



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



(11) BR 102017008552-0 B1

(22) Data do Depósito: 25/04/2017

(45) Data de Concessão: 10/12/2024

(54) Título: MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS E PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA

(51) Int.Cl.: F02C 6/00; F01B 29/00.

(73) Titular(es): BRAZIL INNOVATION COMMERCE LTDA.

(72) Inventor(es): SAULO FINCO; MARNO IOCKHECK; LUIS MAURO MOURA.

(57) Resumo: Refere-se a presente invenção a um motor térmico tipo turbina e seu ciclo termodinâmico de sete processos, mais especificamente trata-se de uma máquina térmica caracterizada por um subsistema de conversão de energia e um subsistema de conservação de energia e ambos executam um ciclo termodinâmico binário interdependentes, porém não diferencial, opera com gás, este sistema realiza um ciclo termodinâmico composto por sete processos contínuos, isto é, todos os processos ocorrem simultaneamente, sendo três destes processos ?isobáricos? e quatro ?adiabáticos? com transferência de massa variável de um dos subsistemas para o outro dinamicamente, podendo esta ser nula ou parcial.

"MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS E PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA"

CAMPO TÉCNICO DA INVENÇÃO

[001] Refere-se a presente invenção a um motor térmico tipo turbina e seu ciclo termodinâmico de sete processos, mais especificamente trata-se de uma máquina térmica caracterizada por um subsistema de conversão de energia e um subsistema de conservação de energia e ambos executam um ciclo termodinâmico binário interdependentes, porém não diferencial, opera com gás, este sistema realiza um ciclo termodinâmico composto por sete processos contínuos, isto é, todos os processos ocorrem simultaneamente, sendo três destes processos "isobáricos" e quatro "adiabáticos" com transferência de massa variável de um dos subsistemas para o outro dinamicamente, podendo esta ser nula ou parcial.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] A termodinâmica clássica define três conceitos de sistemas termodinâmicos, o sistema termodinâmico aberto, o sistema termodinâmico fechado e o sistema termodinâmico isolado. Estes três conceitos de sistemas termodinâmicos foram conceituados no século XIX nos primórdios da criação das leis da termodinâmica e fundamentam todos os ciclos motores conhecidos até o presente.

[003] O sistema termodinâmico isolado é definido como um sistema no qual nem matéria, nem energia passa através dele. Portanto, este conceito de sistema termodinâmico não oferece propriedades que permitam o desenvolvimento de motores.

[004] O sistema termodinâmico aberto é definido como um sistema termodinâmico em que energia e matéria podem entrar e sair deste sistema. São exemplos de sistema termodinâmico aberto os motores de combustão interna, de ciclo Otto, de ciclo Atkinson, semelhante ao ciclo Otto, de ciclo Diesel, de ciclo Sabathe, semelhante ao ciclo Diesel, de ciclo Brayton de combustão interna, de ciclo Rankine com exaustão do vapor ao ambiente. As matérias que entram nestes sistemas são os combustíveis e oxigênio ou

fluido de trabalho ou gás de trabalho. A energia que entra nestes sistemas é o calor. As matérias que saem destes sistemas são a exaustão da combustão ou do fluido de trabalho, gases, resíduos, as energias que saem destes sistemas são a energia mecânica de trabalho e parte do calor dissipado.

[005] O sistema termodinâmico fechado é definido como um sistema termodinâmico em que apenas a energia pode entrar e sair deste sistema. São exemplos de sistema termodinâmico fechado, motores de combustão externa como o de ciclo Stirling, de ciclo Ericsson, de ciclo Rankine com fluido de trabalho em circuito fechado, de ciclo Brayton de calor ou de combustão externa, de ciclo Carnot. A energia que entra neste sistema é o calor. As energias que saem deste sistema são a energia mecânica de trabalho e parte do calor dissipado, porém não sai matéria destes sistemas, como ocorrem no sistema aberto.

[006] Ambos os sistemas, aberto e fechado, toda a massa do gás de trabalho é exposta à energia de entrada, calor ou combustão e toda ela também, é exposta ao resfriamento ou arrefecimento, isto é, a massa do gás de trabalho é constante em seus processos e a diferença entre ambos é que no sistema aberto a massa de gás de trabalho atravessa o sistema, e no sistema fechado a massa permanece no sistema.

O ESTADO ATUAL DA TÉCNICA

[007] Os motores conhecidos até o ano de 2010 são fundamentados em sistemas termodinâmicos aberto ou sistemas termodinâmicos fechado, eles possuem seus ciclos termodinâmicos compostos por uma série de processos sequenciais e independentes, e ocorre um único processo por vez até que o ciclo se complete, em alguns casos, os processos que formam seu ciclo ocorrem todos simultaneamente, porém com a massa de gás constante dentro de um único sistema, como os motores tipo turbinas do ciclo Brayton por exemplo, o qual é formado por dois processos isobáricos e dois processos adiabáticos. Portanto, formam o estado atual da técnica até o ano de 2010 os motores de ciclo Otto, Atkinson, Diesel, Sabathe, Brayton, Rankine, Stirling, Ericsson e o ciclo teórico ideal de Carnot.

[008] A energia interna do gás de trabalho dos motores baseados nos sistemas aberto e fechado não é constante durante o seu ciclo, a equação que representa a energia interna é indicada na equação (a).

$$U = \frac{n.R.T}{(\gamma-1)} \quad \text{Joule} \quad (a)$$

[009] Na equação (a), (U) representa a energia interna em “Joule”, (n) representa o número de mol, (R) representa a constante universal dos gases perfeitos, (T) representa a temperatura do gás em “Kelvin” e (γ) representa o coeficiente de expansão adiabática.

[010] Como ocorre sempre um único processo por vez nos motores projetados com o conceito de sistema aberto ou fechado, a energia interna varia com o tempo, uma vez que o produto: número de mol (n) pela temperatura (T), ($n.T$) não é constante durante o ciclo, pois a temperatura (T) é uma variável nos processos e o número de mol (n) é uma constante nos processos.

[011] O atual estado da técnica que caracteriza todos os motores, é caracterizado ainda pela propriedade onde a saída do processo, o trabalho, é uma consequência direta da entrada da energia, calor ou combustão, ou seja, quando é necessário mais trabalho, injeta-se mais calor ou se promove mais combustão, todos os processos que formam o ciclo do motor são igualmente influenciados, em outras palavras, os motores são controlados pela alimentação direta. Por exemplo, nos motores de combustão interna, Otto, Diesel, Brayton, para se obter maior potência injeta-se mais combustível, mais oxigênio e assim se produz mais trabalho, mais rotação. Para se obter maior potência com rotação constante, normalmente utilizam-se caixas de redução ou transformação de rotação. Por analogia, tais tecnologias podem ser comparadas na eletricidade a motores de corrente contínua, estes, para aumentar a potência, aumenta-se a tensão de alimentação do motor.

[012] O atual estado da técnica compreende uma série de motores, a maioria deles, dependentes de condições muito específicas e especiais para operar, por exemplo, os motores de combustão interna, cada um deles exige seu combustível específico, controle

fino de combustível, oxigênio e o tempo da combustão e em alguns casos exigem condições específicas inclusive de pressão, a flexibilidade no combustível é bem limitada. Nesta categoria, dos motores fundamentados nos sistemas aberto e fechado, o motor mais flexível é o de ciclo Rankine, de combustão externa, o Stirling ou o Ericsson, também de combustão externa, estes são mais flexíveis quanto a fonte.

[013] O atual estado da técnica compreende uma série de ciclo motores, a maioria exige combustão, isto é, a queima de algum tipo de combustível, e, portanto, a necessidade de oxigênio.

[014] O estado atual da técnica compreende uma série de ciclo motores, a maioria exige altas temperaturas para operação, os de combustão interna especialmente, costumam operar com o gás de trabalho em temperatura superiores a 1500 °C. Os motores de combustão externa ou operante por fontes de calor externas, como de ciclo Rankine e Stirling, normalmente são projetados para operarem com temperaturas do gás de trabalho entre 400 °C e 800 °C. Além dos motores baseados nos sistemas aberto e fechado exigirem na maioria das vezes altas temperaturas para que possam operar, todos eles possuem suas eficiências limitadas ao teorema de Carnot, isto é, suas eficiências máximas dependem exclusivamente das temperaturas conforme definido pela equação (b).

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad (b)$$

[015] Na equação (b), (η) é o rendimento, (T_f) é a temperatura da fonte fria e (T_q) é a temperatura da fonte quente, ambas em “Kelvin”.

[016] O estado atual da técnica, baseado nos sistemas aberto e fechado, compreende basicamente seis ciclos motores e algumas versões destes: o ciclo Otto, de ciclo Atkinson, semelhante ao ciclo Otto, de ciclo Diesel, de ciclo Sabathe, semelhante ao ciclo Diesel, de ciclo Brayton, de ciclo Rankine, de ciclo Stirling, de ciclo Ericsson e o de ciclo Carnot, referência teórica ideal para os motores fundamentados nos sistemas aberto e fechado. As últimas novidades do estado atual da técnica vêm sendo apresentadas através de inovações juntando-se mais de um ciclo antigo formando ciclos combinados,

isto é: novos sistemas de motores compostos por uma máquina de ciclo Brayton operante com combustíveis de origem fóssil, gás ou óleo e uma máquina de ciclo Rankine dependente do calor rejeitado pela máquina de ciclo Brayton. Ou a mesma filosofia, unindo-se um motor de ciclo Diesel com um de ciclo Rankine ou ainda um motor de ciclo Otto, também unindo-o com um motor de ciclo Rankine.

[017] O estado atual da técnica apresenta uma série de limitações e oferece também uma série de problemas. A maioria dos motores, como os de combustão interna, de ciclo Otto, Atkinson, Diesel, Sabathe e Brayton, exigem combustíveis específicos para cada conceito, por exemplo: gasolina, óleo diesel, gás, querosene, carvão, e de alto poder calorífico, precisam trabalhar sob altas temperaturas e por consequência, durante muitos anos, vem dependendo de combustíveis fósseis, trazendo danos graves ao clima e meio ambiente, isto é, são caracterizados pela não sustentabilidade. O sistema termodinâmico sob os quais estes motores são projetados, trazem como limitação de eficiência o teorema de Carnot o qual, em função de seu princípio, impõe o limite da eficiência como função direta e exclusiva das temperaturas, conforme equação (b).

[018] A maioria dos motores da atualidade exigem combustíveis refinados e poluentes com efeitos nocivos ao clima, ao ambiente e, portanto, comprometem a sustentabilidade. Uma das mais recentes tecnologias desenvolvidas para minimizar o impacto, foi a junção de dois antigos conceitos de motores, o motor de ciclo Brayton e o motor de ciclo Rankine, formando um sistema composto por dois ciclos combinados, de forma tal que o rejeito de calor da primeira máquina é utilizado pela segunda máquina para melhorar a eficiência do conjunto, porém o uso de combustíveis fósseis e seus efeitos permanecem. O ciclo combinado continua a ser caracterizado por um motor sob conceito de sistema aberto e um motor sob o conceito de sistema fechado, independentes, ou seja, é classificado como sistema combinado, dois ciclos completamente independentes, não se caracteriza como sistema híbrido ou binário.

[019] Os demais motores, de ciclo Stirling e Ericsson, são motores sob o conceito de sistema fechado, são de combustão externa ou fonte de calor externo. Em função de suas propriedades, embora tenham os conceitos mais simples de motores, são difíceis

de serem construídos. Exigem parâmetros de projetos casados, isto é, funcionam bem com boa eficiência apenas em seu regime específico de operação, temperatura, pressão, carga, porém fora do ponto central de operação suas eficiências caem bruscamente ou não operam, portanto são máquinas muito pouco utilizadas para uso industrial ou popular.

[020] O motor ideal de Carnot, por sua vez, embora seja considerado o motor ideal, mais perfeito até o presente, ele o é na teoria e dentro dos conceitos de sistema aberto e fechado considerando todos os parâmetros ideais, por este motivo é a referência até hoje para todos os conceitos de motores existentes. O motor de Carnot não é encontrado no uso prático porque os materiais reais não possuem as propriedades exigidas para tornar o motor de Carnot uma realidade, as dimensões físicas para que o ciclo de Carnot possa ser executado como na teoria, seriam inviáveis em um caso prático, portanto ele é um motor ideal nos conceitos de sistema aberto e sistema fechado, porém apenas no conceito teórico.

[021] O controle de potência, rotação e torque, dos motores existentes, de ciclo Otto, Atkinson, Diesel, Sabathe, Brayton, estes de combustão interna, são decorrentes diretamente da alimentação de combustíveis e oxigênio e como resultado oferecem maior rotação e torque simultaneamente. Para haver separação entre o torque e a rotação, eles exigem caixas de velocidade. Estas máquinas não permitem controlabilidade, ou no mínimo, oferecem dificuldades na controlabilidade através de seus ciclos termodinâmicos.

[022] O controle de potência, rotação e torque dos motores existentes de ciclo Rankine, este de combustão externa, são decorrentes da vazão e da pressão do vapor ou gás de trabalho, e como resultado oferecem variações interdependentes de rotação e torque simultaneamente, não há controlabilidade separada entre torque e rotação.

[023] O controle de potência, rotação e torque dos motores existentes de ciclo Stirling e Ericsson, estes de combustão externa, são decorrentes da massa ou pressão do gás de trabalho, das temperaturas, da geometria construtiva, e como resultado oferecem variações interdependentes de rotação e torque simultaneamente, não há

controlabilidade separada entre torque e rotação. Estas máquinas possuem suas curvas de operação muito estreitas oferecendo baixa controlabilidade e uma faixa estreita de operacionalidade. Nestes casos são comuns projetos que não funcionam porque os parâmetros nas suas interdependências podem não oferecer as condições que levam o motor a funcionar.

[024] O estado atual da técnica, recentemente revelou algumas referências que já se encontram com conceitos semelhantes do sistema híbrido ou binário, são motores que apresentam características de possuírem dois ciclos termodinâmicos interdependentes constituindo um ciclo complexo formado por oito processos, sempre com dois processos operando simultaneamente em um sistema formado por dois subsistemas de conversão de energia em trabalho integrados. A patente “PI 1000624-9” registrada no Brasil definida como “Conversor de energia termomecânico” é constituído por dois subsistemas que operam por meio de um ciclo termodinâmico formado por quatro processos isotérmicos e quatro processos isocóricos, sem regeneração. A patente “PCT/BR2013/000222” registrada nos Estados Unidos da América definida como “Máquina térmica que opera em conformidade com o ciclo termodinâmico de Carnot e processo de controle” a qual é constituída por dois subsistemas de conversão de energia em trabalho e opera em cada subsistema, um ciclo termodinâmico formado por dois processos isotérmicos e dois processos adiabáticos. A patente “PCT/BR2014/000381” registrada nos Estados Unidos da América definida como “Máquina térmica diferencial com ciclo de oito transformações termodinâmicas e processo de controle” a qual é constituída por dois subsistemas de conversão de energia em trabalho e opera um ciclo termodinâmico formado por quatro processos isotérmicos de quatro processos adiabáticos. Estas referências diferem da presente invenção especialmente por duas características bem marcantes, a mais importante é que as referências citadas são caracterizadas por ciclos diferenciais e possuem dois subsistemas de conversão de energia em trabalho, enquanto a tecnologia proposta possui um subsistema de conversão de energia em trabalho e o outro subsistema de conservação de energia, e seu ciclo é binário e não diferencial e os processos são contínuos, isto é, todos os processos que formam o seu ciclo ocorrem simultaneamente. O conceito de sistema termodinâmico híbrido ou binário oferece a

base para o desenvolvimento de novas famílias de motores térmicos, a família de motores térmicos de ciclos binários diferenciais e a família de motores térmicos de ciclos binários não diferenciais e cada motor terá características próprias conforme os processos e fases que constituem os seus respectivos ciclos termodinâmicos.

[025] Portanto os motores térmicos podem ser classificados da seguinte forma: motores térmicos fundamentados no sistema aberto, motores térmicos fundamentados no sistema fechado, motores térmicos fundamentados no sistema híbrido de ciclo binário diferencial e motores térmicos fundamentados no sistema híbrido de ciclo binário não diferencial.

[026] Fazem parte do sistema aberto os motores de ciclo Otto de combustão interna, motores de ciclo Atkinson de combustão interna, motores de ciclo Diesel de combustão interna, motores de ciclo Sabathe de combustão interna, motores de ciclo Brayton de combustão interna.

[027] Fazem parte do sistema fechado os motores de ciclo Stirling, motores de ciclo Ericsson, motores de ciclo Rankine, motores de ciclo Brayton de combustão externa, motores de ciclo Carnot.

[028] Fazem parte do sistema híbrido de ciclos diferenciais todos os motores formados por dois subsistemas de conversão de energia em trabalho. Fazem parte do sistema híbrido de ciclos binários não diferenciais todos os motores formados por um subsistema de conversão de energia em trabalho e um subsistema de conservação de energia.

[029] Em pesquisas mais aprofundadas objetivando melhor definir o estado da técnica acerca da matéria, foram encontrados alguns documentos que, mesmo distantes da presente solução, podem ajudar a estabelecer a tecnologia mais próxima ao pedido de patente questão, a saber:

[030] O documento **US4035243A** descreve um MÉTODO E APARELHO PARA DESTILAÇÃO DE GRANDES VOLUMES DE LÍQUIDOS, compreendendo a evaporação do líquido impuro em um evaporador para formar um vapor a uma temperatura acima do ponto de congelamento e no ou abaixo do ponto de ebulição do referido líquido à pressão

atmosférica e a uma pressão correspondente a temperatura de evaporação em condições saturadas; comprimir o referido vapor adiabaticamente; misturar em uma câmara de mistura o vapor comprimido sob condições substancialmente isobáricas diretamente com gases quentes tendo uma temperatura suficientemente maior que a temperatura do vapor comprimido para que a temperatura da mistura vapor-gás resultante seja maior que a temperatura do vapor comprimido antes da mistura; passar a mistura vapor-gás através de um motor de expansão para motivar o motor e produzir energia no eixo, pelo que a mistura vapor gás se expande e esfria adiabaticamente; comprimir adiabaticamente a mistura vapor-gás expandida em um compressor alimentado independentemente a uma pressão predeterminada correspondente a um diferencial de temperatura predeterminado entre a mistura vapor-gás comprimida e o líquido impuro; resfriar a mistura vapor-gás em relação à transferência de calor com o líquido impuro, pelo que o vapor condensa pelo menos parcialmente, transferindo calor suficiente ao líquido impuro para evaporar o líquido e formar o vapor acima mencionado; e coletando o vapor condensado.

[031] O documento **DE3233473** descreve uma CENTRAL TERMOELÉTRICA COM CICLO GÁS/VAPOR PARA A CONVERSÃO COMPLETA DE CALOR EM TRABALHO MECÂNICO, sendo proposta uma usina termelétrica com o chamado "ciclo gás/vapor" que opera entre o estado superaquecido e saturado até o estado saturado seco de um vapor superaquecido ou frio e, conseqüentemente, evita o constante aquecimento e evaporação do líquido de alimentação por meio do caldeira ou evaporador. O retorno do vapor úmido (X APROX. 0,9) pode, portanto, ser realizado com turbocompressores normais ou máquinas do tipo pistão (Figs. 1 e 1.1). O ciclo passa pelos seguintes estados (Figs. 2-3, mostrados para superaquecimento simples): 1) Absorção de calor isobárico do ponto de orvalho até a região de superaquecimento (estado gasoso): estado 1 -> 2, 2) adiabático/ expansão isentrópica para o estado de saturação (X APROX. 0,9) com $\kappa = 1,3$, com trabalho sendo realizado: estado 2 -> 3, 3) compressão adiabática/isentrópica do vapor úmido com $\kappa = 1,135$ com trabalho sendo despendido e, conseqüentemente, conclusão do ciclo: estado 3 -> 1. A área delimitada entre os três estados no diagrama pressão/volume (Fig. 2) é igual ao trabalho diferencial

W_{eff} dos dois processos de trabalho; é equivalente ao calor q absorvido no lado primário. A eficiência térmica da instalação (máquina de expansão mais compressão) é consequentemente de 100% e, portanto, independente da queda de temperatura termodinâmica presente em cada caso. A área útil de calor pode ser aumentada por altas temperaturas e repetidos superaquecimentos intermediários e a relação de trabalho útil (trabalho de expansão/trabalho de compressão) da planta pode consequentemente ser aumentada (Figs. 4 e 5).

[032] O documento **RU95100554** descreve um MÉTODO DE OPERAÇÃO DE MÁQUINA TÉRMICA E DO MOTOR TÉRMICO ATMOSFÉRICO, segundo o qual o motor proposto pode ser utilizado como motor automotivo e como acionamento de geradores elétricos operando com fontes de energia restauráveis ecologicamente limpas, inclusive aquelas que utilizam calor do ar ambiente. A máquina térmica funciona da seguinte forma: o gás é fornecido através do conjunto de palhetas-guia para a câmara de aceleração em ângulo em relação à direção de rotação, onde se expande e o calor é removido do gás (o gás é resfriado). A energia térmica é convertida em rotação. Para este propósito, a velocidade radial do fluxo é aumentada na proporção inversa ao raio de rotação ao longo de todo o caminho do gás na câmara de aceleração, a altura do fluxo é aumentada na proporção inversa para diminuir a densidade, o ângulo de rotação é mantido menor que 40 graus e o diferencial de pressão entre as seções de entrada e saída é mantida igual ou menor que o componente tangencial da pressão dinâmica do fluxo. Após a expansão e operação da altura manométrica nas pás da turbina, o meio de trabalho é comprimido de acordo com a curva adiabática, depois é aquecido de acordo com a isóbara e é expandido novamente com remoção de calor. Este método é implementado utilizando um motor térmico atmosférico feito em forma de câmara de aceleração de anel formada entre dois planos de anel transformando-se em membro axial na saída. O conjunto da palheta guia é instalado na entrada da câmara. A turbina a gás é instalada na saída da câmara de aceleração. O fluxo, tendo passado pela turbina, entra no compressor de fluxo axial, onde é comprimido e forçado a sair, e parte da energia, através do eixo da turbina, é transmitida ao consumidor de energia e ao compressor.

[033] O documento **JP2003278598**, descreve um MÉTODO E DISPOSITIVO DE RECUPERAÇÃO DE CALOR DE ESCAPE PARA VEÍCULOS USANDO CICLO RANKINE, que objetiva melhorar a eficiência da recuperação de calor dos gases de exaustão usando um dispositivo de ciclo Rankine e aumentar o grau de liberdade para selecionar um fluido de trabalho. Neste método e dispositivo de recuperação de calor de exaustão para um veículo que é fornecido com um motor de combustão 10 tomando como combustível gás combustível (por exemplo, hidrogênio) que é gasoso à temperatura normal para gerar força motriz em funcionamento pela combustão do combustível, o calor é recuperado dos gases de escape descarregados do motor de combustão pelo ciclo Rankine. Um fluido de trabalho (fluorocarbono) do ciclo Rankine é condensado por resfriamento isobárico em um condensador 20 usando calor de vaporização de gás combustível fornecido de um tanque 16 para o motor de combustão 10, o fluido de trabalho é comprimido adiabático por uma bomba 32, o fluido de trabalho é aquecido isobárico para ser evaporado usando o calor do gás de exaustão por troca de calor em um trocador de calor 14, e o fluido de trabalho é expandido adiabaticamente por uma turbina 26 para receber o calor de exaustão no gás de exaustão como trabalho.

[034] O documento **GR1004955**, descreve um DISPOSITIVO QUE CONVERTE ENERGIA TÉRMICA EM CINÉTICA ATRAVÉS DA AGREGAÇÃO DE GÁS ISOTÉRMICA ESPONTÂNEA, sendo este dispositivo de conversão de energia térmica em cinética pertencente ao grupo de máquinas baseadas em ciclos termodinâmicos básicos quadrifásicos. Utiliza gás rarefeito em um novo ciclo trifásico, cuja primeira fase é uma agregação isotérmica espontânea de gás (0-1), equivalente a uma compressão isotérmica ideal, seguida por uma expansão adiabática (1-2), com trabalho produzido às custas da energia térmica interna do gás através de uma turbina a gás (5), e por uma expansão isobárica (2-0), onde o gás expandido é reaquecido através de um trocador de calor (6), enquanto resfria o ar ambiente (7). A agregação espontânea (0-1) é realizada quando o gás passa por numerosos orifícios microscópicos especiais, como fenda (fig. 2) e cone (fig. 3) com superfícies internas divergentes, cavidade (fig. 4) com superfícies esféricas côncavas, onde a camada molecular adsorvida nas paredes internas dos buracos desvia ligeiramente o rebote (normalmente) uniforme das moléculas para

direções inclinadas em direção às perpendiculares às superfícies refletoras, com o resultado de que uma pequena quantidade de gás passa através dos buracos espontaneamente alcançar a produção agregada. O dispositivo é utilizado para produzir energia (por exemplo, elétrica) e simultaneamente refrigeração.

[035] O documento **WO2006037291**, descreve MÉTODOS E DISPOSITIVOS PARA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E SUAS APLICAÇÕES, referente a um novo tipo de métodos e dispositivos para utilização de energia térmica usando um ciclo de trabalho dinâmico no sentido horário, bem como às suas aplicações. A velocidade do meio de trabalho num ciclo de trabalho dinâmico representa uma variável de estado. O dispositivo inventivo obtém seu trabalho efetivo em um processo de trabalho adiabático-isobárico por meio de uma turbina de pressão constante e pode ser projetado sem resfriador, permitindo assim que a energia solar armazenada no ar ou na água seja tecnicamente utilizada à temperatura ambiente. O referido dispositivo pode ser aplicado para transporte de pessoas e mercadorias, transporte de líquidos ou gases, modificação da pressão de fluidos, geração de energia elétrica, dessalinização de água do mar, produção de hidrogênio, resfriamento de meios sólidos, líquidos ou gasosos, liquefação de gases ou vapores e geração de aquecimento. energia, sendo um dispositivo capaz de executar diversas aplicações simultaneamente ou sucessivamente.

[036] O documento **CN102155267**, descreve um GERADOR PNEUMÁTICO MELHORADO E SEU CICLO CORRESPONDENTE, segundo o qual a invenção fornece um gerador não convencional no qual gases como ar, hidrogênio, hélio e similares são usados como meios de trabalho. A invenção é o aperfeiçoamento da invenção conhecida (um gerador de ar e um ciclo correspondente do mesmo) (número do pedido de patente chinês: 200910192135.1) e (um gerador de ar melhorado e um ciclo correspondente do mesmo) (número do pedido de patente chinês: 201010262927.4). O fluxo do gás em um extrator de gás é formado no processo de isolamento térmico ou no processo multivariante de absorção de calor por compressão.

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

[037] Os grandes problemas do estado da técnica são, portanto, a dificuldade das tecnologias atuais a atender projetos sustentáveis, em função da dependência de combustíveis fósseis, poluentes, com impactos graves ao ambiente e ao clima, baixa eficiência, limitada exclusivamente às temperaturas, demonstrado pelo teorema de Carnot, baixo nível de controlabilidade em função das limitações na variabilidade dos parâmetros dos modelos fundamentados nos sistemas termodinâmicos aberto e fechado, falta de flexibilidade quanto às fontes de energia, muitos exigem combustíveis refinados e específicos, dependência do ar (oxigênio) para combustão.

[038] Outro grande problema do estado da técnica atual são as tecnologias para aplicações espaciais na geração de eletricidade para sistemas elétricos e para gerar eletricidade para sistemas de propulsão baseadas na eletricidade como por exemplo os motores iônicos. Painéis solares exigem grandes dimensões para a produção de energia razoável, limitando-os a projetos não muito distante do sol, máquinas térmicas à combustão exigem combustíveis, oxigênio, portanto estes projetos são limitados a aplicações próximas da terra, então entra em evidência as tecnologias baseadas na energia termonuclear e para isto, motores térmicos de alta eficiência, controláveis e que possam operar em largas faixas de temperatura, passam a ser as soluções mais viáveis dentro das fronteiras da ciência atualmente.

[039] O objetivo da invenção se concentra em eliminar alguns dos problemas existentes, minimizar outros problemas e oferecer novas possibilidades, para alcançar estes objetivos, um novo conceito de motores térmicos passou a ser indispensável e a criação de novos ciclos-motores são necessários de forma que a eficiência dos motores não fique mais dependente exclusivamente das temperaturas e cujas fontes de energia possam ser diversificadas e que permitam projeto de motores para ambientes inclusive sem ar (oxigênio). O conceito de sistema híbrido e ciclos diferenciais e ciclos binários, característica própria que fundamenta esta invenção, elimina a dependência da eficiência de forma exclusiva à temperatura, a eficiência de qualquer máquina térmica depende dos seus potenciais e de seus diferenciais de potenciais, enquanto que os sistemas aberto e fechado geram potenciais onde a massa do gás é constante e por este

motivo elas se cancelam, demonstrados nas equações, os sistemas híbridos de ciclos diferenciais e de ciclos binários a massa não necessariamente é constante, portanto não se cancelam e as suas eficiências dependem dos potenciais dos quais se originam a força motriz, isto é, das pressões. O conceito de sistema híbrido proporciona potenciais dependentes, proporcionais ao produto da massa de gás de trabalho pela temperatura. Como no sistema híbrido, diferente dos sistemas aberto e fechado, a massa é variável, a sua eficiência passa a ser uma função não exclusiva da temperatura, mas dependente da massa e para um motor de ciclo binário composto por três processos isobáricos e quatro processos adiabáticos, operando com dois subsistemas, um de conversão de energia e outro de conservação de energia, a eficiência é demonstrada conforme apresentado na equação (c) e indicado pelo gráfico 213 da figura 2.

$$\eta = 1 - \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{(T_c - T_d)}{(T_b - T_a)} \quad (c)$$

[040] Na equação (c), (η) é o rendimento, (T_a) é a temperatura inicial do processo isobárico de alta temperatura, (T_b) é a temperatura final do processo isobárico de alta temperatura, esta temperatura tende a se equalizar com a temperatura da fonte quente (T_q), (T_c) é a temperatura inicial do processo isobárico de baixa temperatura, (T_d) é a temperatura final do processo isobárico de baixa temperatura, esta temperatura tende a se equalizar com a temperatura da fonte fria (T_f), todas as temperaturas em “Kelvin”, (n_1) é o número de moles na câmara de aquecimento compartilhada pelo subsistema de conversão de energia e pelo subsistema de conservação de energia, indicado pela região (ab) indicado em 213 na figura 2, (n_2) é o número de moles do subsistema de conversão de energia, indicado pela região (cd) nos desenhos 21 e 213 da figura 2.

[041] A dependência de altas temperaturas da maioria dos motores do atual estado da técnica levam também à dependência de combustíveis com alto poder calorífico, dificultando o uso de fontes limpas as quais normalmente oferecem menor temperatura, O conceito de ciclo diferencial e ciclo binário sob o sistema híbrido, e fluido de trabalho cujos processos não obriguem a troca de estado físico, elimina esta obrigatoriedade da dependência de altas temperaturas, O conceito binário do sistema híbrido estabelece

sempre um ciclo formado por dois subsistemas interdependentes, um deles de conversão e outro de conservação e todos os processos ocorrem simultaneamente, mostrados nos gráficos 19 da figura 1, 213 da figura 2 e 32 da figura 3, viabiliza máquinas que possam operar com baixas temperaturas e por consequência, as fontes limpas renováveis, como a termossolar, geotermal, passam a ser plenamente viáveis e suas eficiências passam a ter a massa, ou número de moles, como mostrado na equação (c), como parâmetro para a obtenção de eficiências melhores, mesmo com diferenciais de temperatura relativamente baixos e energias termonucleares para usos espaciais, eliminando a dependência de combustíveis e altos volumes dos reservatórios.

[042] Os principais ciclos termodinâmicos conhecidos, Otto, Atkinson, Diesel, Sabathe, Brayton, Stirling, Ericsson, Rankine e o ciclo Carnot operam baseados em um único sistema termodinâmico e tem a massa do gás de trabalho constante, referenciado ao ciclo mecânico dos elementos de força motriz, seu controle é uma função direta da alimentação da fonte de energia, por sua vez os ciclos binários do sistema híbrido executam dois ciclos interdependentes, por este motivo é chamado de binário e todos os seus processos ocorrem simultaneamente indicado em 19, 213 e 32 das figuras 1, 2 e 3 respectivamente, viabilizando o controle do ciclo termodinâmico separado do ciclo mecânico, o ciclo pode ser modulado e desta forma o ciclo mecânico passa a ser uma consequência do ciclo termodinâmico e não mais o contrário como ocorrem nos motores dos sistemas aberto e fechado.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[043] Os motores turbina de ciclos binários são caracterizados por possuírem dois subsistemas, formando um sistema híbrido, complexo, representado por 21 na figura 2, cada subsistema executa um ciclo referenciado ao outro subsistema de modo a executarem sempre todos os seus processos simultâneos e interdependentes. De outra forma, considerando um sistema híbrido de ciclo binário com propriedades dos sistemas aberto e do fechado simultaneamente, diz-se que o sistema executa um ciclo termodinâmico composto, indicado por 19, 213 e 32 das figuras 1, 2 e 3, isto é, executa sempre todos os processos simultaneamente, inclusive com transferência de massa

entre os subsistemas. Portanto trata-se de motores turbina e ciclos completamente distintos dos motores e ciclos baseados nos sistemas aberto ou fechado ou híbrido de ciclos diferenciais. Na figura 2 pode ser observada a correlação do modelo mecânico indicado em 21 e o gráfico do ciclo, indicado em 213.

[044] O conceito de ciclos binários do sistema termodinâmico híbrido é novo, é caracterizado por um sistema formado por dois subsistemas interdependentes e entre eles há troca de matéria e energia, e um deles fornece para fora de seus limites energia em forma de trabalho e parte da energia em forma de calor dissipada e o outro subsistema é de conservação de energia. Este sistema termodinâmico foi criado no século XXI e oferece novas possibilidades para o desenvolvimento de motores térmicos.

[045] A presente invenção trás evoluções importantes para a conversão de energia térmica em mecânica seja esta para uso em geração de energia ou outro uso, como força mecânica para movimentação e tração. Algumas das principais vantagens que podem ser constatadas são: a total flexibilidade quanto à fonte da energia (calor), a independência de atmosfera, não necessita de atmosfera para que um motor do ciclo binário possa operar, a flexibilidade quanto às temperaturas, o motor de ciclo binário pode ser projetado para funcionar em uma faixa muito extensa de temperatura, bem superior à maioria dos motores fundamentados nos sistemas aberto e fechado, inclusive, um motor de ciclo binário pode ser projetado para funcionar com ambas as temperaturas abaixo de zero grau Celsius, basta que as condições de projeto promovam a expansão e contração do gás de trabalho e basta que os materiais escolhidos para a sua construção tenham as propriedades para executar as suas funções operacionais nas temperaturas de projeto. Outras vantagens importantes que distinguem os motores de ciclos binários fundamentado no sistema híbrido é a sua controlabilidade em função da facilidade na modulação promovida pela existência de dois subsistemas cuja transferência de massa entre eles é controlada por meio de válvulas ou outros atuadores de forma a facilitar o controle de torque e rotação. Portanto as vantagens constatadas abrangem a flexibilidade das fontes, promovendo o uso de fontes limpas e renováveis, fonte termonuclear para usos espaciais, como as vantagens operacionais, podendo

operar teoricamente em quaisquer faixas de temperatura, em ambientes com ou sem atmosfera e sua propriedade de controle da rotação e torque.

[046] Os motores turbina de ciclos binários baseados no conceito de sistema híbrido poderão ser construídos com materiais e técnicas semelhantes aos motores convencionais, por exemplo como os motores de ciclo Brayton, como se trata de um motor que trabalha com gás em circuito fechado, considerando o sistema completo, este conceito em circuito fechado de gás de trabalho com relação ao meio externo indica que o sistema deve ser vedado, ou em alguns casos, vazamentos podem ser admitidos, desde que compensados. Materiais adequados para esta tecnologia devem ser observados, são semelhantes, neste aspecto, às tecnologias de projetos de motores de ciclo Brayton de combustão externa. O gás de trabalho depende do projeto, de sua aplicação e dos parâmetros utilizados, o gás poderá ser vários, cada um proporcionará particularidades específicas, como exemplo pode ser sugerido os gases: hélio, hidrogênio, nitrogênio, ar seco, neon, entre outros.

[047] As câmaras de conversão, itens que caracterizam o sistema híbrido, poderão ser construídas com diversos materiais, dependendo das temperaturas de projeto, do gás de trabalho utilizado, das pressões envolvidas, do ambiente e condições de operação. Uma destas câmaras é aquecida pela fonte de energia, outra resfriada por um sistema de arrefecimento ou resfriamento e outra é isolada e estas devem ser projetadas observando a exigência de isolamento térmico entre si, para minimizar o fluxo direto de energia a partir das áreas quentes para as frias, esta condição é importante para a eficiência geral do sistema.

[048] A transferência de massa ocorre por meio de uma válvula 23, de um rotor de expansão 25 e de um rotor de compressão 27 e esta transferência ocorre sempre após a conversão de energia em trabalho útil no processo (a-b) mostrado na figura 2.

[049] O principal elemento de força motriz é o rotor de turbina indicado em 24 é o responsável por executar o trabalho mecânico e disponibilizá-lo para usos. Este elemento de força motriz opera pelas forças do gás de trabalho do motor.

DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[050] As figuras anexas demonstram as principais características e propriedades do novo conceito termodinâmico híbrido, mais especificamente sobre os motores turbina de ciclos binários, sendo representadas conforme segue abaixo:

A figura 1, indicado em 11 se encontra as curvas que caracterizam o ciclo diferencial de quatro processos isobáricos e quatro processos adiabáticos, é o ciclo que mais se aproxima do novo ciclo binário de sete processos, ambos são fundamentados no conceito de sistema termodinâmico híbrido, porém o ciclo diferencial é caracterizado por dois subsistemas de conversão e seu ciclo é formado por oito processos onde sempre ocorrem dois processos simultâneos por vez, e no motor turbina do ciclo binário é caracterizado por um subsistema de conversão, um subsistema de conservação, e ocorrem sete processos e todos ocorrem simultaneamente, indicados em 19 na figura 1;

A figura 2, indicado em 21 representa o modelo mecânico do motor turbina de ciclo binário de sete processos, três isobáricos e quatro adiabáticos. Em 213 o ciclo binário faz menção das regiões do modelo mecânico onde os processos ocorrem;

A figura 3, indicado em 31, apresenta um modelo de conceito de motor turbina com uma demonstração realista aproximada, e em 32 o ciclo binário fazendo menção das regiões do modelo conceito mecânico onde os processos ocorrem;

A figura 4 apresenta o modelo de motor turbina com uma demonstração realista aproximada novamente, apontando com mais detalhes os seus elementos principais e os canais e câmaras onde ocorre o ciclo de conversão e o ciclo de conservação de energia;

A figura 5 representa, indicado em 51, 52 e 53 três curvas do ciclo binário em diferentes condições entre os ciclos de conversão e de conservação, mostrando como ocorrem os diferenciais de potências em função de maior ou menor transferência de massa entre os subsistemas;

A figura 6 apresenta um diagrama de um exemplo de utilização de um motor turbina de ciclo binário para a geração de energia;

A figura 7 mostra um diagrama de um exemplo de utilização de um motor turbina de ciclo binário para geração de energia a partir de uma bateria termonuclear, apontando possibilidades para projetos espaciais ou para aplicações em ambientes sem atmosfera que permita combustão.

DESCRIÇÃO DETALHADA DO INVENTO

[051] O motor de ciclo binário constituído por um subsistema de conversão de energia, um subsistema de conservação de energia, um processo isobárico de aquecimento, um processo isobárico de resfriamento, um processo isobárico de compressão isolado termicamente, dois processos de expansão adiabáticos e dois processos de compressão adiabáticos é fundamentado em um sistema termodinâmico híbrido por possuir dois subsistemas termodinâmicos interdependentes os quais cada um realiza um ciclo termodinâmico que interagem entre si, podendo trocar calor, trabalho e massa conforme é representado na figura 1, indicado por 19. A entrada da energia é indicado por 110, a saída de energia, isto é, o resfriamento é indicado por 112, o trabalho útil é indicado pelos trajetos do ciclo de conversão (a-b-c-d-a) e a energia conservada é indicada pelos trajetos do ciclo de conservação (a-b-c'-d'-a).

[052] Na figura 2 é mostrado novamente o sistema termodinâmico híbrido e o ciclo termodinâmico binário não diferencial, em 21 é mostrado o modelo mecânico que representa um motor turbina de ciclo binário, uma câmara de aquecimento que é a entrada de energia, é mostrado em 22, nesta câmara a massa de gás é aquecida pela fonte de energia em um processo isobárico de pressão (P_h), a temperatura aumenta do valor (T_a) para (T_b), o gás de trabalho ganha pressão para atuar nos rotores das turbinas de conversão 24 e de conservação 25, uma válvula de controle proporcional de três vias 23 é utilizada para direcionar a massa de gás desejada para o processo de conservação. O rotor de turbina do processo de conversão 24 conduz o gás de trabalho para a câmara de resfriamento 28, nesta câmara a massa de gás é resfriada em um processo isobárico de pressão (P_L), a temperatura reduz do valor (T_c) para (T_d), o rotor do compressor do processo de conversão 26 executa o processo de compressão de gás adiabaticamente de volta à câmara de aquecimento 22. O rotor de turbina do processo de conservação

25 conduz a massa de gás de conservação para a câmara de compressão 29, isolada termicamente, nesta câmara a massa de gás é resfriada em um processo isobárico de pressão (PL'), a temperatura reduz do valor (Tc') para (Td'), o rotor do compressor do processo de conservação 27 executa o processo de compressão da massa de gás e respectiva energia associada de conservação adiabaticamente de volta à câmara de aquecimento 22. A entrada de energia é indicada por 211, a dissipação de energia do gás, após o mesmo realizar trabalho, é indicada por 212. O trabalho útil é obtido no eixo 210. Portanto, a concepção básica do motor turbina de ciclo binário é definido por dois subsistemas termodinâmicos formados por quatro conjuntos de rotores, 24, 25, 26 e 27, dentre estes, dois conjuntos para o subsistema de conversão de energia, 24 e 26 e dois conjuntos para o subsistema de conservação de energia, 25 e 27, um subsistema de conversão de energia formado por uma câmara de aquecimento de expansão isobárica 22, um rotor de turbina de expansão adiabática 24, um rotor do compressor de compressão adiabática 26, uma câmara de resfriamento de compressão isobárica 28, um subsistema de conservação de energia formado por uma câmara de expansão isobárica 22 em comum com o subsistema de conversão, um rotor de turbina de expansão adiabática 25, um rotor do compressor de compressão adiabática 27, uma câmara de compressão isobárica isolada termicamente 29, uma válvula de controle proporcional de três vias interligando a câmara de expansão isobárica 22 aos rotores de turbina do subsistema de conversão de energia 24 e aos rotores de turbina do subsistema de conservação de energia 25, um eixo de força mecânica 210 acoplado aos rotores de turbina 24 e 25 e aos rotores do compressor 26 e 27 dos subsistemas de conversão e de conservação de energia configurando um motor turbina de ciclo binário não diferencial baseado em um sistema termodinâmico híbrido, com propriedades dos sistemas aberto e fechado simultaneamente, contendo gás de trabalho e estes dois subsistemas executam um ciclo binário, interdependente e todos os processos ocorrem simultaneamente, sendo três deles isobáricos, (a-b), (c-d) e (c'-d'), quatro adiabáticos, (b-c), (b-c'), (d-a) e (d'-a), com transferência de massa variável entre os subsistemas.

[053] Na figura 2, em 213 é mostrado o gráfico da pressão e deslocamento volumétrico demonstrando como ocorrem os processos que formam o ciclo binário não diferencial

que ocorre no modelo mecânico do motor turbina 21, todos os processos, também chamado de transformações termodinâmicas, ocorrem simultaneamente, o trajeto (a-b) mostra os processos isobáricos de alta temperatura do subsistema de conversão e do subsistema de conservação, porém neste trajeto, o processo de conservação não utiliza a energia da fonte, isto ocorre apenas no início operacional do motor turbina até que o mesmo atinja o diferencial de potencial, a partir deste instante a energia é conservada, isto é, a energia do processo (a-b) do ciclo de conservação é igual a energia do processo (c'-d') do processo de compressão do ciclo de conservação. O trajeto (b-c) representa o processo de expansão adiabático do subsistema de conversão, este processo tem energia igual ao processo (d-a) de compressão adiabático do subsistema de conversão. O trajeto (b-c') representa o processo de expansão adiabático do subsistema de conservação, este processo tem energia igual ao processo (d'-a) de compressão adiabático do subsistema de conservação. O trajeto (c-d) representa o processo de compressão isobárico de dissipação do calor do subsistema de conversão de energia. O trajeto (c'-d') representa o processo de compressão isobárico do subsistema de conservação, esta energia não é dissipada, ela se mantém conservada para manter o potencial termodinâmico. Portanto, o motor turbina de ciclo binário apresentado opera por um processo composto por sete transformações termodinâmicas, também chamados de processos, que formam o ciclo binário do motor turbina 21 sendo um processo ou transformação de expansão isobárica de aquecimento (a-b) de alta temperatura dos sistemas de conversão e de conservação de energia, sendo que a fração de gás (Δn) do subsistema de conservação somente recebe energia da fonte quente no início operacional do motor turbina, posteriormente, em funcionamento contínuo, esta fração de gás conserva a sua energia alternando entre calor e energia cinética prestando-se para manter os potenciais operacionais do motor, sem ser utilizado para produzir trabalho externo, um processo ou transformação adiabático de expansão do subsistema de conversão de energia (b-c), um processo ou transformação adiabático de expansão do subsistema de conservação de energia (b-c'), um processo ou transformação de compressão isobárica de resfriamento (c-d) de baixa temperatura do subsistema de conversão de energia, um processo ou transformação de compressão isobárico (c'-d')

do subsistema de conservação de energia, um processo ou transformação adiabático de compressão do subsistema de conversão de energia (d-a), um processo ou transformação adiabático de compressão do subsistema de conservação de energia (d'-a) e um processo de modulação ou chamado também de controle de transferência de massa de gás de trabalho e de conservação de energia através de uma válvula de três vias entre os subsistemas de conversão e conservação que ocorre juntamente com os processos de expansão adiabático de ambos os subsistemas.

[054] O subsistema de conservação possui algumas funções muito importantes, a mais importante é a definição dos potenciais em que o motor irá operar. Os motores térmicos operam entre dois potenciais, pois para produzir trabalho é necessário haver fluxo de massa, e o fluxo somente pode ocorrer quando houver uma diferença de potencial que gere um fluxo de massa a partir do maior potencial para o menor potencial, movimento, e por consequência, trabalho. Os motores térmicos projetados com base nos sistemas aberto ou fechado, possuem massa do gás de trabalho, constante, para gerar diferença de potencial é necessário também uma diferença de temperatura, quando a massa é constante, a diferença de potencial dependerá somente da temperatura, basta verificar através da equação da lei universal dos gases. A função mais importante do subsistema de conservação é gerar uma diferença também da massa de gás de trabalho entre as câmaras de aquecimento e resfriamento, desta forma a diferença de potencial dependerá, além da diferença de temperatura, também da diferença de massa, porém é importante que o projeto considere que o motor não poderá realizar todo o trabalho que a massa de gás e a diferença de temperatura permitam, parte deste trabalho não pode ser utilizado, ele deve ser conservado com a função de manter a diferença de potencial, isto é, de massa, esta energia não se perde, ela se conserva e promove maior eficiência do motor até o limite onde toda a massa é utilizada na conservação, neste caso a eficiência tenderá ao máximo, próximo a 100%, porém o trabalho tenderá ao mínimo, próximo a zero. Portanto o projeto de um motor deve seguir critérios entre eficiência e trabalho. O motor necessita de energia para gerar o diferencial de potencial, porém uma vez estabelecido, ele se manterá durante toda a operação do mesmo, por este motivo o motor deve ser projetado e seu processo controlado para que o mesmo não converta em

trabalho útil a energia utilizada para manter o diferencial de potencial, se o fizer, a eficiência cairá.

[055] Na figura 3, indicado em 31, apresenta um modelo de conceito de motor turbina com uma demonstração realista aproximada, na região entre os pontos (a) e (b) ocorre o processo isobárico de aquecimento, entre os pontos (b) e (c) ocorre o processo adiabático de expansão do subsistema de conversão de energia, entre os pontos (b) e (c') ocorre o processo adiabático de expansão do subsistema de conservação de energia, entre os pontos (c) e (d) ocorre o processo isobárico de resfriamento do gás de trabalho do subsistema de conversão de energia, entre os pontos (c') e (d') ocorre o processo isobárico de compressão do subsistema de conservação de energia, entre os pontos (d) e (a) ocorre o processo adiabático de compressão do subsistema de conversão de energia, entre os pontos (d') e (a) ocorre o processo adiabático de compressão do subsistema de conservação de energia.

[056] Na figura 3, indicado em 32, é apresentado o gráfico da pressão e deslocamento volumétrico do ciclo binário não diferencial que ocorre no modelo mecânico do motor turbina indicado em 31, o trajeto (a-b) mostra o processo isobárico de alta temperatura do subsistema de conversão e do subsistema de conservação, porém neste trajeto, o processo de conservação não utiliza a energia da fonte, isto ocorre apenas no início operacional do motor até que o mesmo atinja o diferencial de potencial, a partir deste instante a energia é conservada, isto é, o processo (a-b) do ciclo de conservação é igual ao processo (c'-d') do processo de compressão. O trajeto (b-c) representa o processo de expansão adiabático do subsistema de conversão, este processo tem energia igual ao processo (d-a) de compressão adiabático do subsistema de conversão. O trajeto (b-c') representa o processo de expansão adiabático do subsistema de conservação, este processo tem energia igual ao processo (d'-a) de compressão adiabático do subsistema de conservação. O trajeto (c-d) representa o processo de compressão isobárico de dissipação do calor do subsistema de conversão de energia. O trajeto (c'-d') representa o processo de compressão isobárico do subsistema de conservação, esta energia não é dissipada, ela se mantém conservada para manter o potencial termodinâmico.

[057] A figura 4, indicado em 41, mostra o modelo conceito de motor turbina com uma demonstração realista com mais detalhes, na região 42 é mostrado os rotores do compressor do subsistema de conversão de energia, na região 43 é mostrado os rotores do compressor do subsistema de conservação de energia, na região 44 é mostrado a câmara do processo isobárico de aquecimento do gás de trabalho, na região 45 é mostrado a válvula de controle proporcional de três vias que possui a função de canalizar parte da massa de gás de trabalho para as turbinas do subsistema de conservação de energia, na região 46 é mostrado o rotor da turbina do subsistema de conservação de energia, na região 47 são mostrados os rotores da turbina do subsistema de conversão de energia, na região 48 é mostrada a câmara de compressão do processo isobárico de resfriamento do subsistema de conversão de energia, na região 411 é mostrada a câmara de compressão do processo de compressão e resfriamento isobárico do subsistema de conservação de energia, o fluxo da massa de gás de trabalho do subsistema de conversão de energia é indicado por 49, o fluxo da massa de gás do subsistema de conservação de energia é indicado por 410.

[058] A figura 5 mostra o ciclo binário em diferentes condições operacionais do motor turbina de ciclo binário, em 51 quase todo o gás de trabalho é utilizado no processo de conversão de energia no subsistema de conversão e uma pequena fração da massa de gás é utilizada no processo de conservação de energia, neste caso o gás de trabalho fica sujeito a um menor diferencial de potencial, embora quase todo o gás de trabalho participa do processo de conversão, a eficiência é menor, pois a eficiência é proporcional à diferença dos potenciais definidos por (P_h) e (P_L) , em 52 uma fração maior do gás de trabalho é utilizado no processo de conservação de energia no subsistema de conservação, comparando-se com o gráfico indicado em 51, e uma fração maior da massa de gás é utilizada no processo de conservação de energia, neste caso o gás de trabalho fica sujeito a um diferencial de potencial maior que o caso anterior, a eficiência aumenta, pois a eficiência é proporcional à diferença dos potenciais definidos por (P_h) e (P_L) , no terceiro gráfico, indicado por 53, a massa de gás do processo de conservação é ainda maior, pode ser observado que neste caso o trabalho diminui, porém a eficiência aumenta em relação aos dois casos anteriores, mostrando que quanto mais massa de

gás é utilizada no processo de conservação a eficiência aumenta, porém o trabalho diminui tendendo a aproximar-se a zero e o processo tende a se transformar em um processo adiabático contínuo, sem a realização de trabalho, onde o gás expande e se comprime e a energia ora se apresenta em forma de energia cinética mecânica e ora em calor no gás.

[059] A tabela 1 mostra os sete processos (a-b, b-c, b-c', c-d, c'-d', d-a, d'-a) que formam o ciclo binário não diferencial do motor turbina, mostrados passo a passo, com três processos isobáricos e quatro processos adiabáticos.

Tabela 1

Passo	Processo	Subsistema de conversão	Subsistema de conservação	Transferência de massa
1	a-b	Isobárico alta temperatura	Isobárico alta temperatura	Não ocorre
2	b-c / b-c'	Adiabático de expansão	Adiabático de expansão	Transferência
3	c-d / c'-d'	Isobárico baixa temperatura	Isobárico baixa temperatura	Não ocorre
4	d-a / d'-a	Adiabático de compressão	Adiabático de compressão	Transferência

[060] A tabela 1 mostra todos os processos que formam o ciclo binário, porém todos os passos, 1, 2, 3 e 4 ocorrem simultaneamente, diferente da maioria dos processos que formam os ciclos dos motores de ciclo diferenciais os quais ocorrem normalmente em pares e diferente dos ciclos dos motores baseados nos sistemas aberto e fechado os quais ocorrem normalmente um a um sequencialmente exceto quanto ao ciclo Brayton.

[061] A figura 6 mostra, exemplifica, um sistema simplificado de geração de energia elétrica, o motor turbina 61 está conectado a um motor de partida 62 e a um gerador de eletricidade 63.

[062] A figura 7 indicado por 71 mostra, exemplifica, como o motor turbina de ciclo binário pode ser aplicado para formar um sistema de geração de eletricidade a partir de uma fonte térmica 72 genérica, podendo esta ser de várias naturezas, termossolar, geotermal, termonuclear ou de várias outras origens, inclusive por meio de combustão ou trocadores térmicos em sistemas de cogeração. Um fluido térmico é aquecido pela fonte e conduzido ao sistema de aquecimento do motor turbina por meio de uma bomba 73. O fluxo do fluido térmico é indicado por 74. O fluido térmico pode ser qualquer fluido com capacidade de escoamento, bombeamento e que tenha propriedades para transportar o calor. Como se trata de um motor que opera basicamente com calor e em várias faixas de temperatura, o mesmo pode ser empregado para geração de energia ou força mecânica em ambientes sem atmosfera, por exemplo, no espaço ou submerso.

[063] Este ciclo binário não diferencial de um motor turbina composto por dois subsistemas, um subsistema de conversão, um subsistema de conservação, baseado no conceito de sistema híbrido, cuja curva da pressão e do volume é indicado por 213, na figura 2, possui sete processos, um processo isobárico de alta temperatura de entrada de energia no sistema, (a-b), com (n_1) mol de gás, representada pela expressão (d), um processo isobárico de baixa temperatura e descarte de energia não utilizada (c-d), com (n_2) mol de gás, representada pela expressão (e), um processo adiabático de expansão do subsistema de conversão, (b-c), representado pela expressão (f), um processo adiabático de expansão do subsistema de conservação, (b-c'), representado pela expressão (g), um processo isobárico de baixa temperatura, de conservação de energia, transformação de calor em trabalho, energia cinética, (c'-d'), com (Δn) mol de gás, um processo adiabático de compressão do subsistema de conversão, (d-a), representado pela expressão (h), um processo adiabático de compressão do subsistema de conservação, (d'-a), representado pela expressão (i). Considerando ainda que ($\Delta n = n_1 - n_2$). As expressões consideram o sinal do sentido do fluxo das energias.

$$Q_{(a-b)} = \frac{n_1 \cdot \gamma \cdot R}{(\gamma - 1)} \cdot (T_b - T_a) \quad (d)$$

$$Q_{(c-d)} = \frac{n_2 \cdot \gamma \cdot R}{(\gamma - 1)} \cdot (T_d - T_c) \quad (e)$$

$$W_{(b-c)} = \frac{n_2 \cdot R \cdot (T_c - T_b)}{(\gamma - 1)} \quad (f)$$

$$W_{(b-c')} = \frac{\Delta n \cdot R \cdot (T_{c'} - T_b)}{(\gamma - 1)} \quad (g)$$

$$W_{(d-a)} = \frac{n_2 \cdot R \cdot (T_a - T_d)}{(\gamma - 1)} \quad (h)$$

$$W_{(d'-a)} = \frac{\Delta n \cdot R \cdot (T_a - T_{d'})}{(\gamma - 1)} \quad (i)$$

[064] O total de energia de entrada no motor turbina é representada pela expressão (j) abaixo.

$$Q_i = \frac{n_1 \cdot \gamma \cdot R}{(\gamma - 1)} \cdot (T_b - T_a) \quad (j)$$

[065] O total de energia descartada para o meio exterior é representada pela expressão (k) abaixo.

$$Q_o = \frac{n_2 \cdot \gamma \cdot R}{(\gamma - 1)} \cdot (T_d - T_c) \quad (k)$$

[066] O trabalho útil total do motor, considerando um modelo ideal sem perdas, é a diferença entre a entrada e a saída da energia e é representado pela expressão (l) abaixo.

$$W_u = \frac{n_1 \cdot \gamma \cdot R}{(\gamma - 1)} \cdot (T_b - T_a) - \frac{n_2 \cdot \gamma \cdot R}{(\gamma - 1)} \cdot (T_d - T_c) \quad (l)$$

[067] Em ambos os subsistemas, os processos adiabáticos compensam-se entre si, a energia associada à massa, proporcional a (Δn) mol é conservada e é utilizada para manter a diferença de potencial, a energia associada a esta massa de gás não pode ser utilizada para produzir trabalho, caso contrário ela não se conserva e a eficiência cai.

[068] A demonstração final teórica da eficiência do ciclo binário não diferencial de sete processos, três processos isobáricos e quatro processos adiabáticos que se realizam todos simultaneamente é dada pela expressão (m), caracterizando que os ciclos binários não diferenciais baseados no sistema termodinâmico híbrido possuem como parâmetro da eficiência, também o número de moles ou massa nos processos e portanto estes ciclos não possuem suas eficiências dependentes exclusivamente das temperaturas.

$$\eta = 1 - \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{(T_c - T_d)}{(T_b - T_a)} \quad (m)$$

[069] Analisando a equação (m) e o gráfico 213 da figura 2 observa-se que se (Δn) tender para “zero”, a massa do gás de trabalho será constante em todos os processos do ciclo termodinâmico da unidade de conversão de energia, não haverá massa de gás na unidade de conservação de energia e $(n_1 = n_2)$ e a eficiência, em caso ideal, dependerá somente da temperatura como ocorre nos motores fundamentados nos sistemas aberto e fechado. Por outro lado, se (Δn) tender para o máximo, isto é $(n_2 = 0)$, a massa do gás de trabalho será constante em todos os processos do ciclo termodinâmico da unidade de conservação de energia, não haverá massa de gás na unidade de conversão de energia e a eficiência, em caso ideal, tenderá a 100%, porém o trabalho tenderá a zero, pois o ciclo se tornará um processo adiabático contínuo sem entrada de energia no sistema e sem saída de trabalho ou calor do sistema.

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

[070] Os motores turbina de ciclos binários não diferenciais baseados no sistema híbrido operam com calor, não exigem combustão, embora possa ser utilizada, não exige queima de combustíveis, embora possa ser utilizada, portanto podem operar em ambientes com ou sem atmosfera. O ciclo termodinâmico não exige troca de estado físico do gás de trabalho. Pelas suas propriedades expostas nesta descrição, os motores turbina de ciclos binários não diferenciais podem ser projetados para operar em uma larga faixa de temperatura, superiores à maioria dos ciclos motores existentes baseados nos sistemas aberto ou fechado. Os motores turbina de ciclos binários não diferenciais são totalmente flexíveis quanto à fonte da energia (calor), nas figuras 6 e 7, são mostradas aplicações

para o emprego destes motores para a geração de energia e para a geração de força mecânica a partir de fontes de várias origens, indicando sua aplicabilidade para geração de força mecânica ou geração de energia em ambientes com ou sem atmosfera, para projetos sustentáveis utilizando energia limpa e renovável, em projetos aeroespaciais e inclusive para projetos de ciclos combinados.

REIVINDICAÇÕES

1) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", refere-se a um motor para conversão de energia térmica, utilizando ciclos, como expansão adiabática e isobárica, **caracterizado** por ser composto por dois subsistemas termodinâmicos formados por quatro conjuntos de rotores, (24), (25), (26) e (27), dentre estes, dois conjuntos para o subsistema de conversão de energia, (24) e (26) e dois conjuntos para o subsistema de conservação de energia, (25) e (27), um subsistema de conversão de energia formado por uma câmara de aquecimento de expansão isobárica (22), um rotor de turbina de expansão adiabática (24), um rotor do compressor de compressão adiabática (26), uma câmara de resfriamento de compressão isobárica (28), um subsistema de conservação de energia formado por uma câmara de expansão isobárica (22) em comum com o subsistema de conversão, um rotor de turbina de expansão adiabática (25), um rotor do compressor de compressão adiabática (27), uma câmara de compressão isobárica isolada termicamente (29), uma válvula de controle proporcional de três vias interligando a câmara de expansão isobárica (22) aos rotores de turbina do subsistema de conversão de energia (24) e aos rotores de turbina do subsistema de conservação de energia (25), um eixo de força mecânica (210) acoplado aos rotores de turbina (24) e (25) e aos rotores do compressor (26) e (27) dos subsistemas de conversão e de conservação de energia configurando um motor turbina de ciclo binário não diferencial baseado em um sistema termodinâmico híbrido, com propriedades dos sistemas aberto e fechado simultaneamente, contendo gás de trabalho e estes dois subsistemas executam um ciclo binário, interdependente e todos os processos ocorrem simultaneamente, sendo três deles isobáricos, (a-b), (c-d) e (c'-d'), quatro adiabáticos, (b-c), (b-c'), (d-a) e (d'-a), com transferência de massa variável entre os subsistemas.

2) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por ser composto por dois subsistemas termodinâmicos formados por quatro conjuntos de rotores, (24), (25), (26) e (27), dentre estes, dois conjuntos para o

subsistema de conversão de energia, (24) e (26) e dois conjuntos para o subsistema de conservação de energia, (25) e (27).

3) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", de acordo com as reivindicações 1 e 2, **caracterizado** por ser composto por um conjunto rotor de turbina de expansão adiabática (24) pertencente ao subsistema de conversão de energia.

4) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", de acordo com as reivindicações 1 e 2, **caracterizado** por ser composto por um conjunto rotor de turbina de expansão adiabática (25) pertencente ao subsistema de conservação de energia.

5) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", de acordo com as reivindicações 1 e 2, **caracterizado** por ser composto por um conjunto rotor do compressor, de compressão adiabática (26), pertencente ao subsistema de conversão de energia.

6) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", de acordo com as reivindicações 1 e 2, **caracterizado** por ser composto por um conjunto rotor do compressor de compressão adiabática (27) pertencente ao subsistema de conservação de energia.

7) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por ser composto por uma câmara de expansão isobárica (22) compartilhada pelos subsistemas de conversão e de conservação.

8) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por ser composto por uma câmara de compressão isobárica (28) pertencente ao subsistema de conversão de energia.

9) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", de acordo com a reivindicação

1, **caracterizado** por ser composto por uma câmara de compressão isobárica (29) pertencente ao subsistema de conservação de energia.

10) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", de acordo com as reivindicações 1, 2, 3, 4 e 7, **caracterizado** por ser composto por uma válvula de controle proporcional de três vias (23) interligando a câmara de expansão isobárica (22) aos conjuntos de rotores de turbina do subsistema de conversão (24) e aos rotores de turbina do subsistema de conservação de energia (25).

11) "MOTOR TURBINA DE CICLO BINÁRIO COMPOSTO POR TRÊS PROCESSOS ISOBÁRICOS, QUATRO PROCESSOS ADIABÁTICOS", de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por ser composto por um eixo de força mecânica (210) acoplado aos rotores de turbina e aos rotores do compressor dos subsistemas de conversão e de conservação.

12) "PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA", conforme definido nas reivindicações 1 a 11, **caracterizado** por um processo composto por sete transformações termodinâmicas, também chamados de processos, que formam o ciclo binário do motor turbina (21) sendo um processo ou transformação de expansão isobárica de aquecimento (a-b) de alta temperatura dos sistemas de conversão e de conservação de energia, sendo que a fração de gás (Δn) do subsistema de conservação somente recebe energia da fonte quente no início operacional do motor turbina, posteriormente, em funcionamento contínuo, esta fração de gás conserva a sua energia alternando entre calor e energia cinética prestando-se para manter os potenciais operacionais do motor, sem ser utilizado para produzir trabalho externo, um processo ou transformação adiabático de expansão do subsistema de conversão de energia (b-c), um processo ou transformação adiabático de expansão do subsistema de conservação de energia (b-c'), um processo ou transformação de compressão isobárica de resfriamento (c-d) de baixa temperatura do subsistema de conversão de energia, um processo ou transformação de compressão isobárico (c'-d') do subsistema de conservação de energia, um processo ou transformação adiabático de compressão do subsistema de conversão de energia (d-a), um processo ou transformação adiabático de compressão do

subsistema de conservação de energia (d'-a) e um processo de modulação ou chamado também de controle de transferência de massa de gás de trabalho e de conservação de energia através de uma válvula de controle proporcional de três vias entre os subsistemas de conversão e conservação que ocorre juntamente com os processos de expansão adiabático de ambos os subsistemas.

13) "PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA", de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** por um processo ou transformação de expansão isobárica de aquecimento (a-b) de alta temperatura dos sistemas de conversão e de conservação de energia, sendo que a fração de gás (Δn) do subsistema de conservação somente recebe energia da fonte quente no início operacional do motor turbina, posteriormente, em funcionamento contínuo, esta fração de gás conserva a sua energia alternando entre calor e energia cinética prestando-se para manter os potenciais operacionais do motor, sem ser utilizado para produzir trabalho externo.

14) "PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA", de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** por um processo ou transformação adiabático de expansão do subsistema de conversão de energia (b-c).

15) "PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA", de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** por um processo ou transformação adiabático de expansão do subsistema de conservação de energia (b-c').

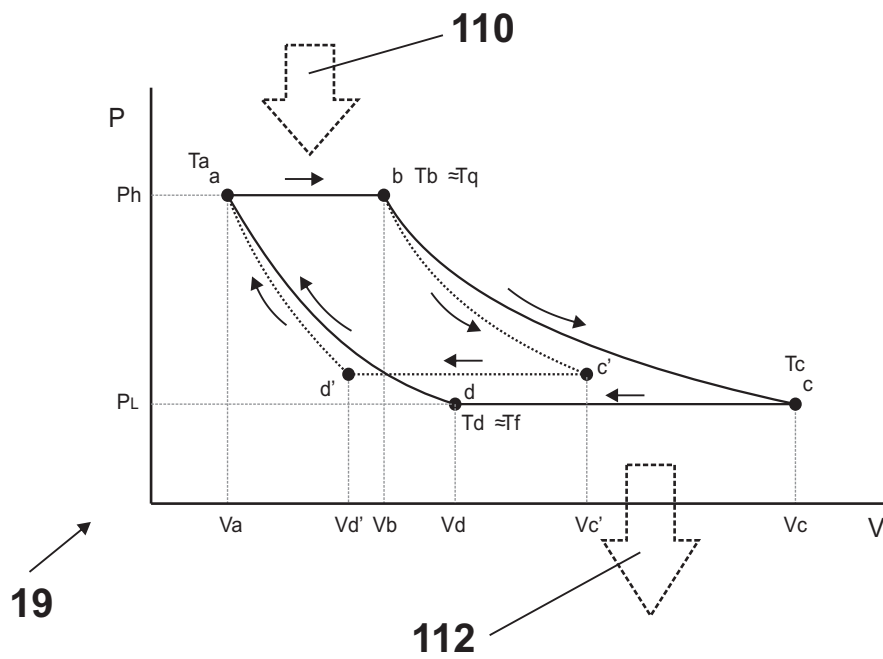
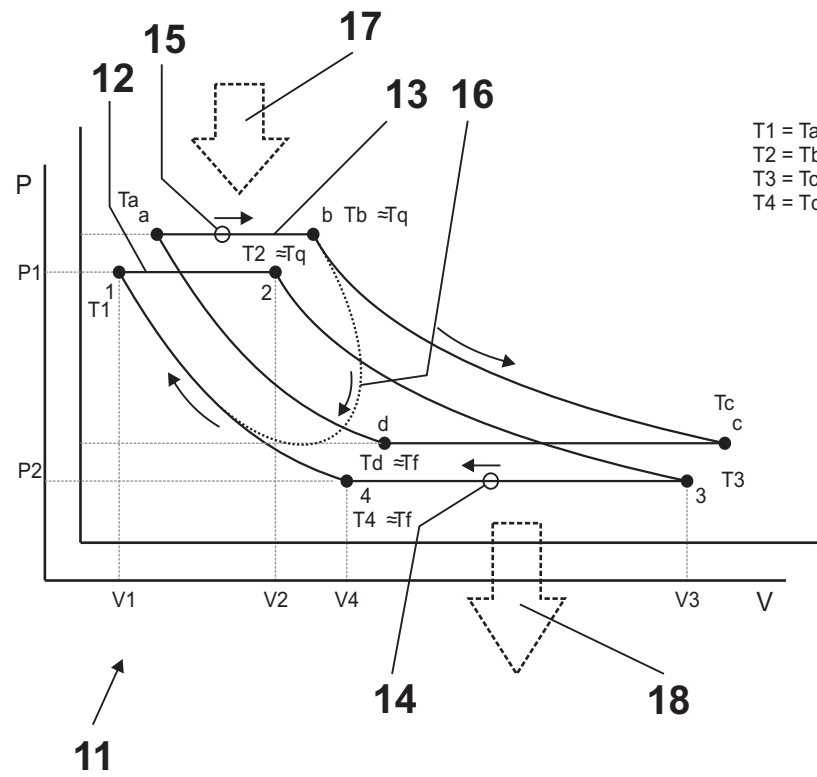
16) "PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA", de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** por um processo ou transformação de compressão isobárica de resfriamento (c-d) de baixa temperatura do subsistema de conversão de energia.

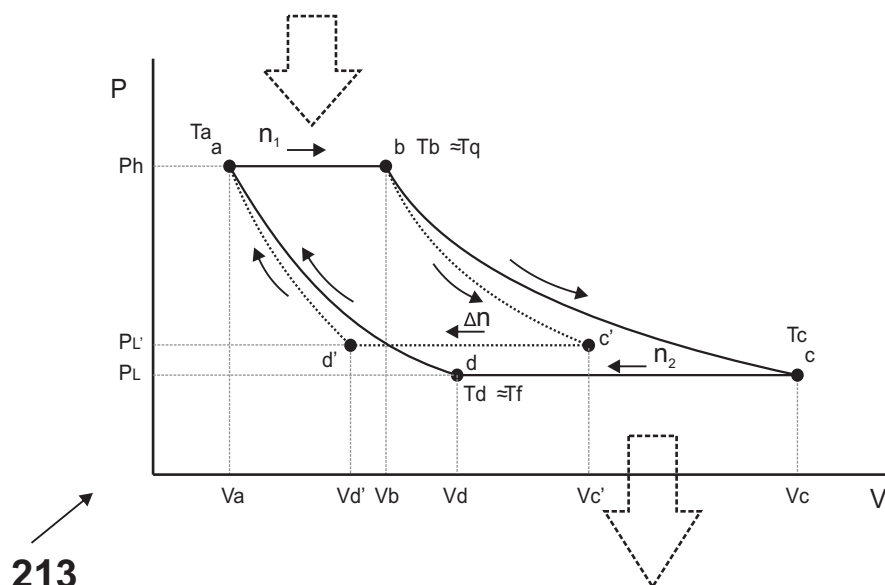
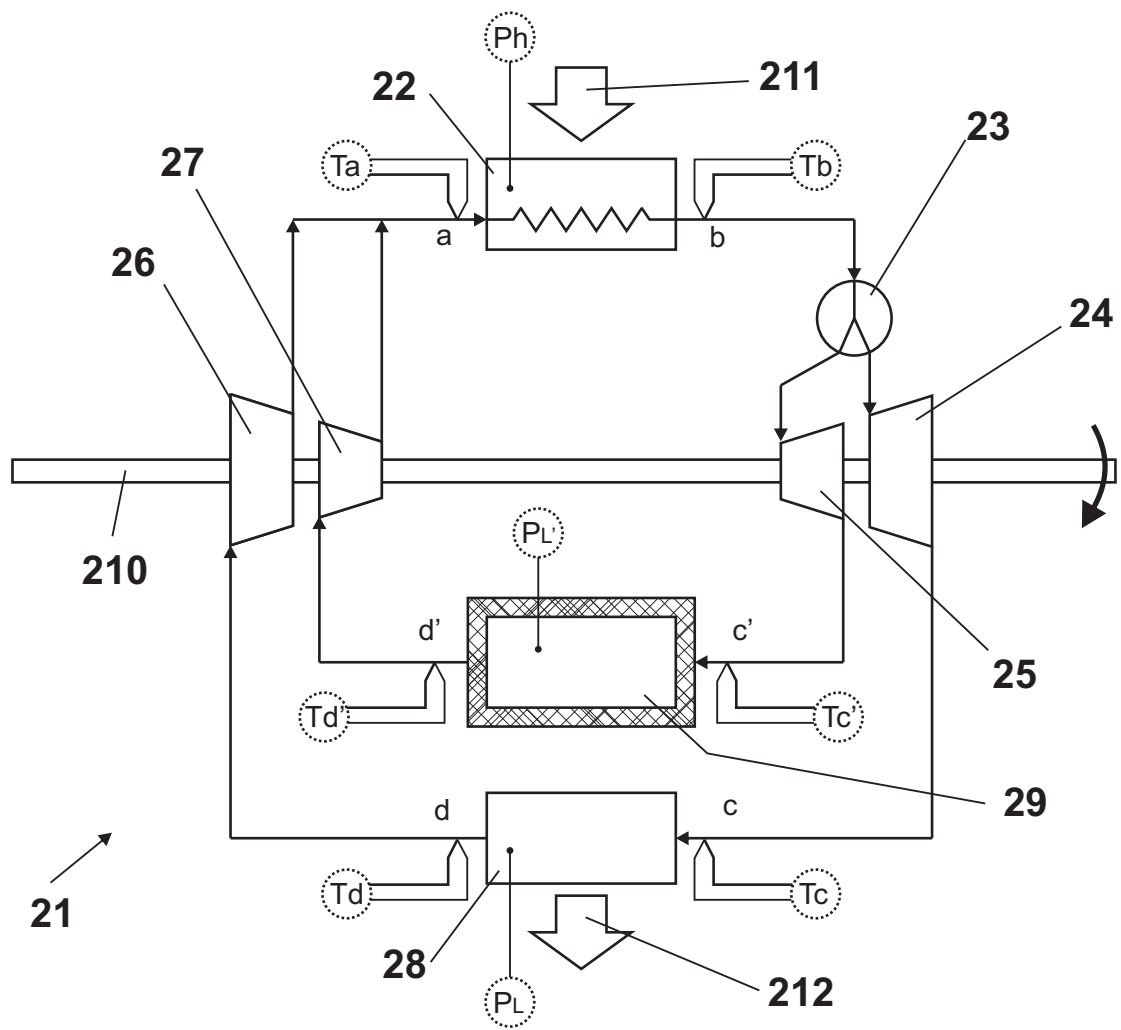
17) "PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA", de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** por um processo ou transformação de compressão isobárica (c'-d') do subsistema de conservação de energia.

18) "PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA", de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** por um processo ou transformação adiabático de compressão do subsistema de conversão de energia (d-a).

19) "PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA", de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** por um processo ou transformação adiabático de compressão do subsistema de conservação de energia (d'-a).

20) "PROCESSO DE CONTROLE PARA O CICLO TERMODINÂMICO DO MOTOR TURBINA", de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** por um processo de modulação, controle de transferência de massa de gás de trabalho e de conservação de energia por uma válvula de três vias entre os subsistemas de conversão e conservação que ocorre juntamente com os processos de expansão adiabático (b-c), (b-c'), (d-a) e (d'-a) de ambos os subsistemas.

**Fig. 1**

**Fig. 2**

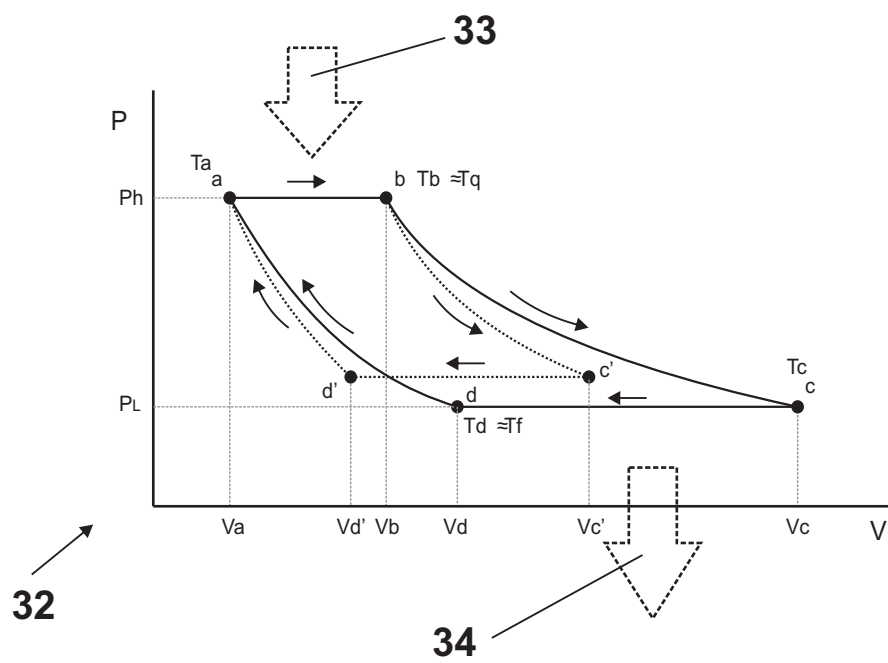
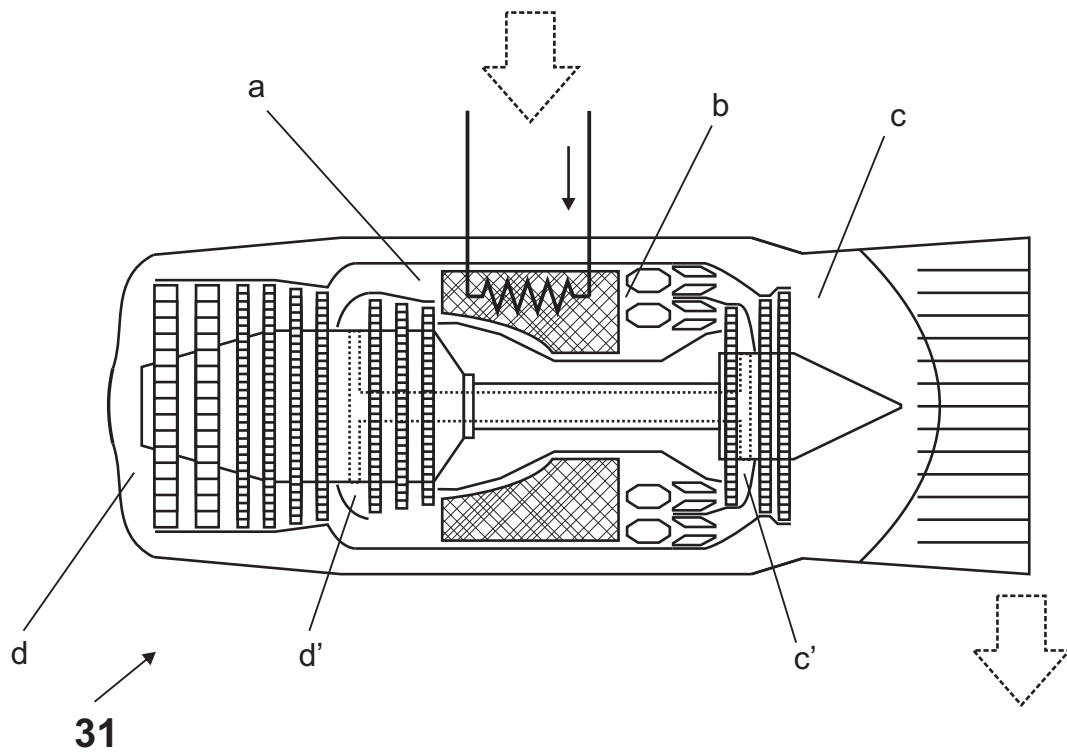
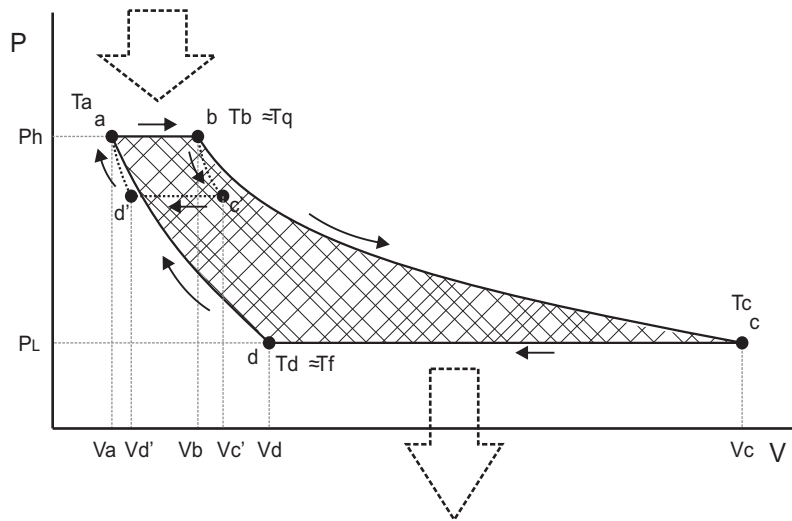
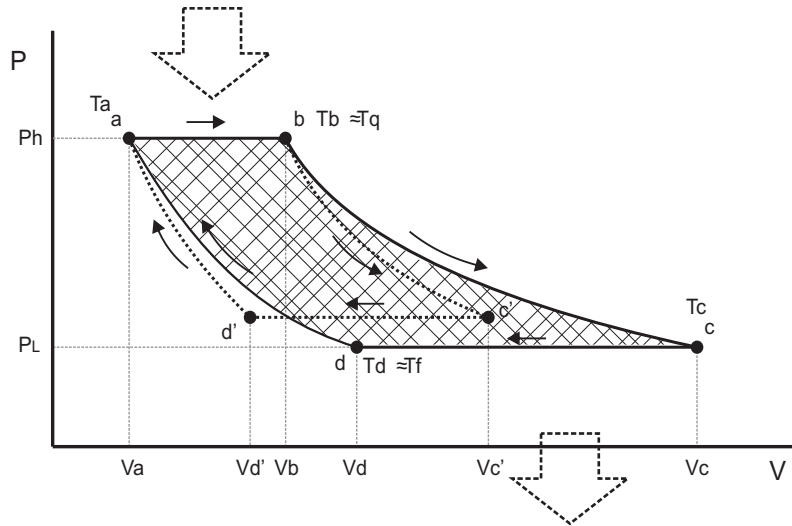
**Fig. 3**



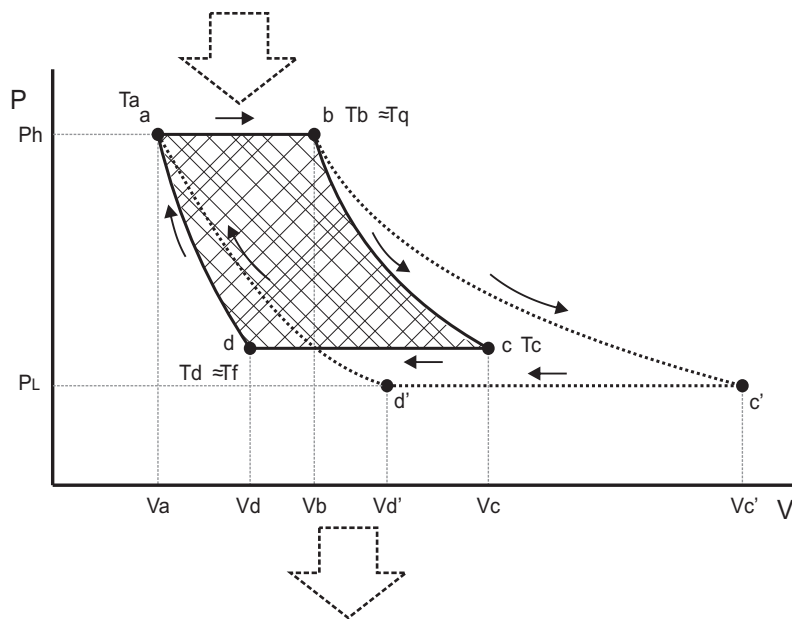
Fig. 4



51

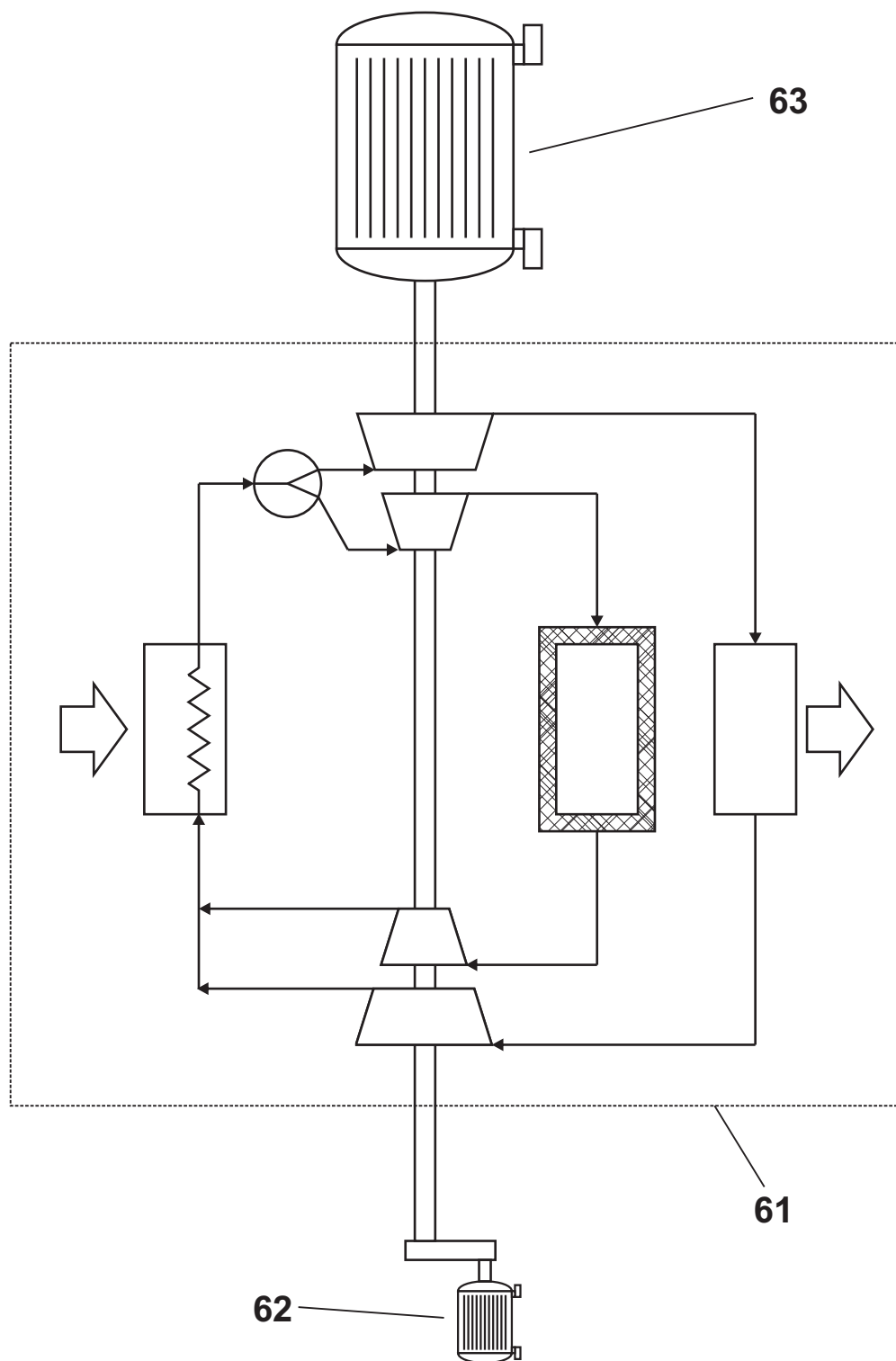


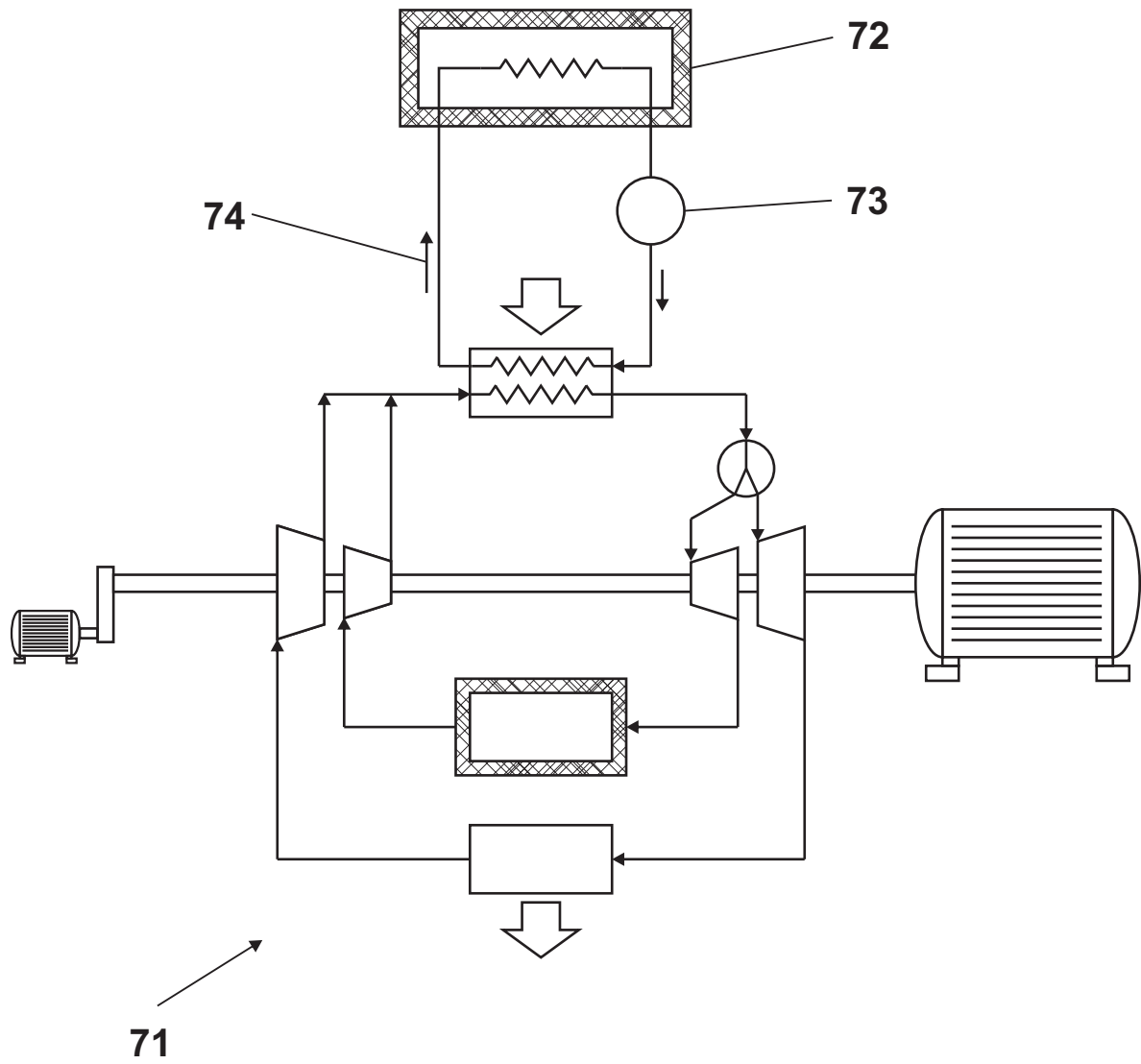
52



53

Fig. 5

**Fig. 6**

**Fig. 7**