendendo um tubo de aquecimento de parede espessa opticamente transparente tendo uma superfície de parede interna formando um canal de fluxo e uma superfície de parede externa curvilínea convexa para aumentar as dimensões do canal de fluxo, dito canal de fluxo tendo um formato de seção transversal oblonga distinguido por eixos geométricos maior e menor com um diâmetro máximo do canal ao
20 longo do eixo geométrico maior e um diâmetro mínimo do canal ao longo do eixo geométrico menor e com o eixo geométrico maior alinhado com um plano de simetria longitudinal do espelho de calha parabólico, dita superfície de parede interna revertida com um material que absorve luz solar, e dito tubo de aquecimento coaxialmente posicionado ao longo do eixo geométrico focal
25 para receber luz solar concentrada a partir de dito espelho de modo que um fluido de trabalho no canal de fluxo é assim aquecido e provido para uso através de uma extremidade de saída do tubo de aquecimento.

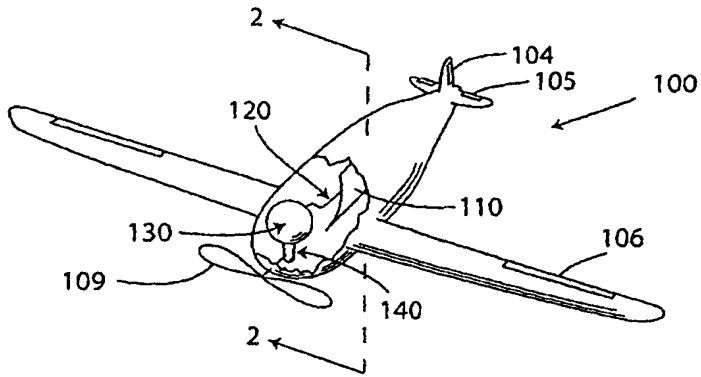


Fig. 1

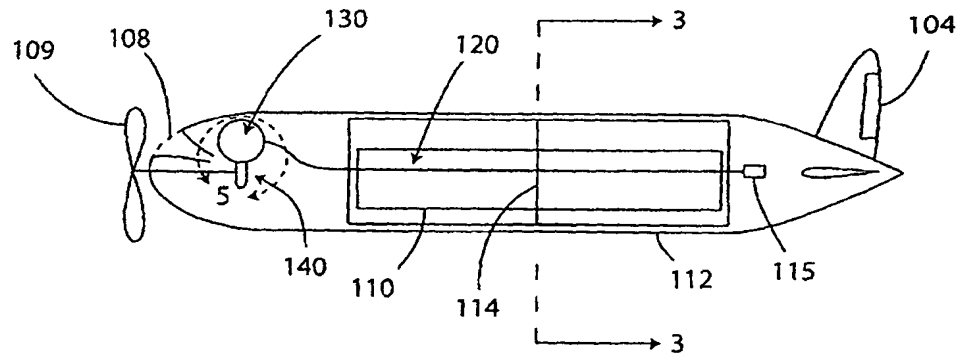


Fig. 2

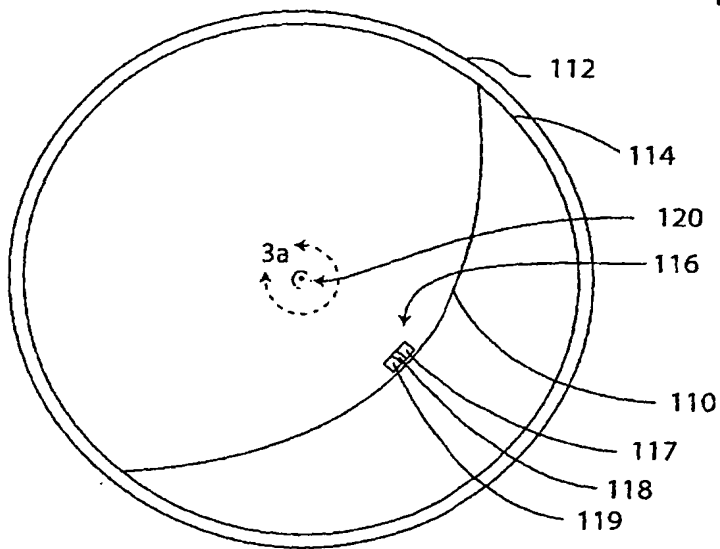


Fig. 3

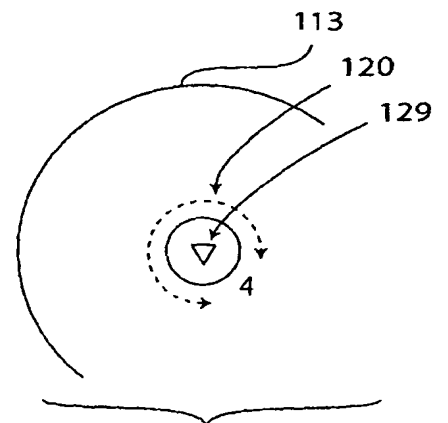
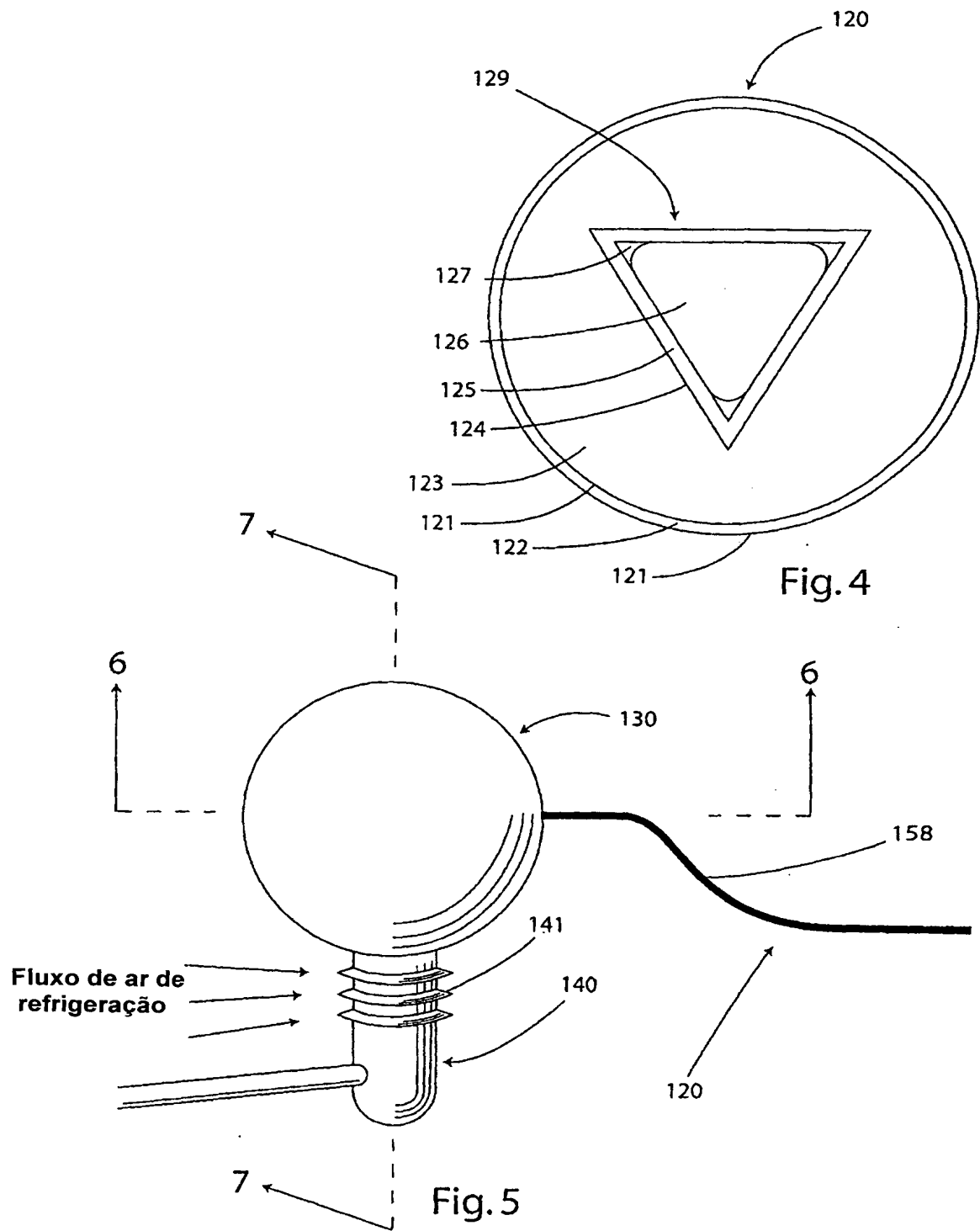


Fig. 3a



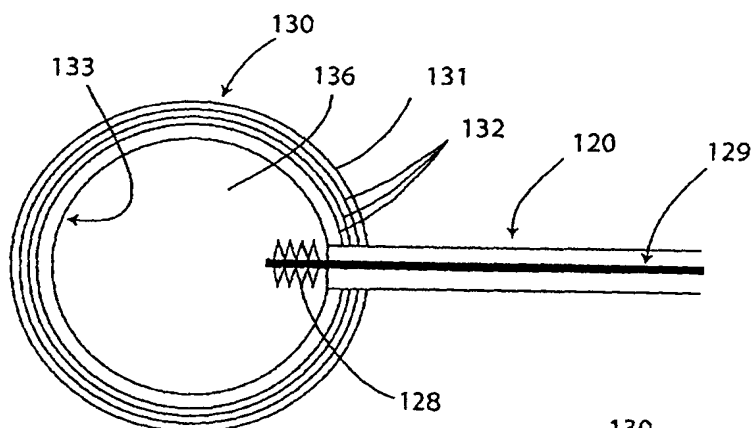


Fig. 6

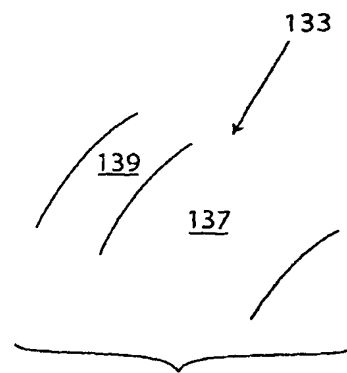


Fig. 9

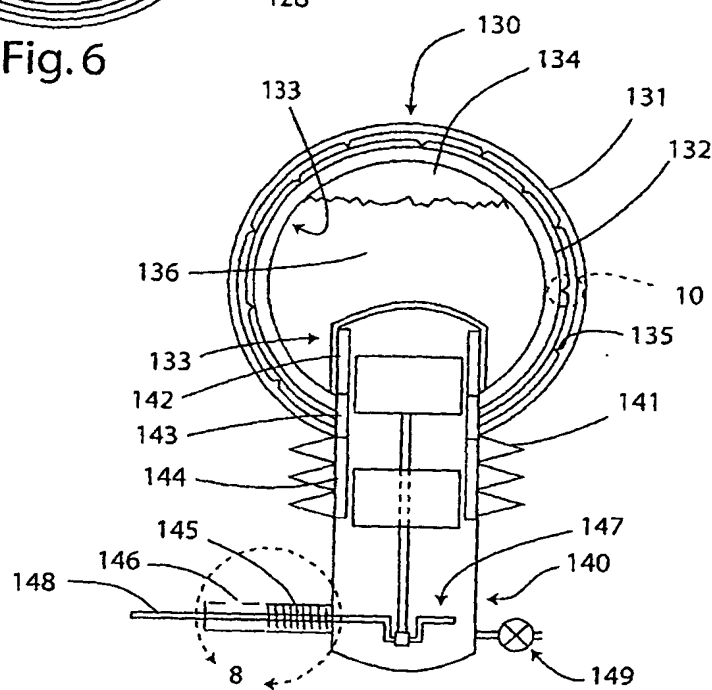


Fig. 7

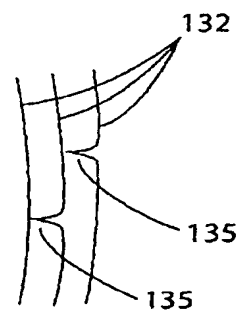


Fig. 10

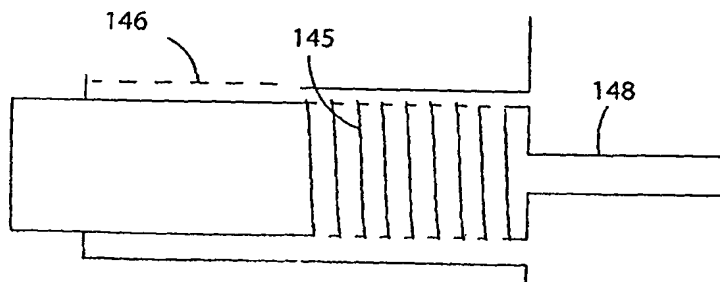


Fig. 8

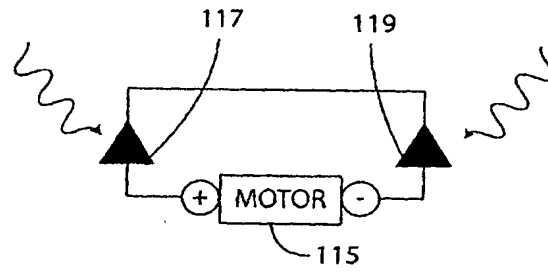


Fig. 11

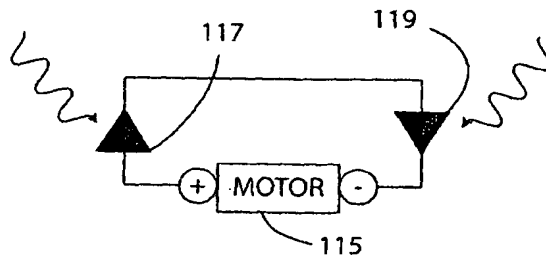


Fig. 12

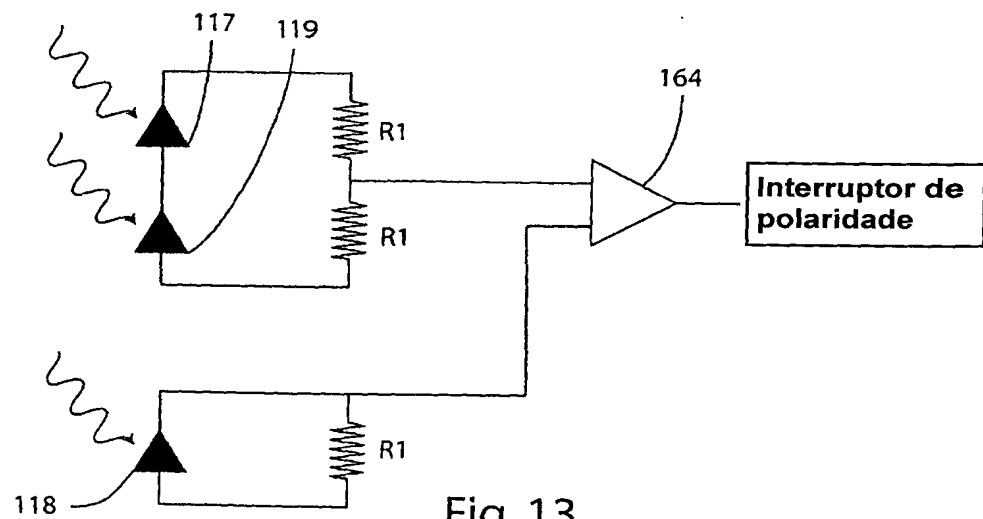


Fig. 13

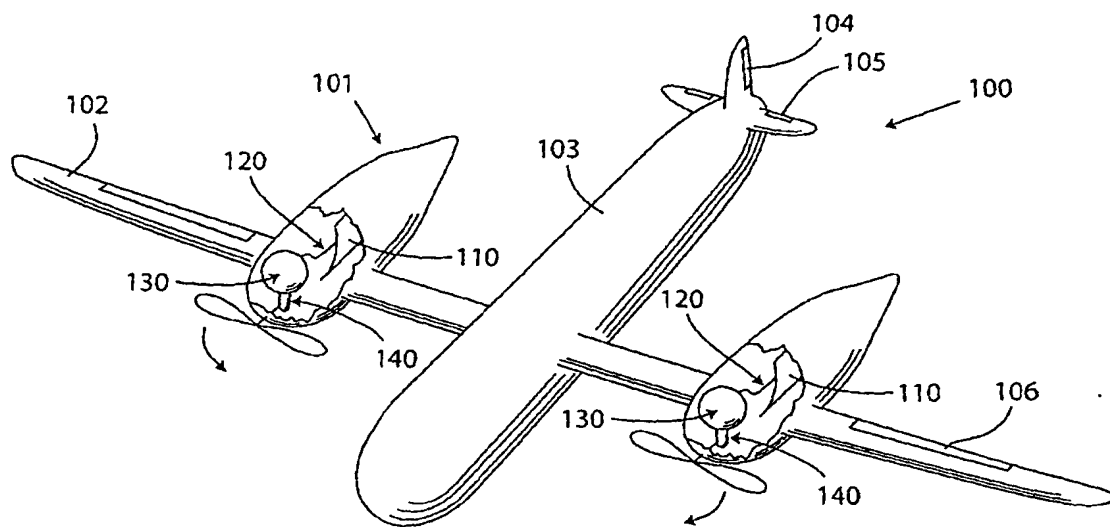


Fig. 14

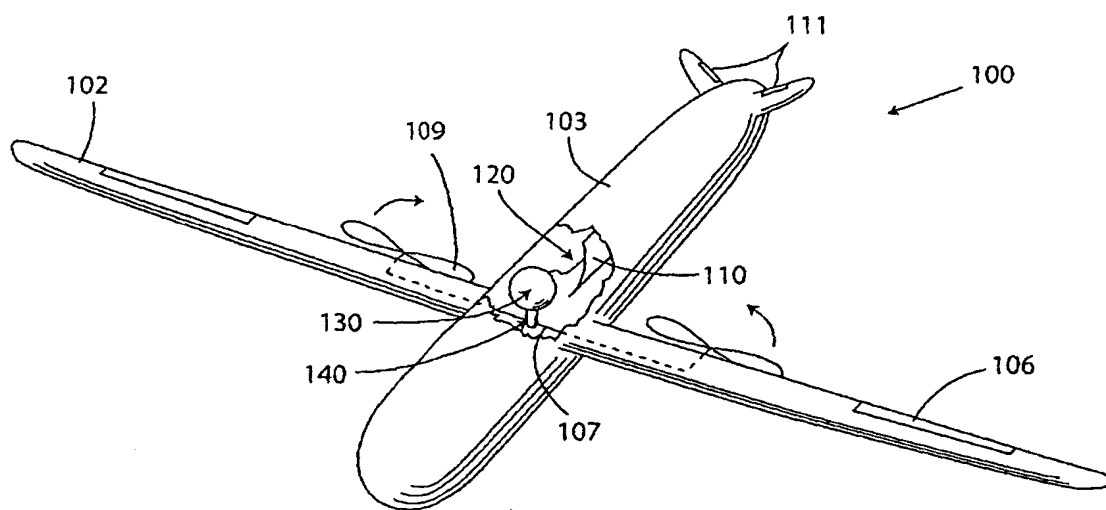


Fig. 15

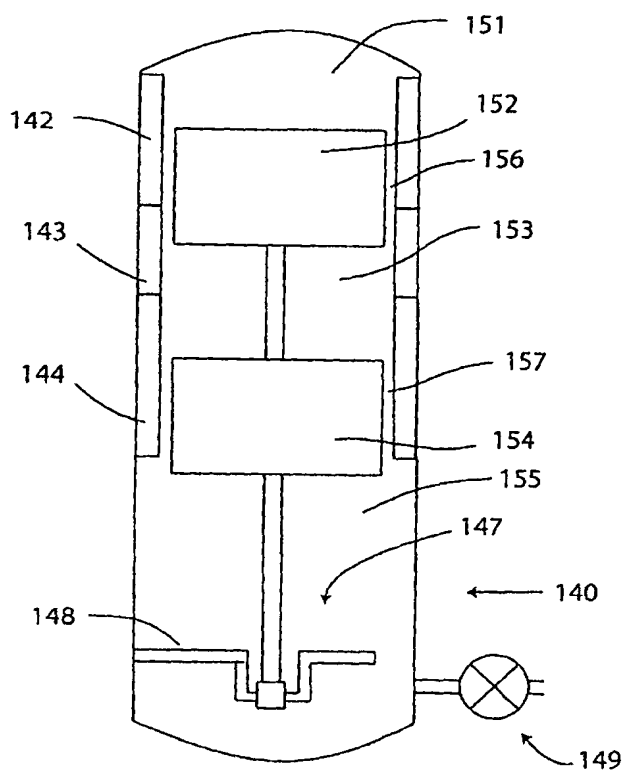


Fig. 16

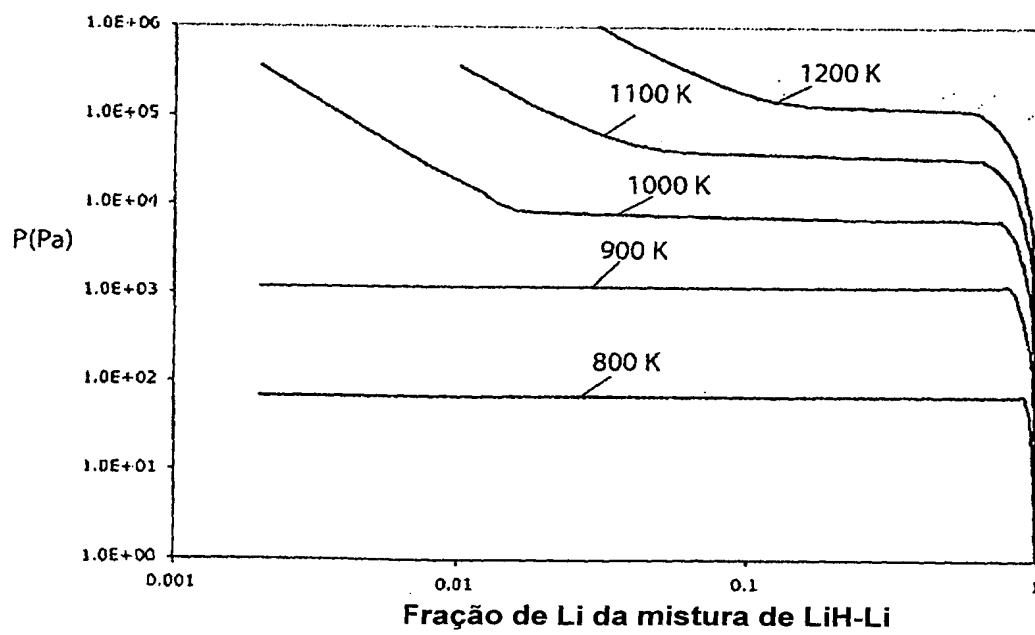


Fig. 17

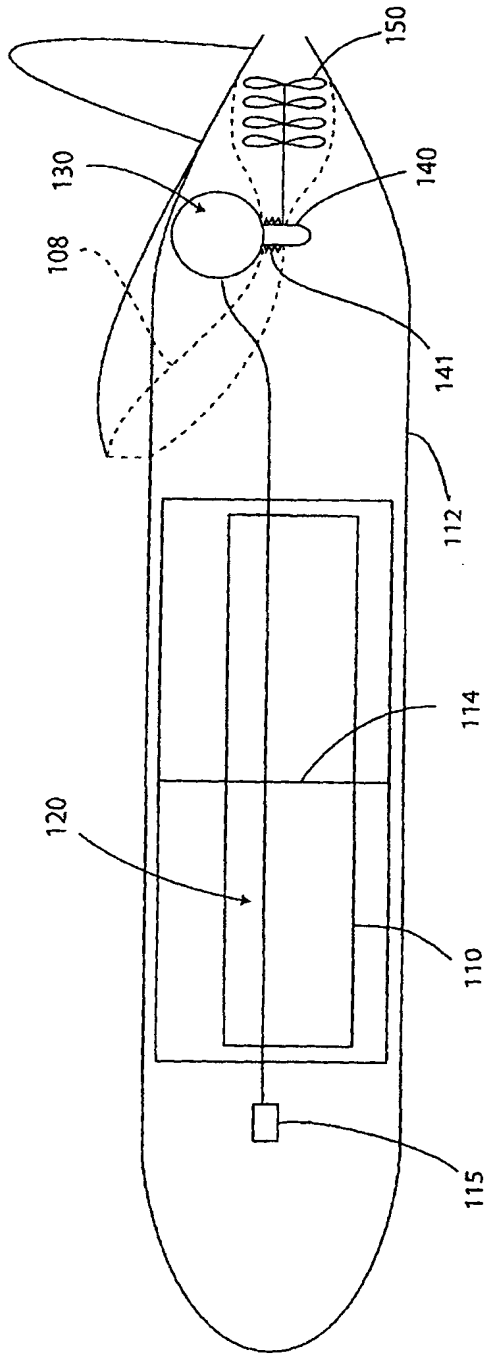


Fig. 18

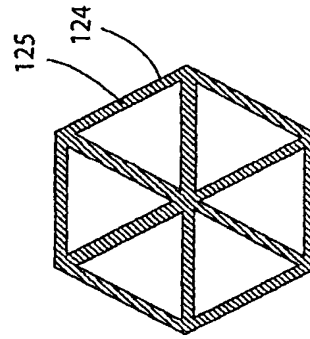


Fig. 19

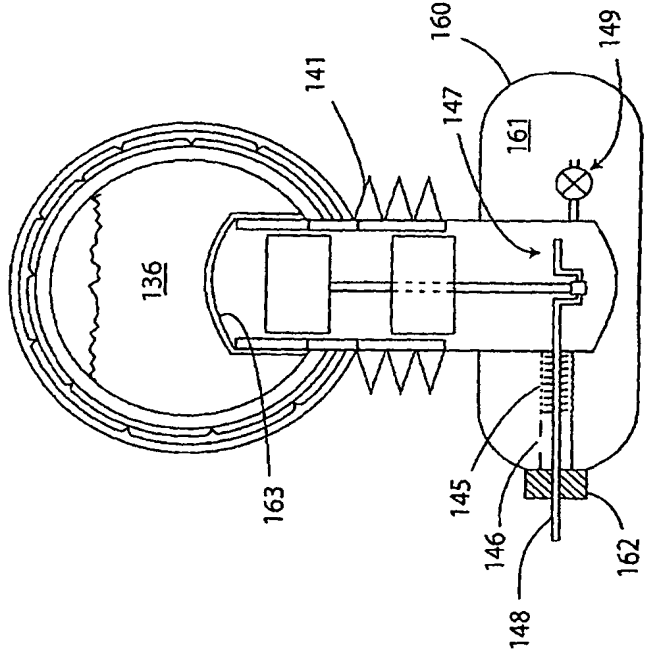


Fig. 20

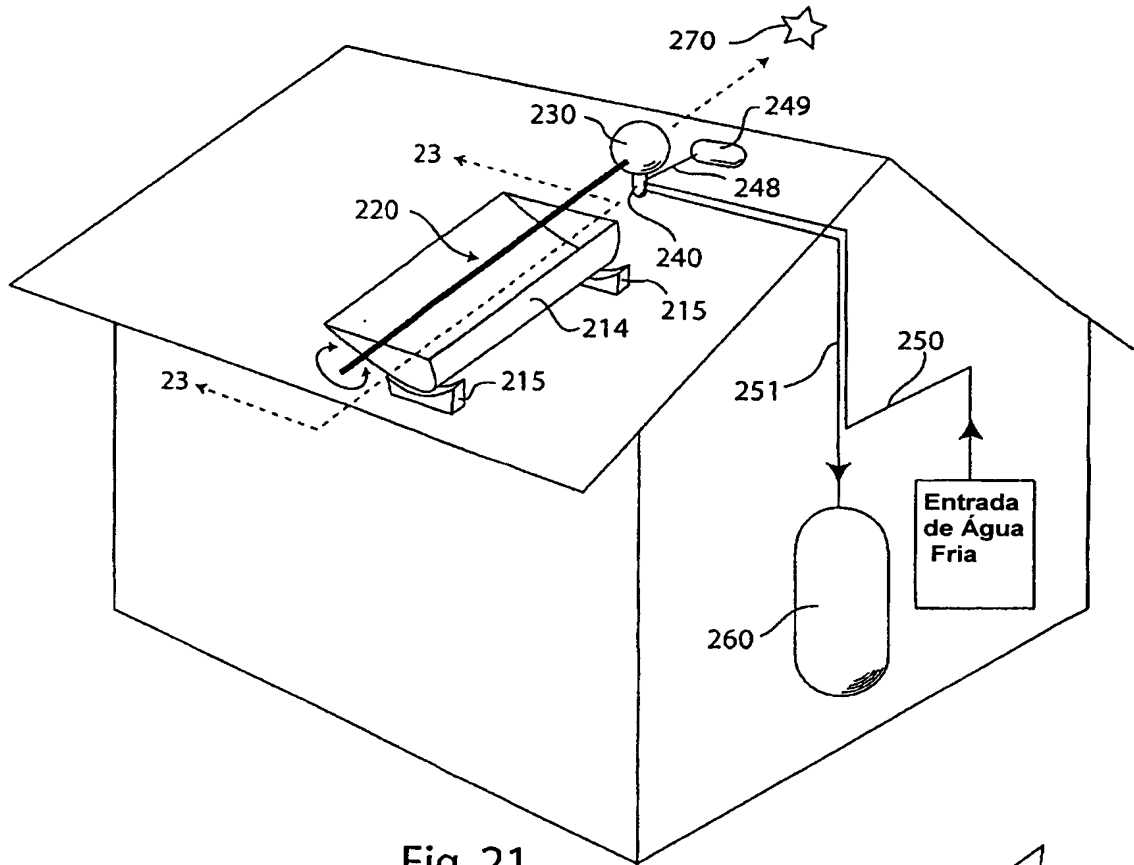


Fig. 21

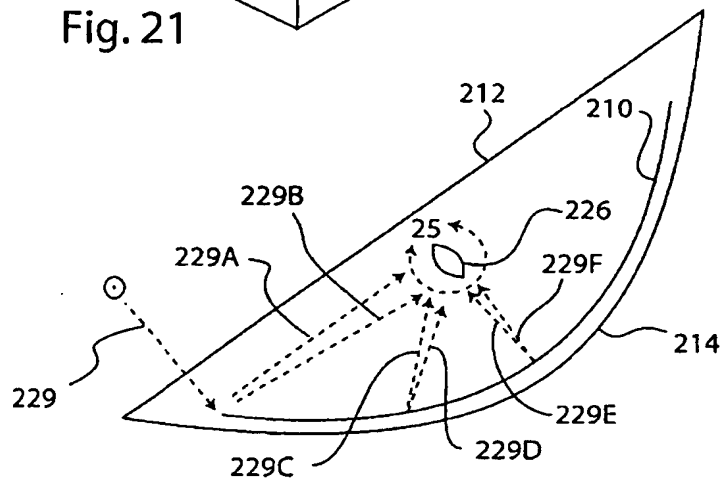


Fig. 22

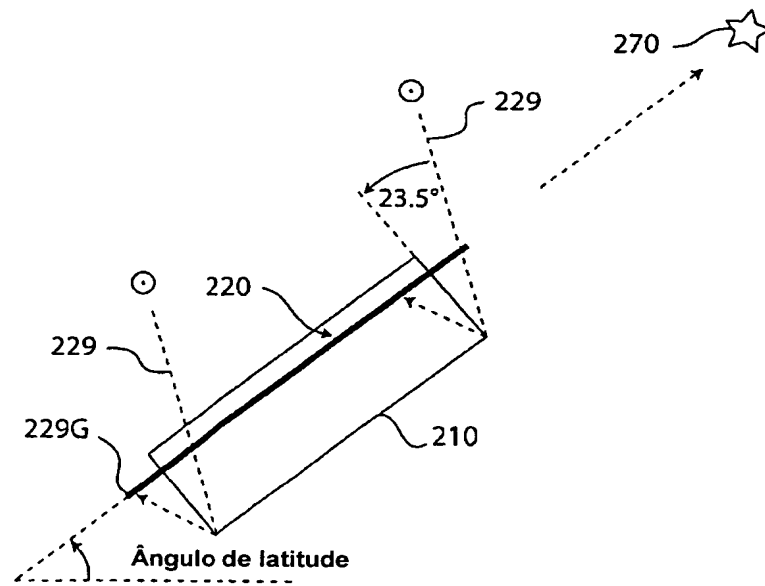


Fig. 23

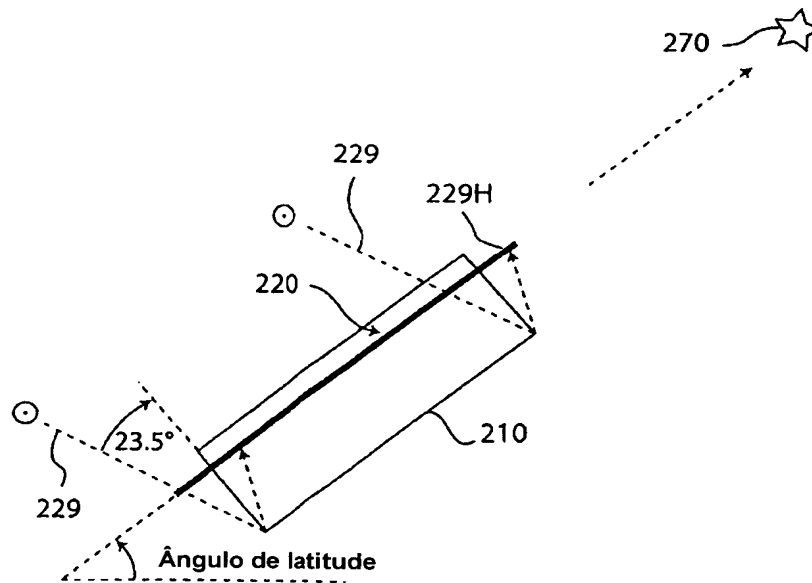


Fig. 24

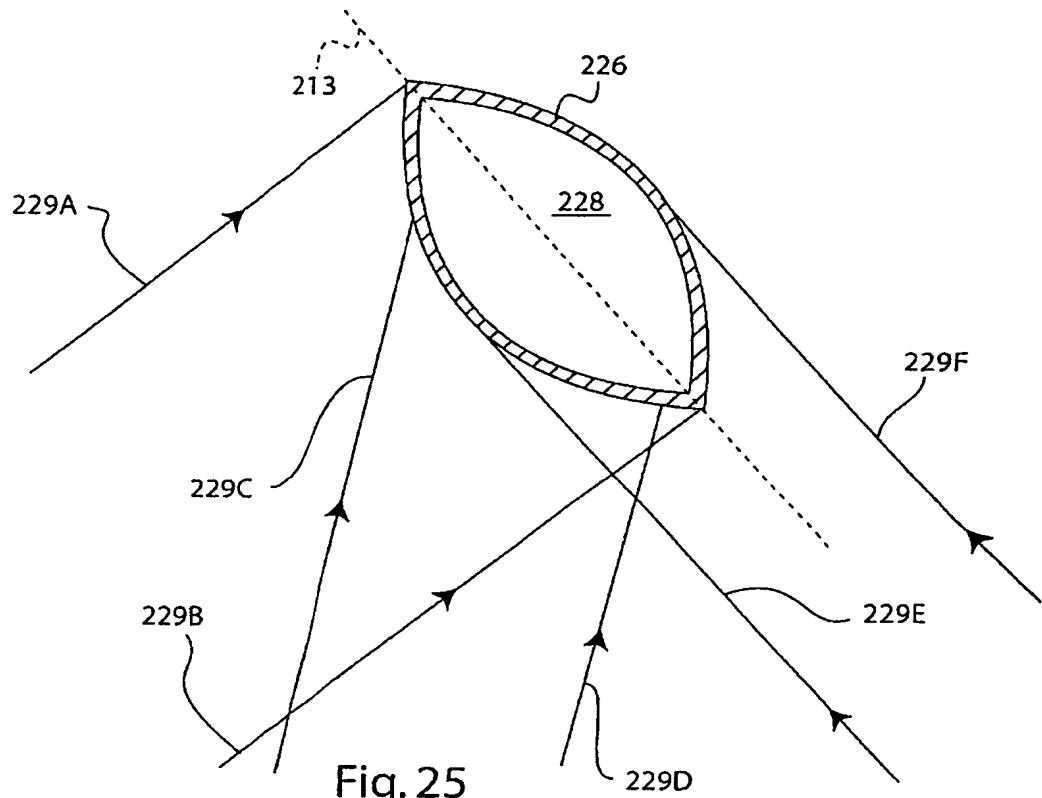


Fig. 25

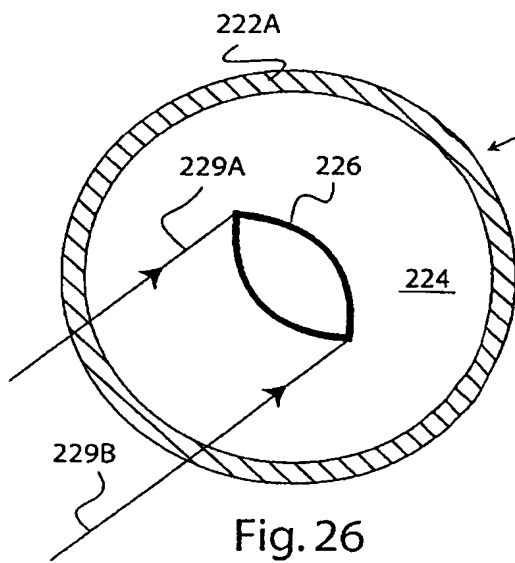


Fig. 26

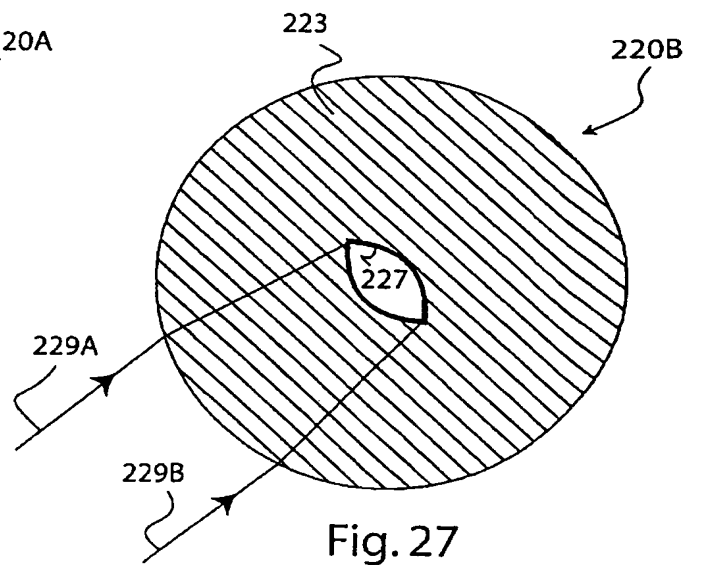
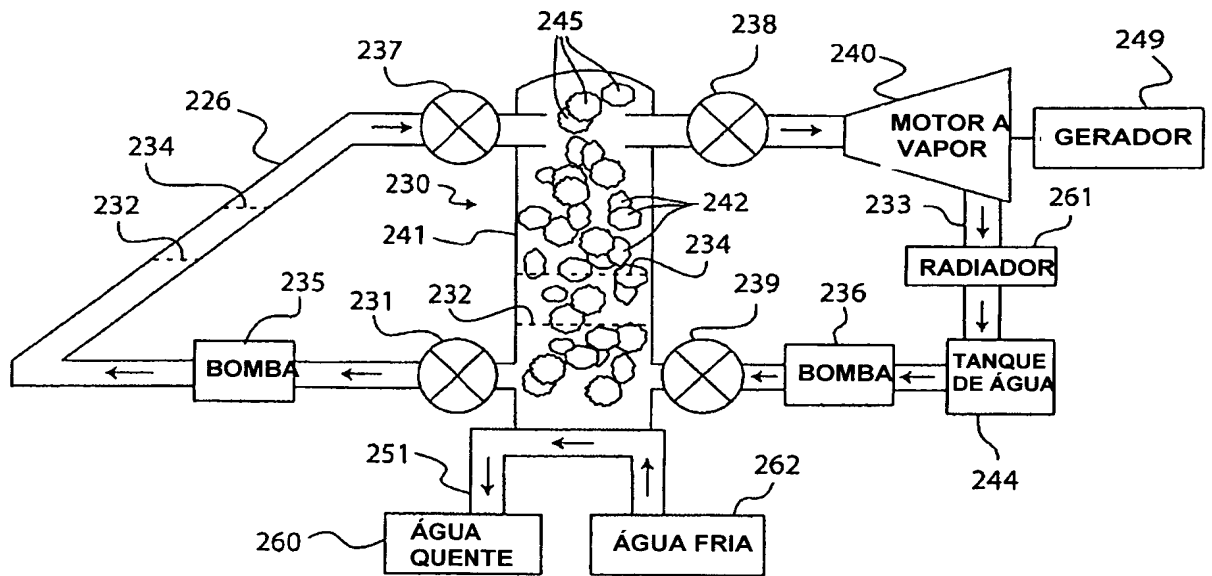
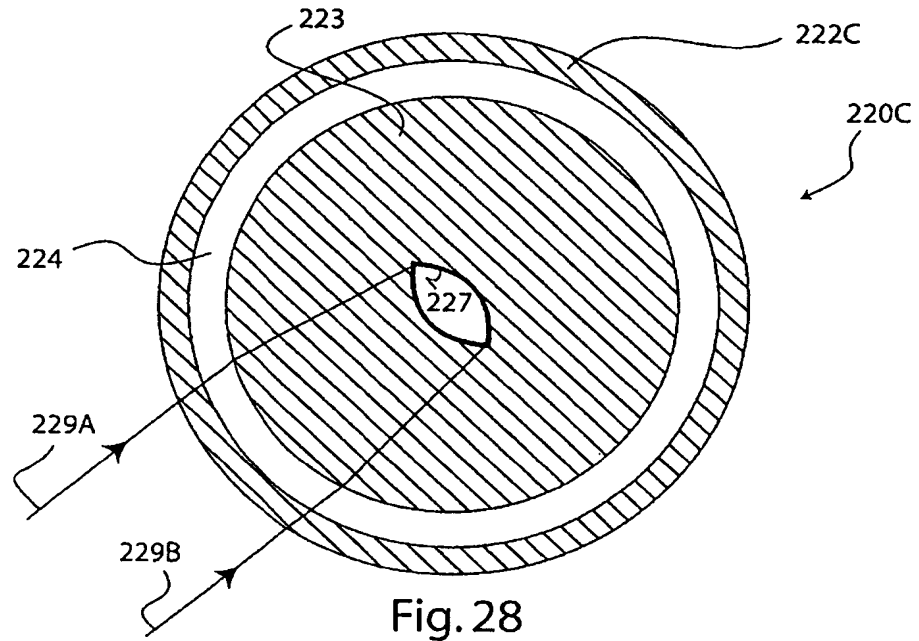


Fig. 27



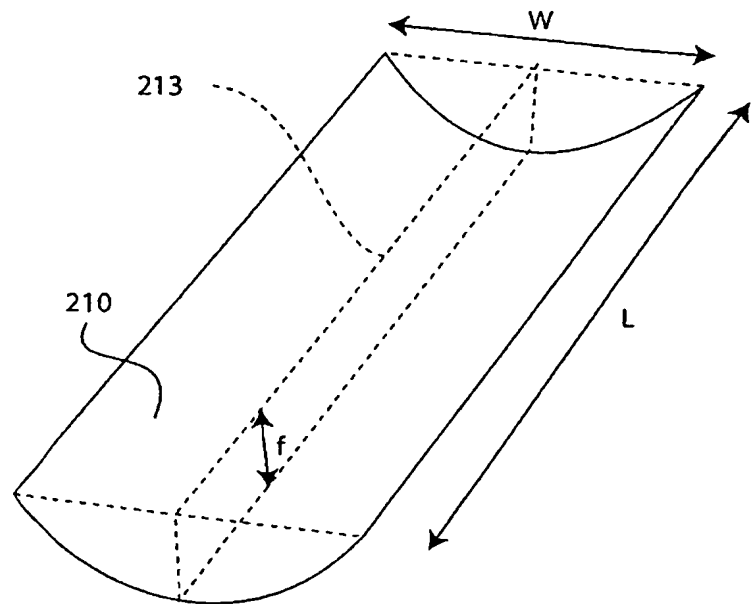


Fig. 30

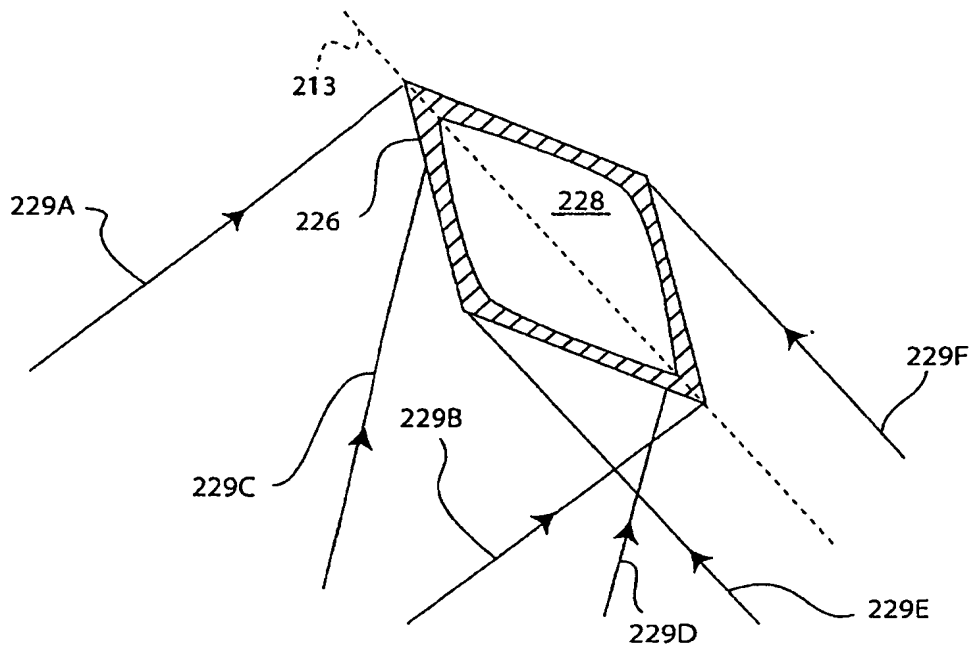


Fig. 31

RESUMO

“INSTALAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA SOLAR”

Uma instalação de energia térmica solar residencial, de alta eficiência, para economicamente gerar energia a partir de energia térmica solar, usando um espelho de calha parabólico tendo um eixo geométrico focal longitudinal, para concentrar luz solar, um girador de temporizador para girar o espelho em torno do eixo geométrico focal e de rotação longitudinal para seguir o sol, e um coletor de calor circundando um canal de fluxo que preferivelmente tem um formato de seção transversal oblongo com um eixo geométrico maior alinhado com um plano de simetria longitudinal do espelho de calha parabólico. O coletor de calor é coaxialmente posicionado ao longo do eixo geométrico focal de dito espelho para receber luz solar concentrada de modo que um fluido de trabalho é aquecido e provido para uso através de uma extremidade de saída do coletor de calor.