

(11) Número de Publicação: **PT 1404927 E**

(51) Classificação Internacional:

**E04B 1/19** (2006.01) **B28B 7/00** (2006.01)  
**E02B 3/12** (2006.01)

**(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: **2002.06.27**

(30) Prioridade(s): **2001.06.28 US 301133 P**

(43) Data de publicação do pedido: **2004.04.07**

(45) Data e BPI da concessão: **2007.03.21**  
**026/2007**

(73) Titular(es):

**OCEAN BRICK SYSTEM (O.B.S.) LTD.**  
**18 ZEMACH ST. JERUSALEM 91030**

**IL**

(72) Inventor(es):

**ELIYAHU KENT**  
**YORAM ALKON**

**IL**  
**IL**

(74) Mandatário:

**ÁLVARO ALBANO DUARTE CATANA**  
**AVENIDA MARQUÊS DE TOMAR, Nº 44, 6º 1069-229 LISBOA**  
**PT**

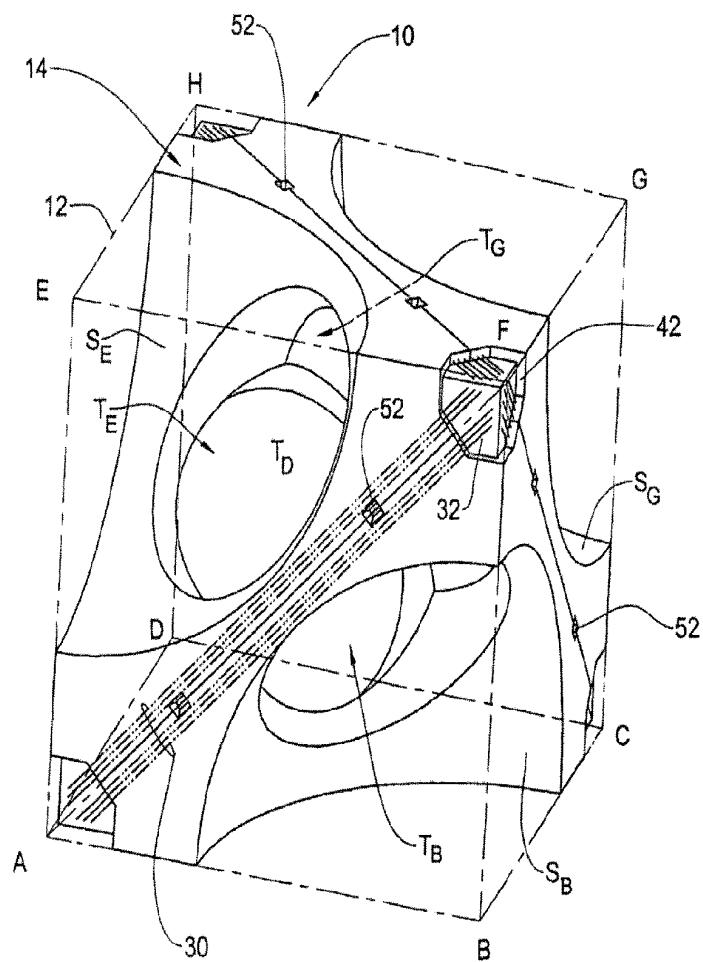
(54) Epígrafe: **ESTRUTURA MARINHA MODULAR.**

(57) Resumo:

ESTRUTURA MARINHA MODULAR.

**Resumo****"Estrutura marinha modular"**

Estrutura modular para suporte de carga realizada de módulos estruturais 3-D que compreendem paralelepípedos com faces rectangulares, unindo-se os módulos 3-D um ao outro ao longo das referidas faces. Os módulos 3-D compreendem traves diagonais de reforço (TDR's) colocadas ao longo de diagonais que ligam vértices de paralelepípedos. As TDR's formam uma estrutura multi-tetraedra 3-D em que a referida estrutura modular se comporta sob carga como uma estrutura multi-tetraedra. Um módulo básico 3-D para montar a estrutura modular apresenta seis TDR's ao longo de diagonais faciais que formam um tetraedro. O módulo 3-D pode apresentar TDR's também ao longo das outras seis diagonais e ao longo de diagonais que ligam centros das faces da caixa. Os módulos 3-D podem apresentar cortes e passagens para correntes de água. Eles podem apresentar volumes ocos internos e flutuabilidade controlada, e podem ser realizados a partir de elementos em concha.



**Descrição****"Estrutura marinha modular"****Campo da invenção**

A presente invenção refere-se a processos e meios para construir grandes estruturas e infra-estruturas em terra e no mar a partir de módulos pré-fabricados.

**Antecedentes da invenção**

Um processo preferido na prática da construção marinha e costeira é a montagem de elementos pré-fabricados de betão armados a aço. É também preferível realizar os elementos de modo a flutuarem. As vantagens das estruturas de betão flutuante encontram-se, na economia dos materiais utilizados (betão é apropriado para um ambiente marinho), no facto de ser fácil realizar estruturas do betão flutuante para reboque no estágio da construção, assim como no flutuar permanentemente, sendo que são suficientemente pesadas para uma instalação segura, permanente, e no facto de elas também poderem proporcionar espaço de armazenamento. As estruturas de betão podem ser construídas numa área protegida conveniente, e depois levadas flutuando até o local da instalação. Este processo é utilizado com vantagem para evitar a ocupação terrestre dispendiosa no lado da produção. Mesmo se o lado da instalação for fortemente exposto às condições meteorológicas, a estrutura pode ser rapidamente

posicionada durante uma pequena abertura de condições favoráveis.

O âmbito de aplicações de estruturas de betão flutuantes e não flutuantes é muito grande:

- Exploração de petróleo, plataformas de perfuração e produção, terminais de GPL;
- Barcaças, barcos e iates, docas flutuantes;
- Ilhas artificiais flutuantes, ou apoiadas no fundo do mar, aeroportos, postos de produção de energia, instalações industriais, hotéis, centros comerciais, pontes, túneis semi-submersíveis, faróis, diques, etc.

Estruturas grandes podem ser montadas de componentes pré-fabricados integrados por uniões moldadas no local ou por uniões moldadas em correspondência. É também possível uma aplicação combinada de elementos pré-fabricados e moldados no local. O pré-fabrico permite que sejam obtidos troços finos de betão de elevada resistência.

Uma vantagem adicional é obtida ao realizar os componentes pré-fabricados modulares, isto é, quando as estruturas são montadas de vários módulos grandes, essencialmente idênticos. Deste modo, a JP 01127710 descreve um processo para a construção de uma estrutura marinha tal como uma plataforma ou ilha artificial, de módulos ocos com fundos arredondados, com cerca de 10 m de diâmetro e 5 m de profundidade. Os módulos podem ser moldados como caixas rectangulares ou hexagonais, ou como cilindros. Eles são

posicionados por flutuação e são montados em uma ou mais direcções no plano horizontal, em grandes grupos flutuantes que podem depois ser rebocados e ligados numa estrutura marinha grande.

A patente JP 02120418 descreve um processo para a construção de fundações para estruturas marinhas de grandes blocos em forma de T ocos. Os blocos apresentam canais verticais em forma de cauda de andorinha nos lados de ligação e poços verticais para pilhas. Os blocos são rebocados para o local da construção e mergulhados no local. Os elementos contíguos são ligados por perfis de aço ou de betão inseridos nos canais em cauda de andorinha, sendo as estacas de suporte conduzidas para o fundo do mar através de poços verticais. São formadas juntas nos canais de encaixe inserindo argamassa ou mistura para juntas.

A patente US 3.799.093 descreve um módulo de betão flutuante pré-esforçado para montar molhes. O módulo apresenta uma forma rectangular semelhante a caixa e apresenta um núcleo de material flutuante, cabos pré-tensionados de aço ao longo dos bordos da caixa, e placas de suporte para unir a módulos contíguos numa linha.

A patente US 5.107.785 descreve um módulo flutuante de betão semelhante para utilização em cais flutuantes, diques e semelhantes. O modo semelhante a caixa apresenta revestimentos tubulares integrados revestidos ao longo de um conjunto dos seus bordos paralelos. Cabos de aço de

tensionamento são passados através dos revestimentos tubulares para manter uma linha de vários módulos em compressão numa relação extremidade-a-extremidade. Podem ser proporcionados revestimentos tubulares na direcção transversal para interligar várias linhas de módulos. Ainda um outro módulo de betão flutuante semelhante encontra-se descrito na patente US 6.199.502 onde o módulo apresenta também uma forma semelhante a caixa mas com lados ligeiramente côncavos que se encostam para assegurar um posicionamento muito mais estável dos módulos contíguos. Encontram-se proporcionadas passagens para dois conjuntos transversais de cabos de ligação em cada módulo, em dois planos horizontais deslocados um do outro.

A especificação da patente dos Estados Unidos US-A-5 105 589 descreve uma estrutura de construção modular que comprehende várias células tetraedras proporcionadas selectivamente para formar vários derivados em que cada célula apresenta seis barras das quais duas se encontram espaçadas horizontalmente transversais uma à outra e com as restantes quatro barras colocadas diagonalmente para as duas barras espaçadas horizontalmente que actuam como escoras.

#### **Sumário da invenção**

De acordo com um aspecto da presente invenção, é proporcionado um módulo estrutural 3-D tal como especificado na reivindicação 1.

De acordo com um aspecto da presente invenção é proporcionado um módulo 3-D que compreende pelo menos uma TDR que compreende elementos de reforço. As TDR's num módulo 3-D podem ser colocadas ao longo das diagonais R faciais e/ou ao longo das diagonais R do corpo, e/ou ao longo das diagonais que ligam os centros das faces do paralelepípedo que limita. As TDR's de um único módulo 3-D não formam necessariamente um tetraedro ou um octaedro completos - elas são formadas na estrutura modular completa.

Uma forma de realização preferida do módulo 3-D (módulo básico) compreende um conjunto de seis TDR's que se estendem ao longo de seis diagonais faciais (Diagonais R1) que ligam quatro cantos não contíguos (cantos R1) do paralelepípedo. As TDR's formam um tetraedro de modo que o módulo 3-D básico se comporta sob carga aplicada em qualquer dos cantos R1, essencialmente como um tetraedro construído de seis hastes ligadas em quatro vértices.

De preferência, os quatro outros campos do paralelepípedo encontram-se cortados ao longo de quatro superfícies respectivamente cortadas, encontrando-se as superfícies de corte interligadas por quatro respectivos túneis que convergem no centro do paralelepípedo numa forma tetrápode.

De preferência, as superfícies de corte apresentam a forma elipsóide ou esférica centrada no respectivo canto cortado mas elas também podem apresentar qualquer forma curva ou plana. Em particular, as superfícies de corte e os túneis

podem ser de tal modo moldados que troços do módulo 3-D que acomodam dez TDR's são formados essencialmente como barras de secção transversal uniforme. Ou, as superfícies de corte e os túneis podem ser moldados de modo a proporcionar uma passagem livre para uma coluna vertical paralela a um bordo do paralelepípedo.

Ainda uma outra forma de realização da presente invenção, um módulo 3-D "múltiplo", compreende os dois conjuntos de TDR's incorporadas no módulo duplo 3-D, mas compreende adicionalmente um terceiro conjunto de doze TDR's que se estendem ao longo de doze diagonais (diagonais R3) que ligam intercepções das diagonais R1 e das diagonais R2. As diagonais R3 formam um octaedro de modo que o módulo 3-D "múltiplo" se comporta sob carga essencialmente como uma estrutura multi-tetraedra construída de oito tetraedros proporcionados em redor de um octaedro. O módulo 3-D "múltiplo" pode ser montado de doze elementos do módulo, compreendendo cada elemento do módulo uma TDR ao longo de uma diagonal R3, partes de duas TDR's ao longo de duas diagonais R1, e partes de duas TDR's ao longo de duas diagonais R2.

Deste modo, a presente invenção é baseada nos princípios conhecidos de mecânicas estruturais em que as estruturas montadas de hastas e ligadores de vértice em tais formas como estruturas de tetraedros ou octaedros (veja figuras 3 e 4 a seguir) são muito estáveis e rígidas. A sua vantagem principal encontra-se no facto de qualquer carga externa

aplicada nos vértices ser distribuída como carga axial nas hastas. As hastas por isso trabalham somente em compressão ou tensão e não em flexão, torção ou corte. Várias de tais formas organizadas, por exemplo, numa estrutura de vários tetraedros que compreende várias camadas de tetraedros (figura 4), distribuem uma carga local de um vértice muito rapidamente e uniformemente para todos os vértices próximos e também para vértices mais distantes. Este é o motivo porque tais estruturas multi-tetraedras não necessitam de ser suportadas em todos vértices virados para a fundação (o leito do mar, por exemplo) mas podem tolerar vários vértices não suportados, de modo semelhante a uma ponte. A estrutura multi-tetraedra apresenta várias ligações redundantes, isto é, algumas das hastas podem ser retiradas sem perda significativa da rigidez. Consequentemente, tal estrutura é extremamente fiável no caso de falha estrutural em alguns elementos, por exemplo num acidente, colisão ou outros danos locais. Além disso, a estrutura multi-tetraedra é aberta e isomórfica, pode crescer sem limitações em todas as direcções, adicionando simplesmente hastas e ligadores de vértice. De facto, com um número cada vez maior de camadas, esta estrutura comporta-se antes como material de espuma com paredes rígidas (com cavidades muito largas). Tais materiais apresentam um excelente rácio entre o peso e a carga.

As TDR's podem ser reforçadas por tais elementos tal como hastas de aço. As TDR's podem ser pré-reforçadas ou pós-

reforçadas. O módulo 3-D da presente invenção apresenta reentrâncias nas faces do paralelepípedo, na diagonal R do mesmo, que se encontra proporcionado de modo a definir uma cavidade com uma reentrância semelhante ao outro módulo 3-D quando os dois módulos se encontram proporcionados contíguos um ao outro. A cavidade serve para acomodar um elemento de ligação fixando firmemente os dois módulos um ao outro. Tais reentrâncias podem apresentar a forma de canais que se estendem ao longo das diagonais R, ou podem ser feitos nos cantos R do paralelepípedo, ou em outros locais ao longo das diagonais R. De preferência, partes dos elementos de reforço das TDR's, isto é hastas de aço, encontram-se expostas nas reentrâncias, para melhor ligação. As reentrâncias são formadas com um canal periférico para acomodar um elemento vedante tal como uma junta insuflável para vedar a cavidade.

De preferência, o módulo 3-D básico compreende uma concha estrutural que aloja o volume oco. A concha pode ser montada de quatro elementos em concha com uma forma geralmente triangular, compreendendo cada elemento em concha, um dos túneis e partes das TDR's, sendo cada par de elementos em concha unido de modo vedante pelos seus bordos ao longo de uma das diagonais R do paralelepípedo e ao longo de uma união com dois túneis respectivos.

Um terceiro aspecto da presente invenção proporciona um processo para a produção de um módulo estrutural 3-D, que compreende os seguintes passos:

- a) vazar quatro dos referidos elementos em concha em quatro moldes de vazamento em concha respectivos;
- b) colocar três dos referidos moldes de vazamento em redor do quarto molde de vazamento com bordos dos elementos em concha triangulares que contêm as referidas TDR's contíguas uma à outra, e acoplar os bordos correspondentes dos referidos três moldes de vazamento para bordos contíguos do referido quarto molde de vazamento por meio de dobradiças;
- c) montar uma estrutura tetraedra 3-D levantando os referidos três moldes de vazamento e rodando os mesmos em redor das suas dobradiças; e
- d) ligar uniões entre os bordos dos elementos em concha ao longo das diagonais R laterais, e ligar as uniões entre as paredes dos túneis, de modo a obter o referido módulo estrutural 3-D ao libertar o mesmo dos referidos moldes.

De preferência, o passo (a) é executado vazando primeiro três paredes planas para cada elemento em concha e depois colocando as paredes planas no molde de vazamento para o elemento em concha. Para estruturas marinhas, os passos (a) a (d) são de preferência executados utilizando moldes de vazamento flutuantes que são mantidos juntos com o módulo 3-D até o contrapeso, balanceamento e libertação do módulo 3-D dos moldes de vazamento flutuantes.

A invenção proporciona um processo eficiente para construir estruturas marinhas e terrestres e infra-estruturas de módulos pré-fabricados, caracterizada *inter alia* pelas seguintes vantagens:

- A estrutura é montada empilhando vantajosamente módulos semelhantes a caixa utilizando as suas faces horizontais e verticais;
- A estrutura montada é uma armação de construção espacial construída de traves diagonais reforçadas embutidas numa montagem apropriada. As ligações construtivas entre os módulos proporcionam a continuação das traves reforçadas na estrutura e a distribuição das cargas locais em zonas grandes da estrutura e da fundação;
- A estrutura pode cobrir depressões no terreno que se encontra por debaixo (no leito do mar, por exemplo) ou fundações não uniformes;
- A estrutura é muito fiável e pode sobreviver a falhas de vários elementos da estrutura;
- A estrutura é relativamente leve e é apropriada para construção em regiões sísmicas, em leitos do mar fracos ou macios, ou em areias rápidas;
- Os módulos compreendem volumes ocos grandes que proporcionam a flutuabilidade para um transporte fácil aquático e montagem em flutuação e enchimento. Os volumes podem ser também utilizados como contentores;

- Os módulos compreendem túneis grandes que tornam a estrutura montada permeável a correntes de água;
- Os módulos encontram-se construídos como estruturas de concha que proporcionam a utilização eficiente do material de construção;
- Os módulos são feitos de elementos em concha idênticos vazados em moldes flutuantes. Os mesmos moldes podem ser vantajosamente utilizados para a montagem e transporte dos módulos por água;
- O processo é apropriado para construir ilhas artificiais, expandir ilhas existentes assim como obter nova terra do mar. Pode ser aplicado como um substituto (total ou parcial, para preencher espaços grandes com solo, em trabalhos civis extensivos, (reconstrução de pedreiras abandonadas, etc.). Pode ser utilizado na construção de pontes, diques, molhes e quebra-mares, etc.

#### **Breve descrição dos desenhos**

De modo a compreender a invenção e para ver como pode ser executada na prática, será agora descrita uma forma de realização preferida através de somente um exemplo não limitativo, tomando como referência os desenhos anexos. As figuras representam:

Figura 1 vista em perspectiva de um módulo 3-D básico de acordo com a presente invenção;

Figura 2 vista em perspectiva de uma estrutura montada de oito módulos 3-D tal como apresentado na figura 1;

Figura 3 vista esquemática de um único tetraedro estrutural;

Figura 4 vista esquemática de uma estrutura multi-tetraedra;

Figura 5 vista ampliada de um canto reforçado do módulo 3-D;

Figura 6 vista em explosão de um módulo 3-D construído dos elementos em concha;

Figura 7 vista em explosão de um elemento em concha;

Figuras

8A,

8B e 8C processo de flectir quatro moldes articulados com elementos em concha numa estrutura quase tetraedra;

Figura 9 vista em perspectiva de um molde elástico para vazar as camadas de um túnel semelhante a um tetrápode.

Figura 10 estrutura da superfície montada de módulos 3-D com 1 e 2 cantos cortados;

Figura 11 vista em perspectiva de um módulo 3-D com a face plana;

Figura 12 vista em perspectiva de uma estrutura montada de módulos de face plana da figura 11;

Figura 13 vista em perspectiva de um módulo 3-D "esquelético";

Figura 14 vista em perspectiva de uma estrutura montada dos módulos 3-D "em esqueléticos".

Figuras

15A e 15B diferentes secções transversais das traves do módulo 3-D em esqueléticos.

Figura 16 vista em perspectiva de um módulo 3-D duplo da presente invenção;

Figura 17 vista em perspectiva de um módulo 3-D em esqueléticos duplo;

Figura 18 vista em perspectiva de uma estrutura montada de um módulo 3-D em esqueléticos duplo;

Figura 19 vista em perspectiva de um módulo 3-D múltiplo da presente invenção;

Figura 20 vista em perspectiva de uma estrutura montada de módulos 3-D básicos e reforçada por pilares verticais.

Figura 21 vista em perspectiva de um módulo 3-D "deficiente" com quatro TDR's nas diagonais do corpo;

Figura 22 vista em perspectiva de um módulo 3-D "deficiente" com cinco TDR's nas diagonais laterais; e

Figura 23 vista esquemática de uma estrutura tetraedra completa formada de módulos 3-D deficientes.

#### **Descrição pormenorizada da invenção**

Em relação à figura 1, um módulo estrutural 3-D básico 10 da presente invenção (a partir de agora designado módulo 3-D) é uma unidade de construção modular com uma forma que compreende um paralelepípedo 12 rectangular definido por seis faces planas com vértices ABCD da base inferior e vértices EFGH da base superior. No exemplo apresentado, assume-se, sem

quaisquer limitações, que o paralelepípedo é um cubo geométrico com um lado com cerca de 10 m de comprimento. A forma do módulo 3-D básico pode ser descrita do seguinte modo:

- Quatro esquinas não contíguas do cubo (neste caso B, D, E, e G) encontram-se cortadas por superfícies de corte  $S_B$ ,  $S_D$  (não apresentadas),  $S_E$  e  $S_G$ . As superfícies de corte apresentadas na figura 1 são superfícies esféricas centradas nos respectivos cantos cortados no cubo mas podem apresentar qualquer forma bojando em direcção ao centro do cubo de modo semelhante a um elipsóide, ou forma plana, ou forma mais complexa;
- Quatro túneis  $T_B$ ,  $T_D$ ,  $T_E$  e  $T_G$  encontram-se formados e convergem para o centro do cubo para formar uma passagem semelhante a tetrápode que interliga as superfícies de corte. Os túneis são apresentados como tubos cilíndricos mas podem apresentar outra forma;
- Seis superfícies planas à esquerda das faces do cubo original, por exemplo superfície 14 (face EFGH), são planas da base pela qual o módulo 3-D entra em contacto com outros módulos semelhante. Estas superfícies têm de ser suficientemente grandes para assegurar um posicionamento estável do módulo numa fundação sensivelmente horizontal durante o processo de montagem, tal como apresentado a seguir.

A figura 2 apresenta parte de uma estrutura 20 montada de oito módulos 3-D do tipo apresentado na figura 1, proporcionados em dois planos (o módulo frontal superior encontra-se retirado). Pode ser verificado que empilhar e montar os módulos 3-D de acordo com o sistema do cubo alojado (figura 1) cria espaços esféricos grandes (22, 24) interligados por túneis (26, 28). Deste modo, uma estrutura marinha submersa feita dos módulos 3-D básicos irá permitir que a água flua livremente através dos mesmos.

Os módulos 3-D são formados por traves diagonais de reforço (TDR's) 30 que se estendem ao longo de seis diagonais (AF, FC, CA, AH, HC, HC e HF) nas superfícies planas à esquerda das faces do cubo de alojamento. Estas TDR's podem compreender elementos de reforço, por exemplo hastas de aço 32, e material que reveste os elementos de reforço, por exemplo betão. As TDR's encontram-se ligadas por três em quatro cantos reforçados (cantos R1) A, C, F, e H do módulo 3-D para formar uma forma tetraedra. Quando os módulos 3-D são carregados como parte da estrutura 20, as forças que são distribuídas através dos módulos 3-D encontram-se principalmente concentradas ao longo das TDR's. O comportamento estrutural do módulo 3-D básico é semelhante àquele de um tetraedro feito de seis hastas 34 e quatro ligadores 36 do vértice, tal como apresentado esquematicamente na figura 3. A estrutura montada 20 da figura 2 irá suportar cargas semelhantes à estrutura espacial

40 apresentada na figura 4, compreendendo vários tetraedros e octaedros entre eles. O multi-tetraedro 40 montado das hastes 34 e ligadores 36 dos vértices é conhecido na engenharia mecânica, sendo a sua principal vantagem o facto de qualquer carga externa aplicada nos vértices ser distribuída como carga axial nas hastes, e ser distribuída para uma grande zona da estrutura, tal como explicado acima.

Deste modo, o módulo 3-D de acordo com a invenção proporciona um comportamento estrutural vantajoso e um modo fácil e eficiente de montar vários de tais módulos em estruturas grandes empilhando nas suas superfícies horizontais (tal como a superfície 14 na figura 1). Os quatro cantos do cubo de alojamento podem não estar cortados dado que o comportamento desejado da estrutura do módulo 3-D é proporcionado pelas TDR's que formam um tetraedro, não tanto pelos cantos cortados ou túneis.

Em relação à figura 1 e à vista ampliada na figura 5, encontram-se formadas reentrâncias 42 na superfície do cubo nos cantos do módulo 3-D. As extremidades 44 das hastes de reforço 32 encontram-se expostas nestas reentrâncias. Quando dois a oito módulos 3-D 10 se encontram proporcionados contíguos a um canto R comum, por exemplo o canto 46 na figura 2, as reentrâncias formam cavidades que servem como um molde para vazar betão ou injectar mistura para juntas para criar juntas de canto 48. Reentrâncias semelhantes 52 podem ser formadas ao longo das diagonais R, tal como apresentado

na figura 1 e na figura 7 a seguir, com partes das TDR's também expostas nas mesmas. Tal como apresentado na figura 5, encontram-se formados relevos 50 em redor das reentrâncias 42 e 52 de modo a reter juntas apropriadas tais como tubos insufláveis para vedar as cavidades.

Os módulos 3-D básicos (figura 1) podem apresentar volumes ocos vedantes à água no seu corpo. Tais volumes podem compreender reservatórios que podem ser cheios com água do mar para efeitos de lastro, ou com qualquer outro material, de acordo com as necessidades (isto é água potável, combustível, água residuais, areia, e outros materiais). Os volumes ocos no módulo são cerca de um quarto do volume do cubo de alojamento e podem ser ligáveis através de aberturas e válvulas de corte, o que facilita o controlo total do seu conteúdo. Estes elementos podem ser inseridos em qualquer local apropriado nas paredes do módulo e por isso não são apresentados nas figuras.

Os volumes controláveis são suficientemente grandes para munir os módulos 3-D com propriedades flutuantes. Ao deixar entrar ar, a flutuabilidade do módulo 3-D pode ser controlada, assim como aquela da estrutura montada como um todo.

Tal como apresentado na figura 6, o módulo 3-D básico 10 é construído de quatro elementos em concha 54 que, no módulo montado, encontram-se fortemente ligados ao longo de costuras nas diagonais do cubo. Os elementos em concha 54 compreendem

paredes planas (arcos) 56, paredes do túnel 58, e paredes esféricas 60, tal como se pode ver na figura 7. As reentrâncias 52, nos bordos dos elementos em concha 54, podem ser utilizadas para vaziar ligadores entre módulos 3-D contíguos.

Em relação às figuras 6, 7 e 8, o módulo 3-D básico é fabricado de elementos em concha 54 pelo seguinte processo:

Passo "A": os elementos em concha 54 são fabricados vazando primeiro três arcos de betão 56. O vazamento pode ser executado horizontalmente em moldes planos. São utilizadas hastes de reforço em aço 32 de modo a criar TDR's com extremidades 34 de hastes livres expostas nas reentrâncias 42 para ligação futura. São formadas as reentrâncias 52, sendo as hastes de reforço transversais também colocadas (não apresentado), com extremidades em aço livres ao longo dos bordos dos elementos em concha para ligação às outras partes da concha nos próximos passos do vazamento de betão.

Passo "B": são colocados três arcos 56, para cada elemento em concha 54, num molde de vazamento. As hastes de reforço adicionais para as TDR's podem ser inseridas nos moldes, e também todos os elementos fixos que podem ser revestidos durante o vazamento tais como flanges, válvulas e torneiras para controlo da flutuação, escotilhas para abrir/fechar recipientes de armazenamento, olhos de elevação, etc. As extremidades

livres em aço podem ser ligadas, por exemplo por soldagem. O molde do elemento em concha pode apresentar dois lados ou um lado, ou uma combinação de ambos. Por exemplo, as paredes do túnel 58 podem ser vazadas em moldes de dois lados. De preferência, para estruturas marinhas, os moldes do elemento em concha são flutuantes, juntamente com o elemento de betão vazado.

Passo "C": completar a produção do elemento em concha vazando o betão no molde. As paredes esféricas 60 e as paredes do túnel 58 são vazadas, e os intervalos entre os arcos planos 56 são cheios. Deste modo, todas as partes são ligadas, e o elemento em concha 54 é completado. A cura do betão pode ser executada no interior dos moldes, e se necessário, enquanto flutua na água. Ao completar a cura, o elemento em concha 54 encontra-se preparado para montagem com três outros elementos em concha para formar um módulo 3-D.

Passo "D": quatro moldes de vazamento com elementos em concha 54 os quais se encontram acoplados um ao outro por meio de dobradiças, num desenho de quatro triângulos equiláteros que formam um triângulo grande dobrável (figura 8A).

Passo "E": os moldes de vazamento, juntamente com os elementos em concha 54, são "dobrados" (estirados um para o outro) em redor das articulações para formar uma estrutura "quase tetraedra" (figuras 8B e 8C). Os quatro

elementos em concha são agora bloqueados na sua posição precisa num espaço tridimensional. No fim deste passo é criado um único molde externo grande.

Passo "F": ao fechar os moldes, as quatro paredes do túnel 58 são também fechadas em direcção uma à outra, formando um tetrápode 61 tubular (figura 9). São inseridas correias 62 arqueadas especiais nos intervalos entre as paredes 58 e estiradas por meio de elementos de ligação 63 no lado externo das paredes (em relação à passagem através do tetrápode) de modo que os intervalos entre as paredes 58 são fechados do lado interno do módulo 3-D. Agora as juntas entre os bordos das paredes do túnel 58 podem ser vedadas por vazamento do betão ou cobertura com argamassa viscosa ou revestimento com gunita.

Passo "G": ligar as "costuras" entre os bordos dos elementos em concha 52. As extremidades das hastas de reforço transversais são ligadas, sendo a mistura para juntas ou betão injectada entre os bordos dos elementos em concha. Fechar as costuras permite ao módulo 3-D obter a sua resistência completa e o seu comportamento estrutural planeado.

Se o módulo 3-D fechado e o seu molde apresentar uma capacidade flutuante, o molde fechado e o módulo 3-D curado dentro do mesmo são baixados para a água para um estado de flutuação. Após o módulo 3-D e o seu molde tiverem sido

equilibrados no que se refere à flutuação, o molde é aberto e o módulo 3-D é liberto para flutuar na água. A sua flutuação pode ser controlada por água de balastro, bóias e/ou pesos e equipamento de ascensão.

De acordo com a presente invenção, são também propostas outras formas de realização do módulo 3-D. Com o objectivo de obter uma superfície contínua de estrutura plana, pode ser concebido um módulo 66 de superfície especial (figura 10). Este módulo apresenta somente dois de quatro cantos não contíguos cortados, não se encontrando os cantos E e D cheios. Um módulo 3-D 68 para um canto exposto da estrutura montada pode apresentar três cantos cheios (somente o canto B se encontra cortado).

É apresentado na figura 11 um módulo 3-D 70 simplificado de face plana. As superfícies de corte 72 são planas neste caso. É apresentada na figura 12 uma estrutura 74 construída de tais módulos de face plana 70. Os espaços entre este tipo de módulos 3-D assumem a forma de um octaedro em vez de uma esfera, tal como foi apresentado na figura 2.

É apresentado na figura 13 um módulo 3-D 80 "esquelético" alternativo. O módulo esquelético apresenta a mesma tipologia externa (quatro cantos cortados e quatro túneis ligados num tetrápode) como o módulo 3-D básico, e também a mesma estrutura de reforço feita de TDR's. Contudo, o módulo esquelético 80 não apresenta quaisquer volumes ociosos e por isso qualquer flutuabilidade. O módulo esquelético comprehende

seis traves 82 da secção transversal geralmente uniforme proporcionadas numa configuração em tetraedro. A secção transversal das traves pode ser rectangular mas também pode compreender um canal aberto 84 de modo que dois módulos esqueléticos contíguos irão definir um espaço oco entre eles que se estende ao longo da diagonal R do cubo de alojamento. É apresentada na figura 14 uma estrutura montada com módulos esqueléticos contíguos, pode ser vista na figura 15A a secção transversal de duas traves contíguas 82 com canais 84. O espaço oco nos canais 84 apresenta a mesma função de ligação que as cavidades formadas pelas reentrâncias 42 a 52. Partes dos elementos de reforço podem ficar expostas neste espaço, por exemplo extremidades ou argolas de hastes de aço transversais. O espaço é cheio com mistura para juntas ou outro material de endurecimento para fixar umas às outras as TDR's dos módulos contíguos e para melhorar o comportamento estrutural da estrutura montada.

Um outro modo para melhorar o comportamento estrutural é o de utilizar a secção transversal em forma de "T" ou "U" da trave, ou qualquer outra forma que irá aumentar o momento de inércia na direcção normal para a face plana da trave 82 (veja figura 15B).

As propriedades dos módulos esqueléticos são semelhantes àquelas do módulo 3-D básico. Eles podem ser empilhados de modo semelhante a cubos, podendo eles ser interligados do mesmo modo que os módulos 3-D básicos para formar uma

estrutura grande 86 (veja figura 14) que se comporta estruturalmente tal como explicado em ligação com as figuras 3 e 4.

Uma caixa de betão oca, com ou sem aberturas em cada ou em parte das suas seis faces, pode servir como um módulo 3-D "cúbico" alternativo. Esta alternativa pode ser flutuante se a caixa for fechada e cheia com ar, ou não flutuante se apresentar aberturas. É diferente de quaisquer outras caixas estruturais de betão conhecidas na prática pelo seu reforço, que é o mesmo que no módulo 3-D básico, por exemplo com as TDR's proporcionando um módulo "cúbico" com as propriedades estruturais de um tetraedro. Os modos de ligação são os mesmos que com os módulos 3-D básicos.

Uma outra forma de realização do módulo 3-D da presente invenção é um módulo 3-D "duplo". O módulo duplo 80 apresentado na figura 16 apresenta as TDR's do módulo básico mas comprehende também um segundo conjunto de seis TDR's 91 que se estende ao longo das outras seis diagonais (diagonais R2) do cubo e formando uma segunda forma tetraedra. Na figura 3, o segundo tetraedro encontra-se esquematizado por hastes 92 e ligadores 94 de vértice apresentados a tracejado. O comportamento estrutural sob carga do segundo tetraedro é o mesmo que do primeiro. De facto, a interacção entre os dois tetraedros é muito fraca apesar do facto das suas TDR's respectivas se encontrarem embutidas no mesmo módulo.

O módulo 3-D 90 duplo encontra-se cortado de um modo diferente, dado que todos os oito vértices são utilizados como uniões. Doze superfícies esféricas  $S_{AD}$ ,  $S_{AB}$ , etc. encontram-se cortadas em redor de cada bordo do cubo, e doze túneis  $T_{AB}$ ,  $T_{BF}$ , etc. encontram-se furados das superfícies de corte para o centro do cubo. O centro do cubo pode ser adicionalmente esvaziado cortando uma esfera central. As superfícies de corte podem também apresentar diferentes formas mas as diagonais R1 e diagonais R2 não podem ser interrompidas. O módulo duplo pode apresentar volumes ocos estanques a água no seu corpo tal como um módulo básico 10. Podem ser montados seis elementos do módulo, compreendendo cada um, duas TDR's que pertencem a dois diferentes tetraedros, por exemplo o elemento ABFE (apresentado ligeiramente sombreado). O módulo 3-D duplo pode também ser montado de elementos em concha. Alternativamente, o módulo pode ser construído como módulo 3-D esquelético 96 (veja figura 17), e uma estrutura 98 montada de oito de tais de tais módulos é apresentada na figura 18.

Podem ser adicionadas mais TDR's para produzir vários módulos 3-D dentro do escopo da presente invenção. Por exemplo, tal como apresentado na figura 19, é obtido um módulo 3-D 100 "múltiplo" quando são adicionados 12 TDR's 102 que ligam centros das faces do cubo a um módulo duplo para formar uma estrutura octaedra interna. O módulo múltiplo pode ser visto como sendo constituído por oito tetraedros (por

exemplo LMNE) fixados à estrutura octaedra interna. O esquema estrutural do módulo múltiplo é de facto idêntico àquele da estrutura montada de 8 módulos 3-D básicos (veja figura 4). O módulo múltiplo pode apresentar túneis, por exemplo,  $T_{EA}$ ,  $T_{EF}$ ,  $T_{EH}$  que convergem numa forma de tripé sob o vértice correspondendo E. As reentrâncias para formação de uniões encontram-se proporcionadas nos vértices do cubo (reentrância 42), nas diagonais do cubo (reentrâncias 52), e no centro das faces dos cubos (reentrância 104). Um módulo 3-D múltiplo pode ser montado de doze elementos em concha, tais como EMFL. Três de tais elementos em concha podem ser primeiro montados num molde de vazamento para formar um conjunto intermédio AFHE, depois quatro de tais conjuntos podem ser montados, juntamente com os moldes, num molde 3-D, tal como apresentado e explicado em ligação com as figuras 8A, 8B e 8C. Alternativamente, um elemento em concha tal como EMFL pode ser primeiro montado de elementos secundários, tais como LNE e LMF. Os volumes ocos podem ser formados na estrutura octaedra interna e no tetraedro periférico.

Um módulo "deficiente" é um módulo 3-D da presente invenção em que as TDR's constituintes não formam um tetraedro completo. Por exemplo, a figura 21 apresenta um módulo 3-D "deficiente" 114 que apresenta quatro TDR's juntamente com as quatro diagonais do corpo do cubo de alojamento numa formação de cruz dupla. Alternativamente, a figura 22 apresenta um módulo 3-D "deficiente" 118 que

apresenta cinco TDR's juntamente com cinco das diagonais faciais do cubo de alojamento, formando um quadrângulo espacial AFCH com uma diagonal FH. A estrutura do último módulo pode também ser descrita como tetraedro AFCH com o bordo AC em falta. Um módulo "deficiente" contudo torna-se uma parte de uma estrutura tetraedra completa quando montado com outros módulos 3-D numa estrutura modular. Tal estrutura 120 é apresentada como uma estrutura na figura 23 onde duas camadas 122 e 124 realizadas de módulos 3-D "deficientes" 118 se encontram colocadas uma sobre a outra. As TDR 126 em falta na camada superior 122 são completas na estrutura montada por TDR's 128 na camada inferior 124.

Os módulos 3-D alternativos descritos acima, nomeadamente - o módulo 3-D básico, o módulo de superfície, o módulo de face plana, o módulo esquelético, o módulo cúbico, o módulo duplo, o módulo múltiplo, e os módulos "deficiente" - são todos modulares e podem substituir um ao outro, ou ser utilizados em combinação (permutáveis) de acordo com as exigências de planeamento específicas. A sua permutabilidade é proporcionada pela mesma dimensão dos paralelepípedos envolventes, a superfície plana ao longo das diagonais R, e as formas de realização idênticas ou compatíveis para uniões ao longo das diagonais R correspondentes. Além disso, o módulo múltiplo pode ser montado com módulos com metade da dimensão, proporcionando neste caso uma configuração mais flexível de estruturas terrestre e marinhas.

Uma estrutura marinha é montada dos módulos 3-D acima descritos do seguinte modo:

- o leito do mar e fundações para erigir a estrutura marinha são preparados por processos correntes de utilização de equipamentos mecânicos para trabalhos civis submarinos. Se necessário, pode ser utilizado excipiente de gravilha ou outros processos para estabilizar a base.

As fundações para construções marinhas encontram-se concebidas para suportar as cargas estáticas e dinâmicas vivas, assim como as próprias cargas e as cargas dinâmicas que existem no mar (correntes, força de ascensão, marés, tempestades, ondas, terramoto, maremotos, etc.). Adicionalmente, as fundações servem para nivelar os módulos 3-D na estrutura.

Um módulo 3-D, em condição de flutuação, é transportado (rebocado) na água para cima do local pretendido para a sua colocação. O módulo é ligado a cabos de gruas, e é rodado e içado para a sua posição planeada, de modo a encaixar no seu local final na estrutura.

O módulo é imerso na água deixando uma quantidade controlada de água entrar para o seu volume oco por meio de bóias ou por meio de uma grua de elevação, etc. O posicionamento fino final do módulo 3-D no seu lugar apropriado pode ser executado por terminais cónicos (macho e

fêmea), que são encaixados nos módulos durante o vazamento, ou por outros processos apropriados.

Após o posicionamento de todos os módulos em redor de um canto R comum (máximo oito módulos em redor de um canto R) de modo que as reentrâncias 42 de módulos contíguos formem um espaço fechado que serve como um molde para moldar uma união 48 do canto (veja figura 5 e figura 2), as ligações entre os módulos contíguos 3-D podem ser completas do seguinte modo:

- O molde da união é preparado para vazamento por inserção de juntas, tais como tubos insufláveis pneumáticamente ou hidráulicamente, nos relevos 50 (figura 5) que se encontram virados um para outro no intervalo estreito entre os módulos. As juntas podem também ser fixas nos relevos, por exemplo por colagem, antes da montagem dos módulos. De preferência, são utilizados dois conjuntos de juntas, cada um fixado ao respectivo módulo e virado para o outro conjunto, de modo que se uma das juntas não insuflar, o outro oposto pode vedar o intervalo. O reforço apropriado pode ser inserido no molde (reforçando hastes de aço de reforço, redes de reforço, fibras de reforço, pinos de reforço ou quaisquer outros meios de reforço), e as extremidades expostas 44 das hastes de reforço 32 são ligadas. Nos casos em que menos de oito módulos se encontram numa união (isto é nos limites da estrutura),

o módulo pode ser fechado por meio de cercaduras apropriadas;

- um tubo de entrada de mistura para juntas encontra-se proporcionado na extremidade superior do molde, da direcção do volume esférico entre os módulos, de preferência previamente durante o fabrico do módulo 3-D. Encontra-se proporcionado um tubo de saída de água do mar na extremidade do fundo do molde, deste modo de preferência previamente num molde, encontrando-se um tubo também proporcionado para ar comprimido. Os tubos insufláveis pneumática/hidraulicamente são insuflados para vedar o intervalo entre os módulos contíguos que rodeiam o espaço fechado do molde da união;
- Alimentar ar comprimido para dentro do espaço do molde purga a água do mar do molde para o tubo de saída. Mistura para juntas ou outro material de endurecimento é injectado através do tubo de entrada para encher o espaço do molde de união. Ao curar a mistura para juntas, a pressão na vedação insuflável pode ser liberta.

Podem ser criadas uniões adicionais entre os módulos 3-D, de um modo semelhante, por exemplo utilizando as reentrâncias 52 para ligar elementos (veja figuras 1 e 7) ou canais 84 (figura 15A). Estes elementos de ligação irão fazer com que as TDR's em redor de uma diagonal R, que pertence a

dois módulos ou a quatro elementos em concha, funcionem como uma haste integral, impedindo deste modo um colapso das TDR sobre cargas pesadas.

Os módulos 3-D podem ser primeiro montados em macro-módulos flutuantes (grupos) incluindo dois ou mais módulos, que são depois rebocados para o local de construção, posicionados e ligados ao resto da estrutura marinha. Neste caso é preferível montar o macro-módulo somente por tais uniões que não fazem parte da ligação para o resto da estrutura marinha, isto é utilizando somente as reentrâncias 52, canais 84, ou cantos R totalmente internos.

A camada superior da estrutura marinha, que se encontra concebida para subir acima do nível do mar (tendo em conta marés e ondas elevadas), pode ser construída dos módulos de "superfície" 66 e 68 (figura 10).

A estrutura marinha ou qualquer módulo individual 3-D podem ser reforçados preenchendo os volumes ocos no módulo 3-D com mistura para juntas ou outro material de endurecimento, transformando-os neste modo numa fundação reforçada localmente apropriada para assumir grandes cargas locais.

Uma outra opção de reforço local, após a montagem da estrutura, independentemente da resistência da concepção dos módulos 3-D, é o de erigir pilares adicionais. As superfícies de corte e os túneis nos módulos 3-D podem ser moldados de modo a deixar espaços abertos de passagem ao longo da estrutura. Estes passos podem ser utilizados inserindo

pilares 110 até ao leito do mar (veja figura 20). Ao utilizar esta opção, não existe qualquer necessidade de determinar previamente a resistência da estrutura marinha. Tais pilares podem ser adicionados a qualquer momento e de acordo com as necessidades.

Os espaços abertos anteriormente mencionados permitem inserir até quatro pilares através de um módulo 3-D. O diâmetro dos pilares 110 apresentados nas figuras 20 é de 1,50 m num módulo com dimensões de 10 X 10 X 10 m com diâmetro do túnel de 6 m. Esta opção pode suportar cargas vivas consideráveis, para todos os efeitos práticos.

Embora tenha sido apresentada uma descrição de formas de realização específicas, prevê-se que possam ser efectuadas várias alterações sem fugir do escopo da presente invenção, tal como definido pelas reivindicações. Por exemplo, os materiais estruturais utilizados para fabricar os módulos 3-D os elementos em concha constituintes não se encontram limitados a betão armado. Pode ser utilizado o betão de polímero e o betão de cinzas muito finas, assim como fibras de reforço de carbono, vidro, plástico, ou aço. Os elementos em concha podem ser vazados em conchas exteriores de plástico reforçado a fibra (PRF) utilizadas como moldes de vazamento, enquanto que as TDR's podem ser formadas como elementos secundários de PRF interiores.

Tal como mencionado acima, não existe qualquer necessidade que as TDR's em cada um dos módulos individuais

3-D formem um tetraedro fechado. Pode ser concebida dentro do escopo da presente invenção uma grande variedade de módulos 3-D "deficientes" com algumas das TDR's em falta, mesmo módulos que compreendem somente uma ou duas TDR's, ou TDR's que não se encontram ligadas uma à outra. Deverá ser compreendido que tais TDR's tornam-se elementos da estrutura vantajosa multi-tetraedra-octaedra somente quando o módulo 3-D "deficiente" for incluído na estrutura montada marinha ou terrestre.

Lisboa, 2 de Agosto de 2007

### **Reivindicações**

1. Módulo estrutural 3-D, na presente denominado um módulo 3-D (10) para montagem numa estrutura modular marinha que suporta uma carga, sendo o referido módulo 3-D concebido como um corpo compreendendo um paralelepípedo parcialmente cortado com lados rectangulares, caracterizado por o referido módulo 3-D (10) compreender pelo menos uma trave diagonal de reforço, aqui denominada TDR, (30) colocada ao longo de uma diagonal, aqui denominada diagonal R, que liga vértices, aqui denominadas cantos R, do referido paralelepípedo, apresentando o referido corpo faces planas que formam parte dos referidos lados rectangulares, compreendendo a referida TDR (30) meios para montagem rígida a uma TDR (30) de outro módulo 3-D (10), de modo que vários módulos 3-D podem unir-se um ao outro ao longo das suas faces planas, podendo as suas TDR (30) ser montadas uma na outra nas referidas faces planas de modo a formar uma estrutura multi-tetraedra rígida 3-D na referida estrutura modular em que a referida estrutura modular se comporta sob carga como uma estrutura multi-tetraedra, e em que pelo menos dois cantos do paralelepípedo, que não sejam o canto R, encontram-se cortados ao longo de uma superfície cortada, em que quatro cantos do paralelepípedo que não sejam os cantos R se encontram

cortados ao longo de quatro respectivas superfícies de corte e se encontram interligadas por quatro túneis que convergem próximas do centro do paralelepípedo numa forma tetrápode.

2. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por pelo menos uma TDR (30) compreender elementos de reforço.
3. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por pelo menos uma TDR (30) e a referida diagonal R se encontrarem colocadas num lado do referido paralelepípedo.
4. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o referido paralelepípedo ser um cubo.
5. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por as referidas superfícies de corte (SB, SD, SE, SG) e os referidos túneis (TB, TD, TE, TG) se encontrarem de tal modo moldados, que troços do referido módulo 3-D (10) que acomoda a referida TDR (30) se encontram formados essencialmente como traves de secção transversal uniforme que se estendem ao longo das referidas diagonais R.

6. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por pelo menos duas das superfícies de corte e/ou das faces paralelepípedas do referido módulo 3-D (10) se encontrarem interligadas por um túnel.
7. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por as referidas superfícies de corte (SB, SD, SE, SG) e os referidos túneis (TB, TD, TE, TG) se encontrarem moldados de modo a proporcionar uma passagem livre para uma coluna que se estende paralela a um bordo do paralelepípedo.
8. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por pelo menos uma das superfícies de corte (SB, SD, SE, SG) ser uma superfície plana.
9. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a referida pelo menos uma superfície cortada (SB, SD, SE, SG) ser uma superfície elipsóide ou esférica centrada no respectivo canto cortado.
10. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por os referidos meios para montagem compreenderem pelo menos uma reentrância (52) em pelo menos uma das referidas faces planas do referido corpo, no referido lado diagonal R do paralelepípedo,

encontrando-se a referida pelo menos uma reentrância (42, 52) proporcionada de modo a definir uma cavidade com uma reentrância correspondente (42, 52) em outro módulo 3-D (10) quando os referidos módulos (10) se encontram proporcionados contíguos um ao outro.

- 11.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por a referida pelo menos uma reentrância (42, 52) ser um canal na referida face plana, que se estende ao longo do referido lado diagonal R.
- 12.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por a referida pelo menos uma reentrância (42, 52) se encontrar em um dos referidos cantos R do paralelepípedo.
- 13.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por a referida pelo menos uma TDR compreender elementos de reforço, encontrando-se partes dos referidos elementos de reforço expostos na referida pelo menos uma reentrância (42, 52).
- 14.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por a referida reentrância (42, 52) se encontrar realizada com um canal periférico para acomodar um elemento vedante para vedar a referida cavidade.

15. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, compreendendo um volume oco fechado vedante a fluido e meios que permitem o enchimento e drenagem do referido volume oco com um fluido.
16. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o referido módulo 3-D (10) ser realizado de quatro elementos em concha, compreendendo cada elemento em concha uma parede de um dos referidos túneis, sendo cada dois elementos em concha unidos de modo vedante pelos seus bordos ao longo de um lado diagonal R do paralelepípedo e ao longo de uma união de paredes de dois túneis respectivos.
17. Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 3 compreendendo um primeiro conjunto de seis TDR's que se estendem ao longo de seis diagonais laterais, na presente denominadas diagonais R1, ligando quatro cantos não contíguos, na presente denominados cantos R1, do referido paralelepípedo, formando as referidas TDR's um tetraedro de modo que o referido módulo 3-D (10) se comporta sob carga aplicada em qualquer das referidos cantos R1, essencialmente como um tetraedro construído de seis hastes ligadas em quatro vértices.

- 18.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 17, compreendendo adicionalmente um segundo conjunto de seis TDR's que se estendem ao longo de seis diagonais laterais, aqui denominadas diagonais R2, do referido paralelepípedo diferente das referidas diagonais R1, ligando quatro cantos não contíguos, aqui denominados cantos R2, e formando um segundo tetraedro de modo que o referido módulo 3-D se comporta, sob carga aplicada, em qualquer dos referidos cantos R2, essencialmente como um tetraedro construído de seis hastes ligadas em quatro vértices.
- 19.** Módulo 3-D de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por um troço do referido paralelepípedo contíguo a pelo menos um dos bordos dos paralelepípedos se encontrar cortado ao longo de uma superfície cortada.
- 20.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por se encontrarem recortados de dois a doze túneis no referido paralelepípedo, iniciando cada túnel em um dos bordos dos paralelepípedos, convergindo todos os túneis próximos do centro do paralelepípedo.
- 21.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 20, caracterizado por os referidos túneis se encontrarem de tal modo moldados, que troços do referido módulo 3-D (10)

que acomodam as referidas TDR's se encontram realizados essencialmente como traves de secção transversal uniforme que se estendem ao longo das referidas diagonais R1 e referidas diagonais R2.

- 22.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 18, realizado a partir de elementos modulares, caracterizado por pelo menos um dos elementos modulares compreender uma TDR ao longo de uma diagonal R1 e uma TDR ao longo de uma diagonal R2, de modo que o referido módulo 3-D (10) pode ser realizado de seis de tais elementos modulares proporcionados ao longo dos lados do paralelepípedo.
- 23.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 18, caracterizado por compreender adicionalmente um terceiro conjunto de 12 TDR's que se estendem ao longo de doze diagonais, na presente denominadas diagonais R3, ligando intercepções das referidas diagonais R1 e referidas diagonais R2 e formando um octaedro, de modo que o referido módulo 3-D (10) se comporta sob carga essencialmente como uma estrutura multi-tetraedra construída de oito tetraedros proporcionados em redor de um octaedro.
- 24.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 23, realizado a partir de elementos modulares (10),

caracterizado por pelo menos um dos referidos elementos modulares (10) compreender uma TDR ao longo de uma diagonal R3, partes de duas TDR's ao longo de duas diagonais R1, e partes de duas TDR's ao longo de duas diagonais R2.

**25.** Módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 23, caracterizado por ser realizado a partir de elementos modulares, compreendendo pelo menos um dos referidos elementos modulares parte de uma TDR ao longo de uma diagonal R3 e partes de duas TDR ao longo de duas diagonais R1.

**26.** Elemento em concha estrutural (20) para montar um módulo 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o referido módulo 3-D (10) apresentar quatro cantos R ligados por seis TDR's numa configuração de tetraedro, e apresentando quatro cantos do paralelepípedo diferente dos cantos R cortados ao longo de quatro respectivas superfícies de corte e interligadas por quatro túneis que convergem próximas do centro do paralelepípedo numa forma de tetraedro, apresentando o referido elemento em concha uma forma geralmente triangular com bordos que compreendem partes das referidas TDR's, compreendendo uma parede de um dos referidos túneis e três paredes geralmente planas que formam as faces planas do módulo 3-

D (10), de modo que dois de tais elementos em concha podem ser unidos pelos seus bordos ao longo de uma diagonal R lateral do paralelepípedo e ao longo de uma união de paredes dos seus túneis, podendo ser montados quatro de tais elementos em concha para formar o referido módulo 3-D (10).

**27.** Processo de produção do módulo estrutural 3-D (10) de acordo com a reivindicação 1 a partir dos elementos em concha triangulares (20) de acordo com a reivindicação 28, compreendendo o processo:

- a) vazar quatro dos referidos elementos em concha (20) em quatro moldes de vazamento em concha respectivos;
- b) colocar três dos referidos moldes de vazamento em redor do quarto molde de vazamento com bordos dos elementos em concha triangulares (20) que contêm as referidas TDR's contíguas uma à outra, e acoplar os bordos correspondentes dos referidos três moldes de vazamento para bordos contíguos do referido quarto molde de vazamento por meio de dobradiças;
- c) montar uma estrutura tetraedra 3-D levantando os referidos três moldes de vazamento e virando-os em redor das suas dobradiças; e
- d) ligar uniões entre os bordos dos elementos em concha (20) ao longo das diagonais R laterais, e ligar as uniões entre as paredes dos túneis, de modo a obter o

referido módulo estrutural 3-D (10) ao libertar o mesmo dos referidos moldes.

- 28.** Processo de produção de um módulo estrutural 3-D (10) de acordo com a reivindicação 27, caracterizado por o passo (a) ser executado pelo pré-vazamento de três paredes planas em cada elemento em concha (20) e depois colocação das referidas paredes planas nos referidos quatro moldes de vazamento em concha.
- 29.** Processo de produção de módulos estruturais 3-D (10) de acordo com a reivindicação 27, compreendendo o referido módulo 3-D (10) um volume oco fechado vedante a fluido formado entre os referidos elementos em concha, e meios que permitem o enchimento e drenagem do referido volume oco com um fluido, em que os passos (a) a (d) são executados utilizando moldes de vazamento flutuantes que são mantidos juntos com o referido módulo 3-D (10) até um passo adicional de lastragem, balanceamento e libertação do módulo 3-D (10) dos moldes de vazamento flutuantes.

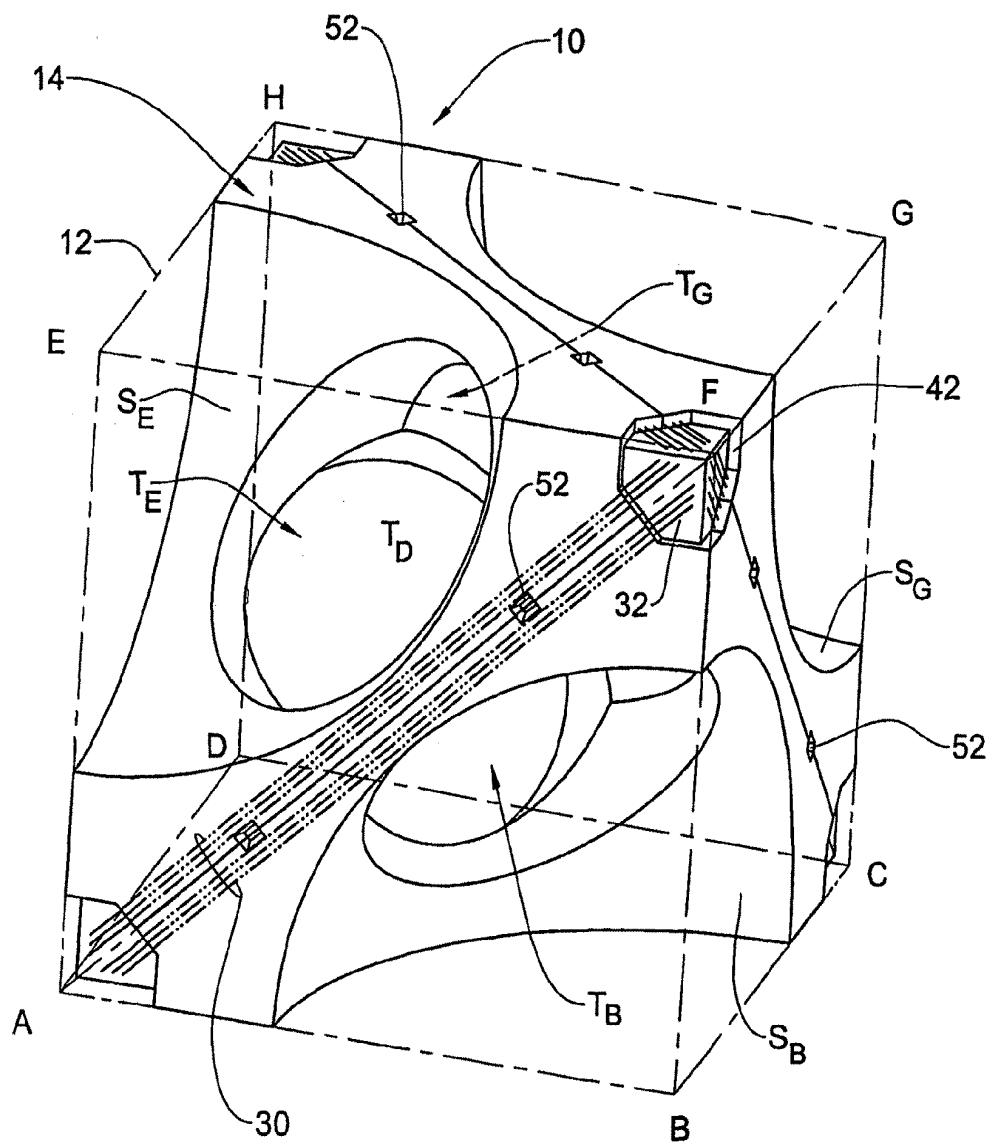


FIG. 1

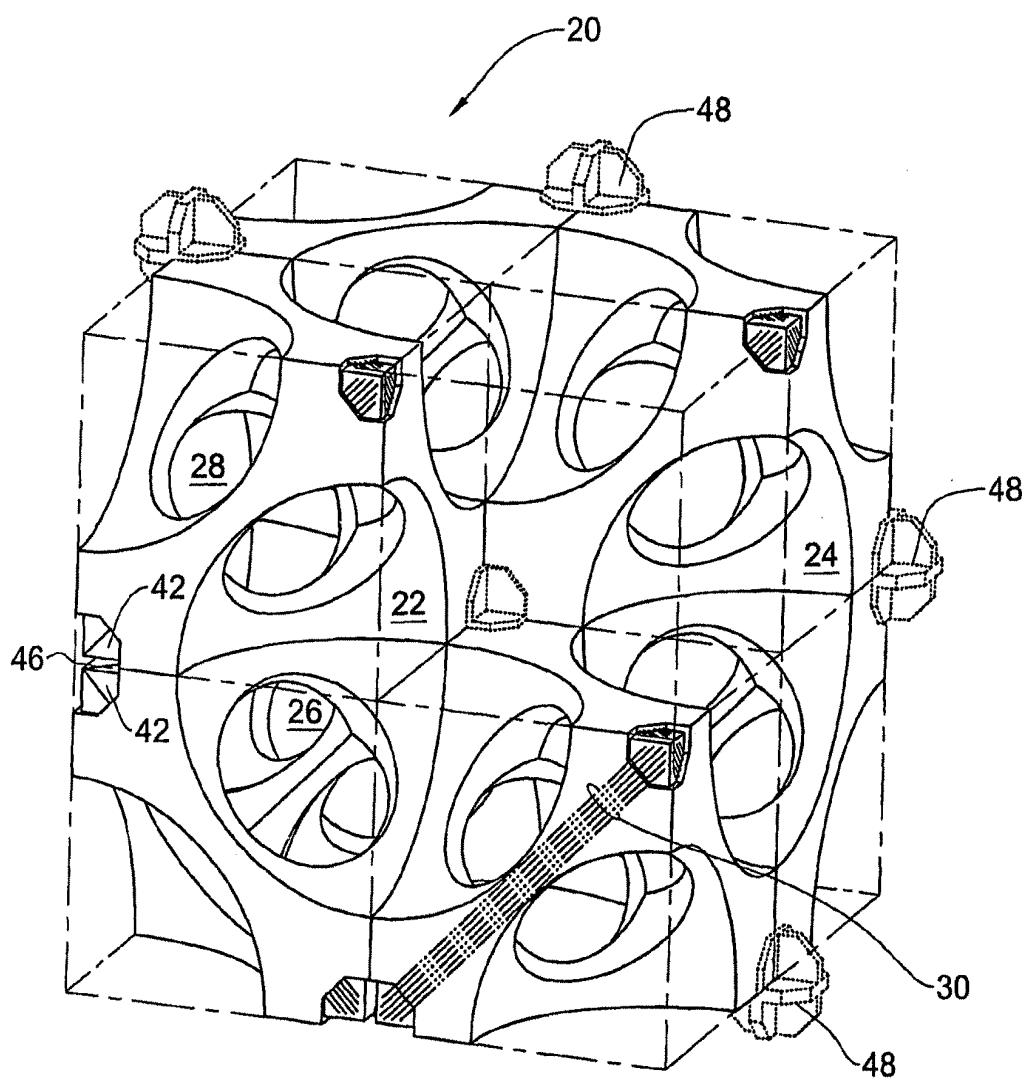


FIG. 2

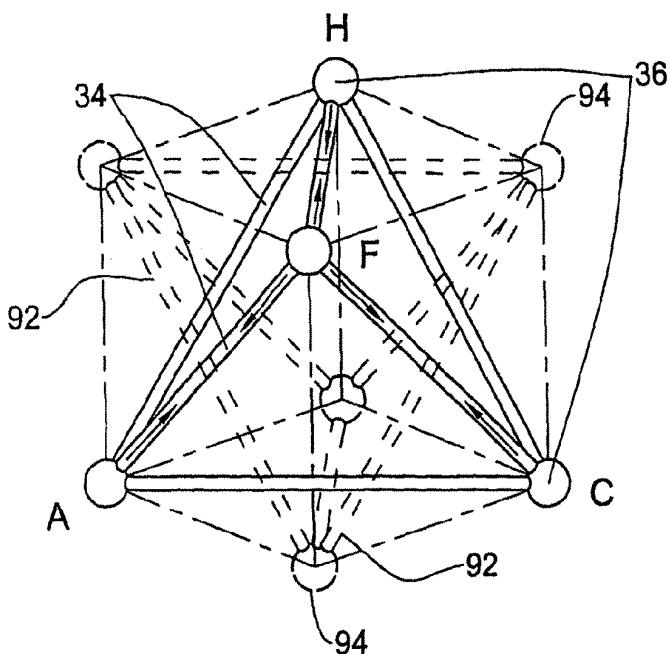


FIG. 3

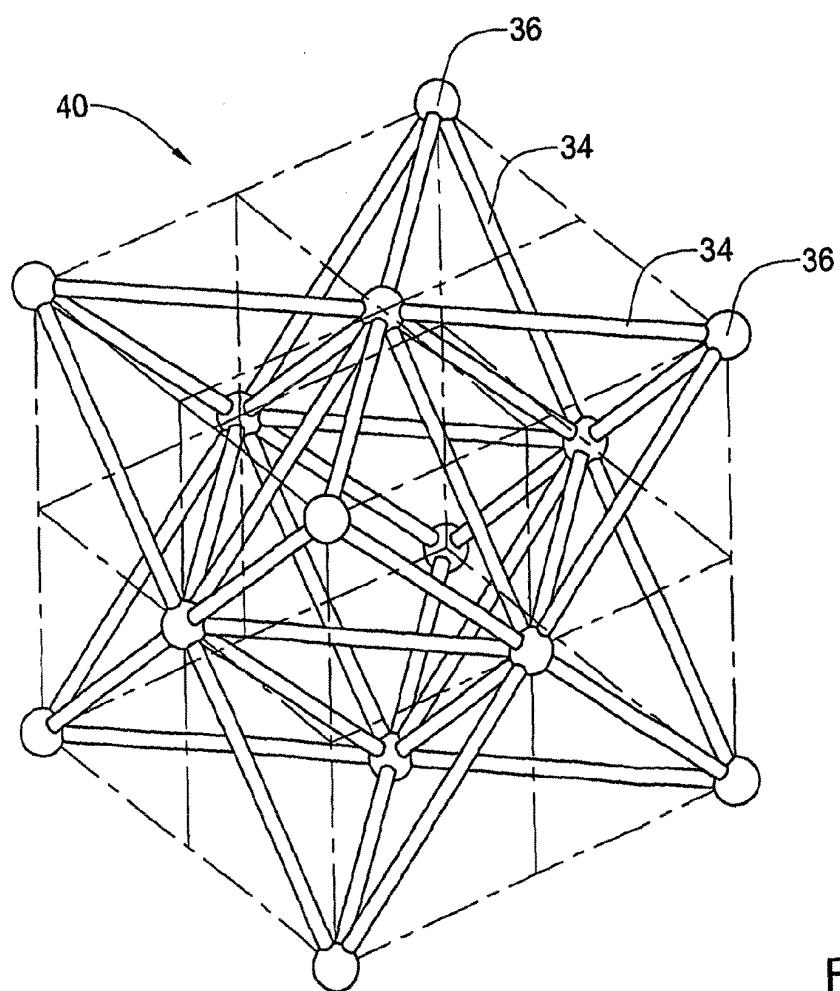


FIG. 4

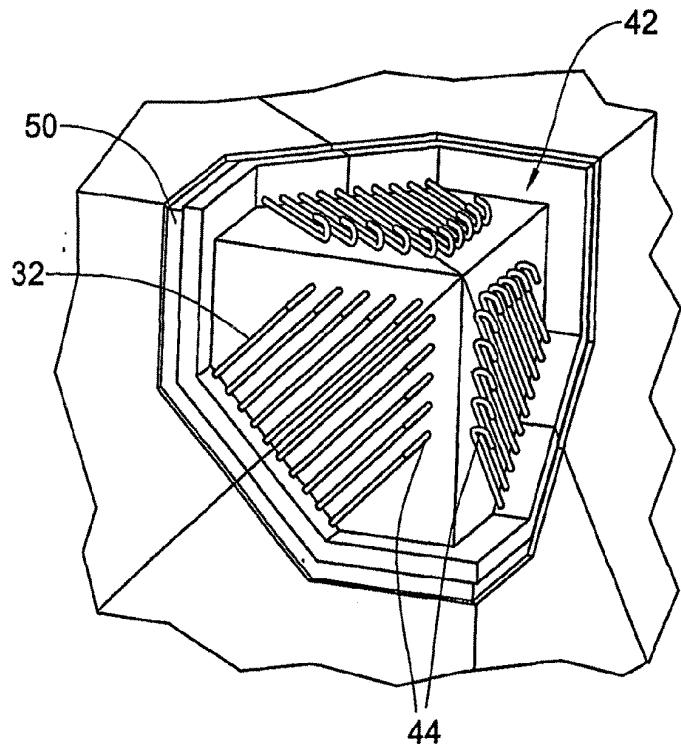


FIG. 5

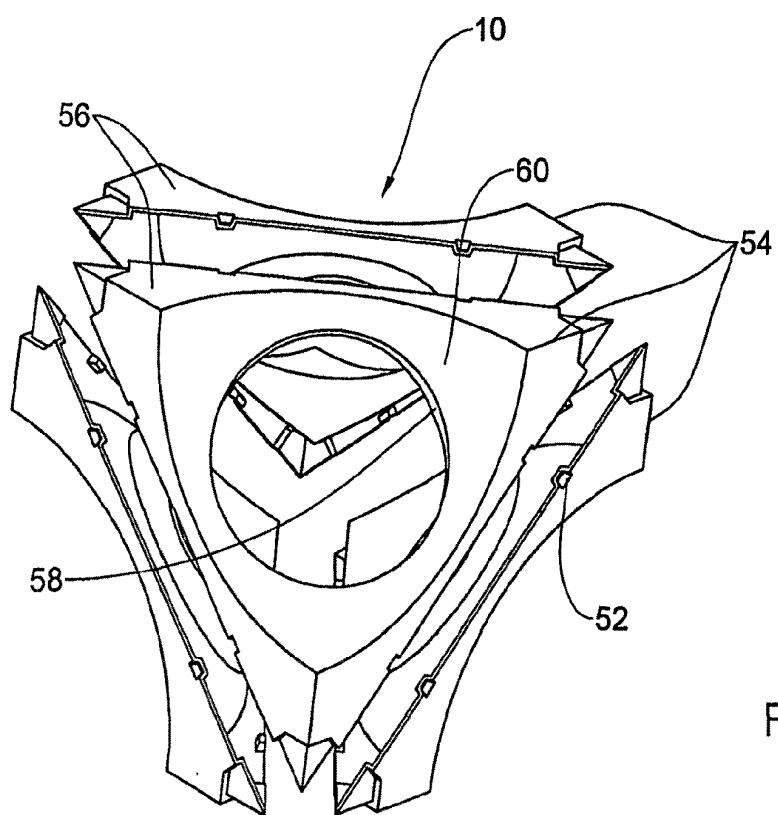


FIG. 6

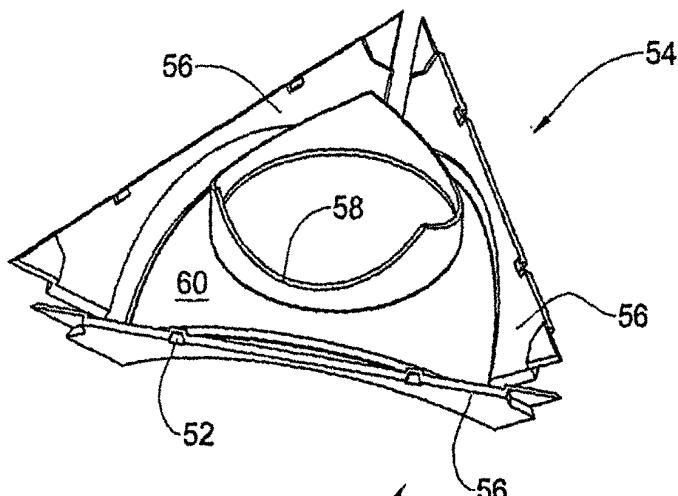


FIG. 7

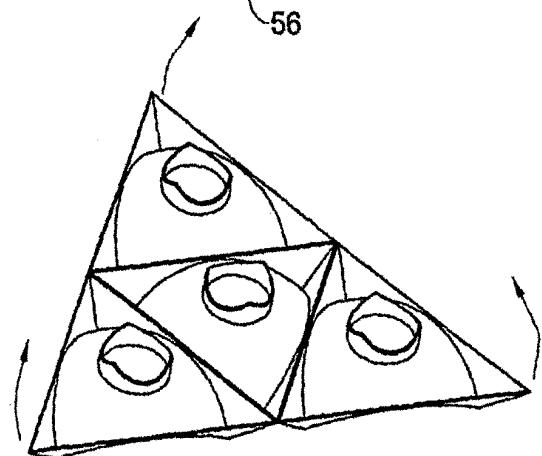


FIG. 8A

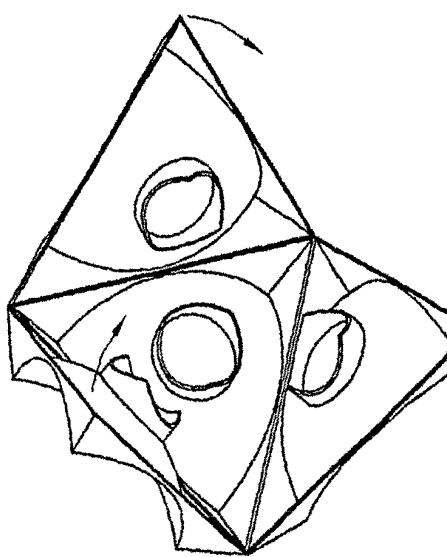


FIG. 8B

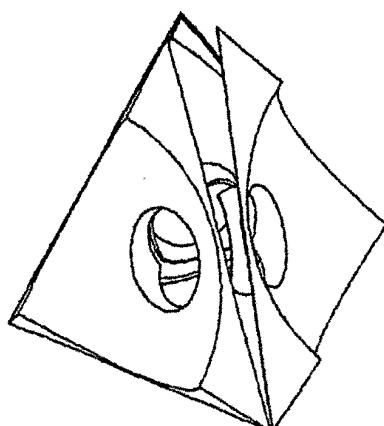
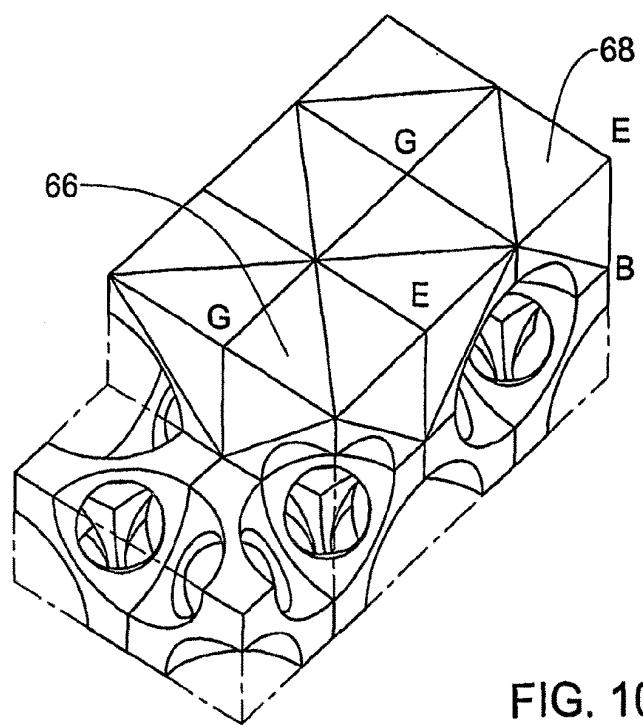
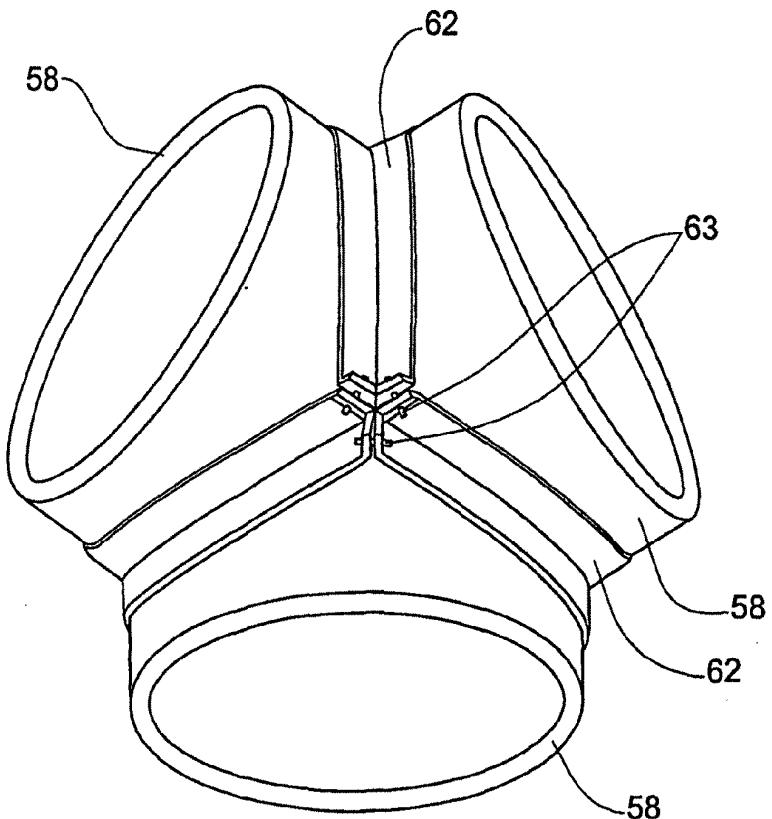


FIG. 8C



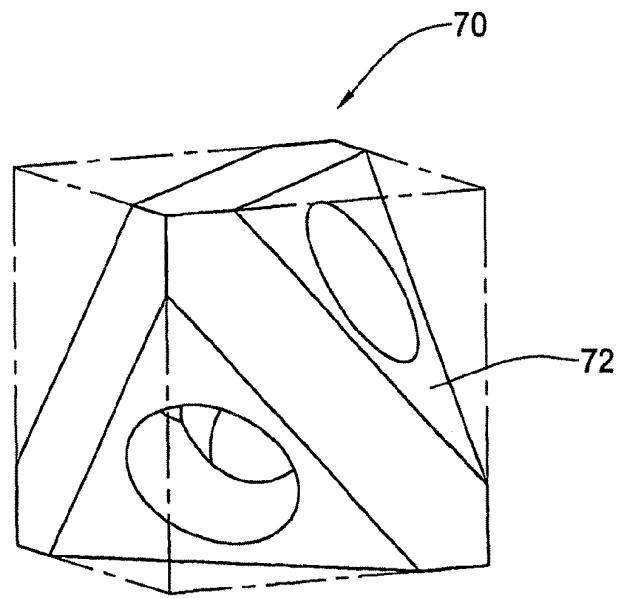


FIG. 11

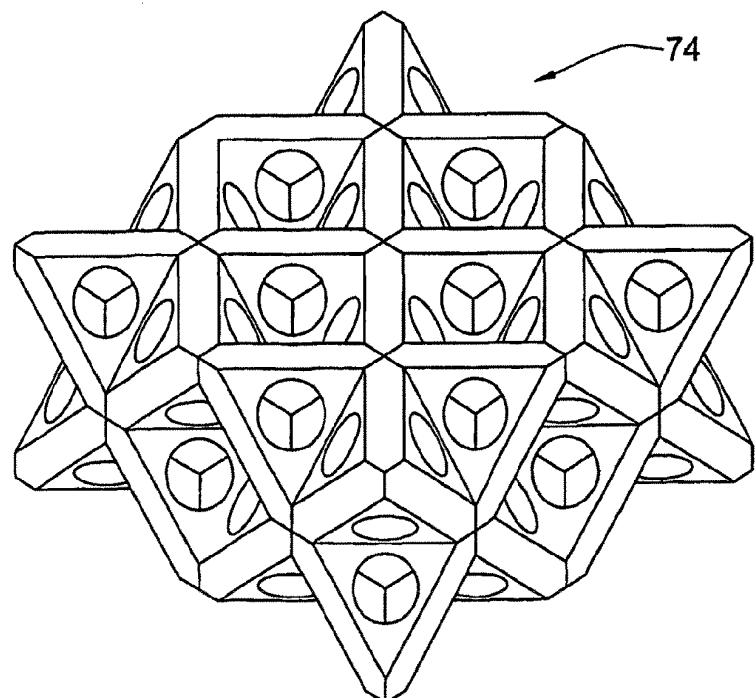


FIG. 12

FIG. 13

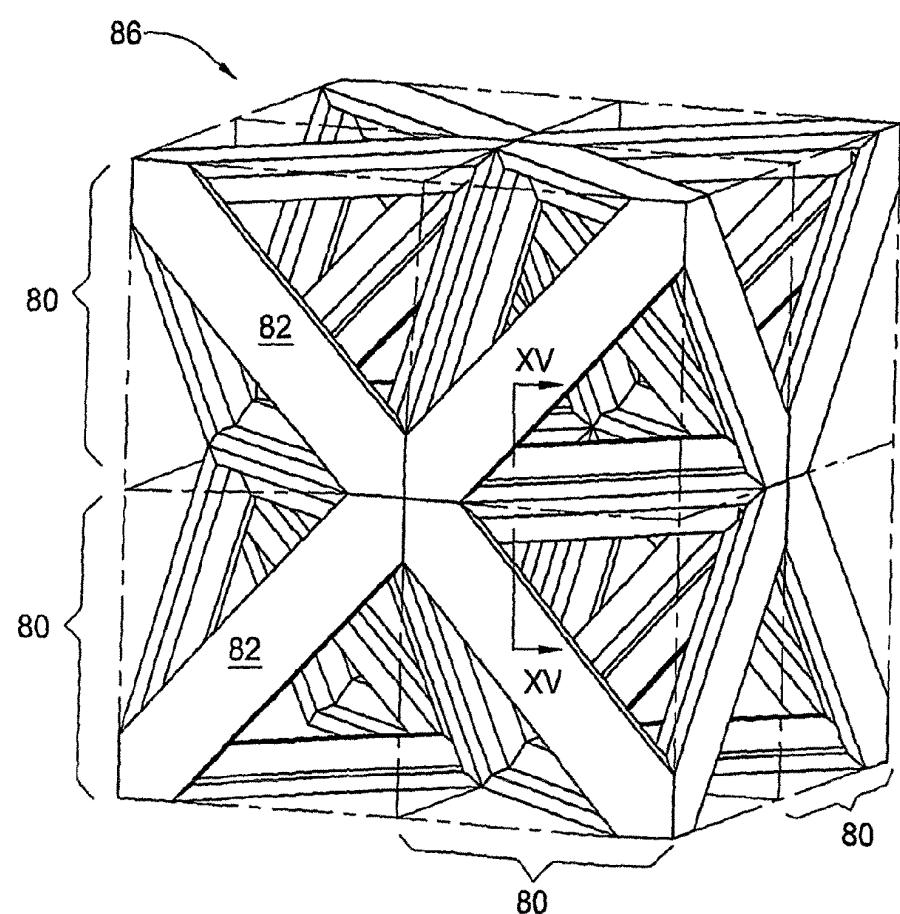
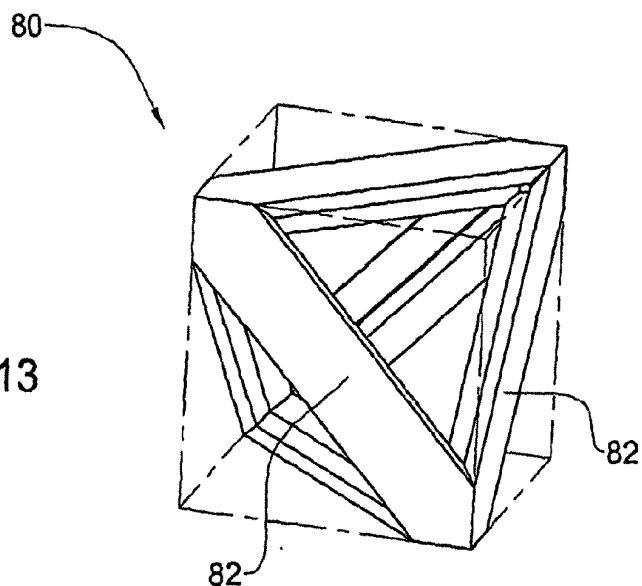


FIG. 14



FIG. 15A



FIG. 15B

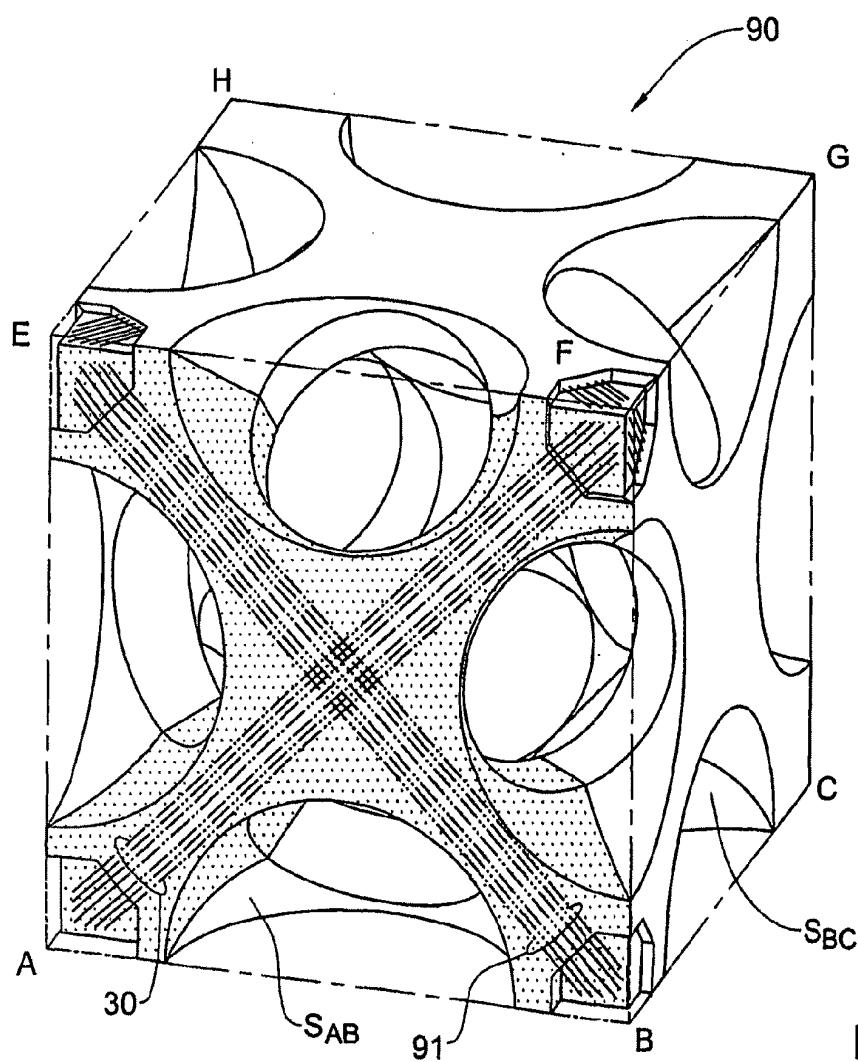


FIG. 16

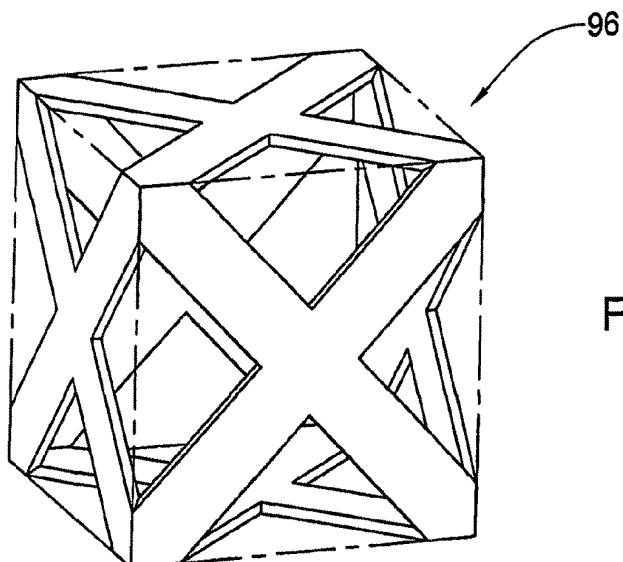


FIG. 17

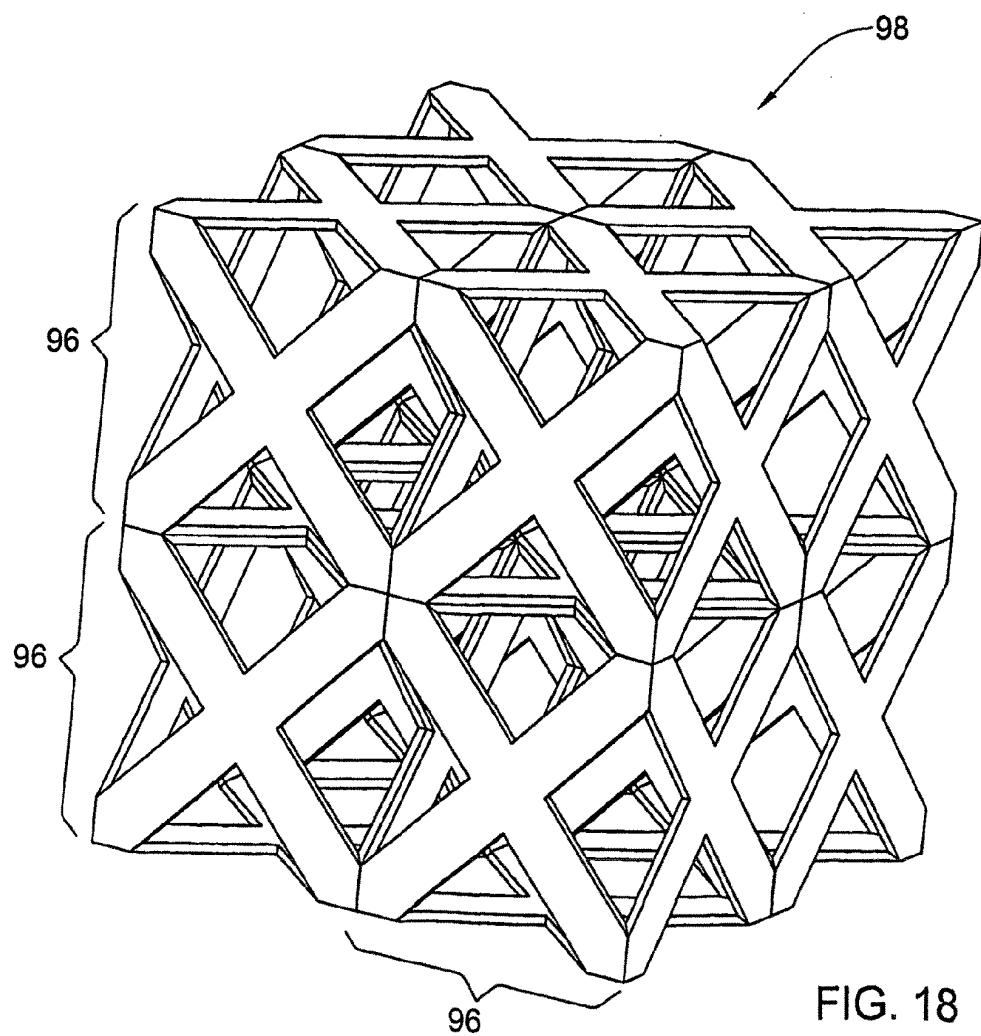
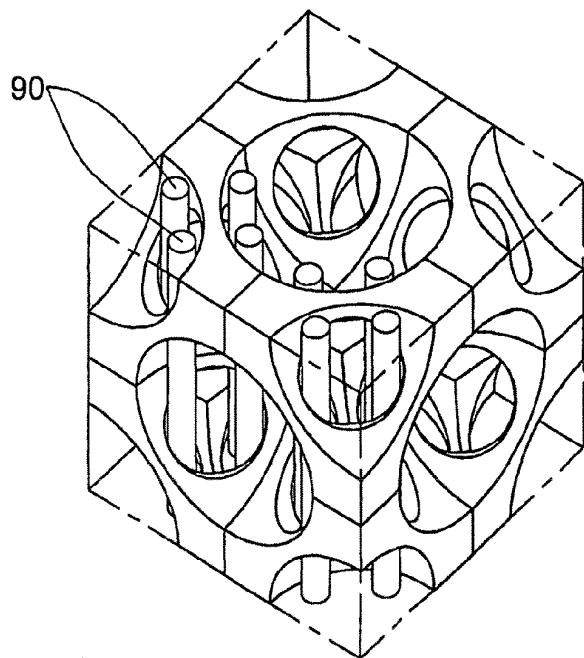
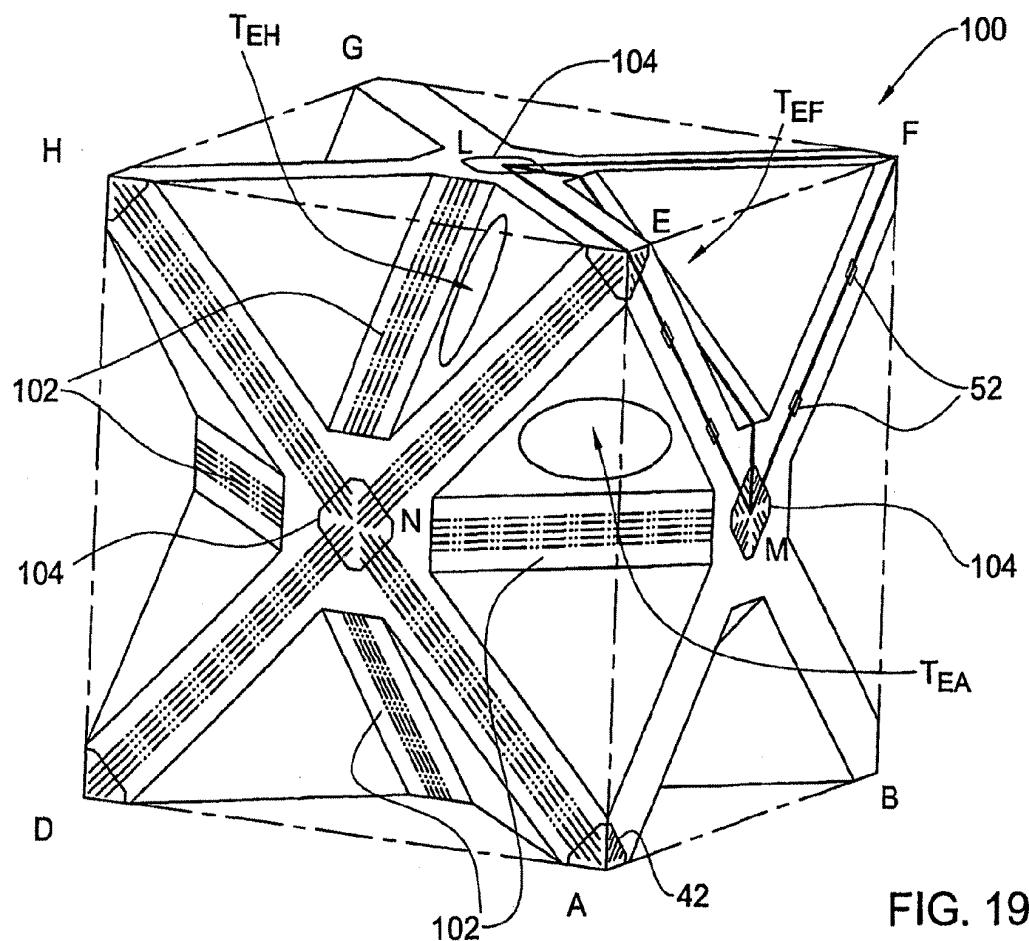


FIG. 18



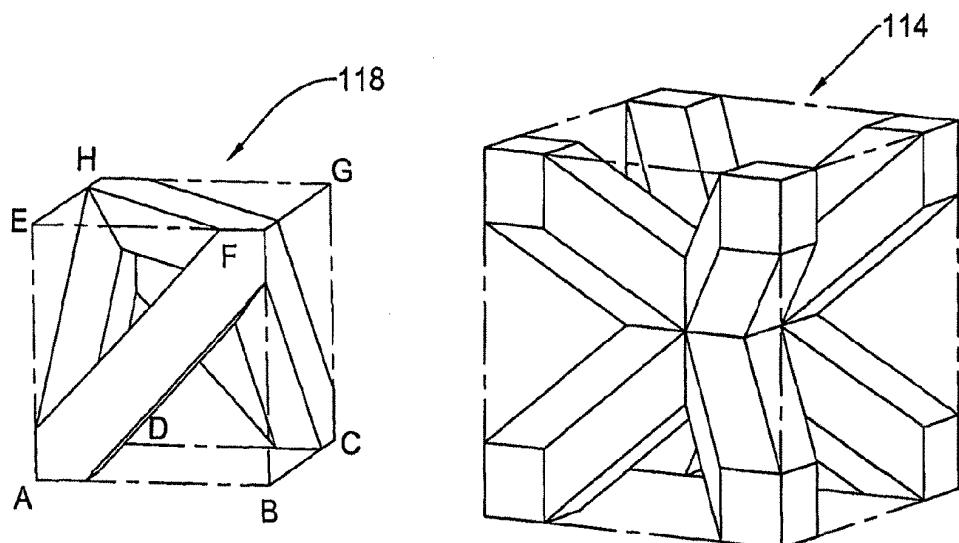


FIG. 22

FIG. 21

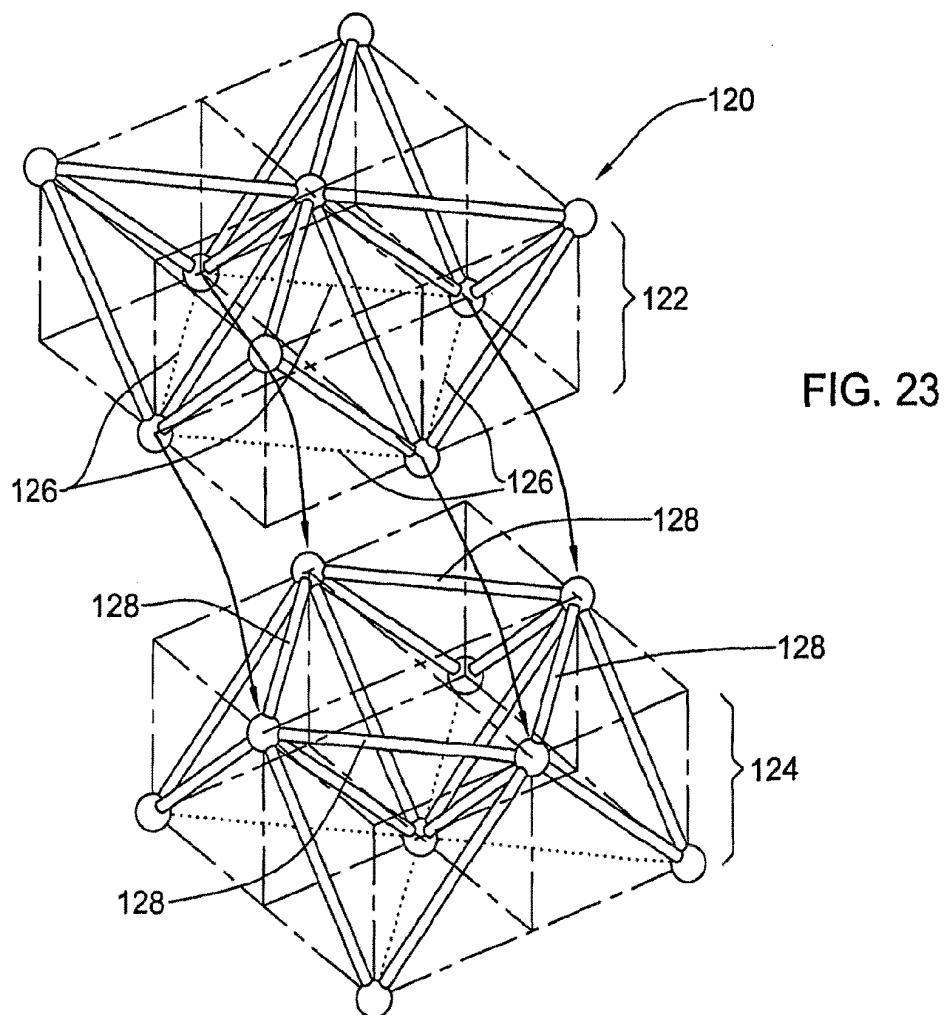


FIG. 23