



267747

**MEMORIA DESCRIPTIVA**  
que se acompaña a la solicitud de una

PATENTE DE INVENCION

por VEINTE años en España, por "CUPULA GEODESICA FORMADA

POR PANELES DISPUESTOS EN RELACION DE SUPERPOSICION ENTRE

SI".

a favor de

RICHARD BUCKMINSTER FULLER

domiciliado en 407 South Forest Street, Carbondale, Illi-  
nois. EE.UU.

INVENTOR: El solicitante de nacionalidad norteamericana  
PRIORIDAD: Solicitud de Patente USA N° 32.268 del 27-5-60

—AR—

-2- 267747



Esta invención se relaciona con mejoras en la construcción de cúpulas geodésicas, particularmente con referencia a la construcción de cúpulas de peso extremadamente ligero hechas de piezas laminares de cartón o plástico que comprenden láminas de revestimiento interior y exterior delgadas, sujetas a un núcleo, y espaciadas por él, de material fuerte y de gran ligereza, tal como polistireno dilatado.

Cuando tales piezas laminares se disponen en forma superpuesta y se mantienen entre sí por medios adherentes, las tensiones entre dos piezas adyacentes han de transmitirse a través de las caras de las mismas que se encuentran en adherencia directa entre sí. Una pieza tendrá una solapa superpuesta y la otra una solapa subyacente, de manera que la transferencia de tensiones se produce desde la lamina de revestimiento interior de una pieza a la lámina de revestimiento exterior de la otra. El efecto de ello es el de poner a las láminas en cizallamiento. Esta carga de cizallamiento será transmitida al material del núcleo de las láminas compuestas y a través de él a las opuestas láminas de revestimiento, en tanto que los bordes de esas láminas de revestimiento opuestas, es decir los bordes que se extienden opuestamente a las solapas adheridas, no pueden utilizarse para una directa transmisión de las tensiones. Se observa que este problema es peculiar de las estructuras formadas por ese tipo particular de paneles superpuestos que tienen láminas de revestimiento interiores y exteriores con un núcleo espaciador entre ellas. He descubierto yo la forma de tejer conjuntamente las láminas de revestimiento interiores y exteriores de paneles alternados de tal tipo en un diseño fortalecedor que se caracteriza por una mejorada continuidad de las láminas interiores y exteriores extendida a todo lo ancho de la estructura de la cúpula. Una parte de mi descubrimiento a este respecto puede resumirse brevemente como sigue.

#### R E S U M E N

En una cúpula geodésica formada por paneles rómbicos superpuestos,

267747



5 dotados de láminas interior y exterior y de medios espaciadores entre las mismas, los paneles rómbicos se acoplarán de manera que sus solapas superpuestas se hallen siméticamente dispuestas en pares opuestamente colocados. Así, un panel aislado tendrá un par de solapas superpuestas opuestas y un par de solapas subyacentes opuestas. Las porciones superpuestas de los paneles son adherentemente aseguradas entre sí, con la lámina interior de un panel adherida a las láminas exteriores de un par de paneles adyacentes y la lámina exterior del primer panel adherida a las láminas interiores de otro par de paneles adyacentes.

10 Esto crea un "tejido" de las láminas de revestimiento interiores y exteriores, que puede compararse a la trama y urdimbre de un lienzo tejido, y este diseño tejido crea una continuidad en las láminas de revestimiento interiores y exteriores conectadas con cizallamiento. De esta manera, cada panel rómbico compuesto tendrá una cara exterior

15 que soporte tensiones a lo largo de una trayectoria continua, o dirección, y una cara interior que soporte tensiones a lo largo de otra trayectoria o dirección continua. Estas trayectorias sustentadoras de tensiones se hallan de tal manera interrelacionadas en el diseño de conjunto que la resistencia tensil de ambas láminas de revestimiento

20 pueden utilizarse con mayor ventaja a la hasta ahora observada en una estructura geodésica laminar.

He descubierto además la forma de obtener tal diseño de tensiones tejido de modo continuo en una estructura en la que las solapas opuestas de los extremos superiores de los rombos son subyacentes, en tanto que las de los extremos inferiores de los rombos son superpuestas, de manera que la construcción se halla inherentemente tejada para hacer resbalar el agua, al tiempo que proporciona la continuidad de tensiones de las láminas interiores y exteriores tejidas de los paneles.

30 Otras ventajas se obtienen utilizando paneles rómbicos formados por láminas planas incurvadas a lo largo de uno de los ejes de los rom



257747

5           bos formando una estructura omni-triangulada con solapas superpuestas a lo largo de los cuatro bordes de los rombos. Parte o la totalidad de los paneles r6mbicos pueden estar incurvadas con convexidad hacia fuera alrededor de sus ejes cortos, o con concavidad hacia fuera alrededor de sus ejes cortos, o en varias combinaciones de estos tipos de paneles. Y parte o la totalidad de los paneles pueden estar formadas por dos l6minas, de las que la exterior se halle incurvada a lo largo del eje corto con convexidad hacia dentro, de manera que las dos l6minas se unan entre s3 a lo largo de los bordes del rombo y se hallen espaciadas en el centro. Esto tiene por resultado un panel hueco provisto de cuatro caras y seis bordes, un tetraedro irregular de notable solidez y rigidez y dotado adem6s de ventajas a efectos de aislamiento contra el calor y el fr3o.

10           Estas y otras ventajas de mi invenci6n aparecer6n m6s detalladamente expuestas en la siguiente descripci6n del mejor modo por m3 considerado para poner en pr6ctica mi invenci6n.

DESCRIPCION

En los dibujos:

15           La figura 1 es una vista esquem6tica de una esfera sobre la que se muestra el icosaedro y una disposici6n de triple frecuencia de paneles sobre una de las caras del icosaedro esf6rico.

20           La figura 2 es un esquema que abarca aproximadamente el 6rea de los paneles de la figura 1.

25           La figura 3 es una vista frontal de uno de los paneles mostrados en la figura 1, antes de su incurvamiento.

          La figura 4 es un detalle ampliado y en secci6n transversal tomado sobre la l3nea 4-4 de la figura 3 a trav3s de la l3nea de muesca de una de las solapas del panel.

30           La figura 5 es una vista similar a la figura 4, que muestra una solapa doblada en un 6ngulo tal como el asumido cuando el panel se

26747

27 MAY



sujeta a otro adyacente de construcción análoga.

La figura 6 es una vista esquemática en sección transversal extendida a través de una serie de paneles conectados.

5 La figura 7 es una vista desarticulada de un panel doble que comprende un panel exterior incurvado con convexidad hacia fuera alrededor de su eje corto y un panel interior incurvado con convexidad hacia dentro alrededor de su eje largo.

10 Las figuras 8a y 8b son vistas esquemáticas en sección transversal extendidas a través de una serie de paneles dobles conectados del tipo mostrado en la figura 7.

La figura 9 es una vista en perspectiva de seis paneles interconectados, cada uno de los cuales se halla incurvado con convexidad hacia fuera alrededor de su eje corto.

15 La figura 10 es una vista similar, en la que tres de los paneles se hallan incurvados con concavidad hacia fuera alrededor de sus ejes largos.

La figura 11 es una vista similar de otra disposición de tres paneles convexos y tres paneles cóncavos.

20 La figura 12 es una vista en proyección vertical lateral de  $5/8$  de esfera construída de acuerdo con la disposición de paneles ilustrada en la figura 1, en la que todos los paneles están incurvados con concavidad hacia fuera alrededor de sus ejes largos.

25 La figura 13 es una vista en proyección vertical lateral de  $1/2$  de esfera que tiene una idéntica construcción de paneles a la de la figura 12, pero con la línea de truncamiento de la base producida como se muestra en la figura 1 en la línea designada por "1/2".

La figura 14 es una vista en proyección horizontal de la estructura de la figura 12, tomada en el sentido señalado por 14-14 en la misma.

30 La figura 15 es una vista en proyección horizontal de la estructura de la figura 13, tomada en el sentido señalado por 15-15 en la misma.



26774

La figura 16 es una vista en proyección vertical lateral de una estructura que comprende  $5/8$  de extremos esféricos, comprendiendo cada uno la mitad de los  $5/8$  de esfera de la figura 12 y una sección central que comprende dos segmentos esféricos que duplican un segmento truncado y extendidos entre la línea de truncamiento, designada por " $3/8$ " y " $5/8$ " en la figura 12.

La figura 17a es una esfera en  $5/8$  que incorpora la disposición de paneles de frecuencia triple de la figura 9 con una disposición modificada de las solapas superpuestas entre los paneles, y sobre la que va superpuesta una representación esquemática de las trayectorias continuas de tensiones transmitidas por las láminas de revestimiento interiores y exteriores de los paneles entrelazados.

La figura 17b es una vista esquemática desarticulada, en perspectiva de una agrupación particular de paneles dentro de una estructura similar a la mostrada en la figura 17a.

La figura 18 es una vista esquemática de una esfera truncable indistintamente en  $3/8$ ,  $1/2$  y  $5/8$  de esfera, que muestra una disposición de frecuencia cuádruple de paneles del tipo que es incurvado con concavidad hacia fuera alrededor de su eje largo.

La figura 19 es un esquema que abarca aproximadamente el área de los paneles de la figura 18.

La figura 20 es una vista en perspectiva de paneles similares a los mostrados en la figura 18, con la excepción de que son del tipo que es incurvado con convexidad hacia fuera alrededor del eje corto.

La figura 21 es una vista similar que muestra una combinación de paneles de convexidad y concavidad hacia fuera.

La figura 22 es una vista similar que muestra otra combinación de paneles de convexidad y concavidad hacia fuera.

La figura 23 es una vista en perspectiva de  $5/8$  de esfera de frecuencia cuádruple que muestra una modificación en la disposición super



267747

puesta de los paneles.

La figura 24 es una vista en proyección horizontal de los 5/8 de esfera de frecuencia cuádruple de la figura 25, tomada en el sentido que se señala por 24-24 en dicha vista.

5

La figura 25 es una vista en proyección vertical lateral de los 5/8 de esfera de la figura 24.

10

La figura 26 es una vista en proyección vertical lateral de una estructura alargada provista de extremos de 5/8 de esfera, formado cada uno por la mitad de la estructura mostrada en la fig. 25 y una sección central que comprende dos segmentos que duplican un segmento truncado y se extienden entre las líneas de truncamiento designadas por "3/8" y "5/8" en la fig. 25.

Construcción geodésica truncable.

15

En la fig. 1 las líneas de rayas 1 representan un icosaedro esférico que comprende veinte triángulos esféricos equiláteros, cuyos lados son círculos grandes de la esfera. Si consideramos el punto S como el cenit, los cinco triángulos esféricos cuyos vértices se unen en el cenit se denominan a veces por "icosacap". Las cinco grandes líneas circulares que irradian de S pueden considerarse como los bordes

20

de los triángulos esféricos, es decir, las intersecciones con una esfera de planos que pasan a través del centro de la misma y que contienen al punto S, o como cuerdas o módulos cordales de tales intersecciones de grandes círculos. Las líneas de rayas 2 que forman los bordes periféricos del "icosacap" se muestran en la figura 1 como módulos

25

cordales de grandes círculos. La estructura del icosaedro esférico es conocida en el arte de las estructuras geodésicas y se ha descrito en mi patente núm. 2.682.235, concedida el 29 de junio de 1954, conjuntamente con una descripción de mi rejilla de tres direcciones, de acuerdo con la cual cada uno de los triángulos esféricos comprendidos en el icosaedro esférico se halla subdividido en triángulos

30

26 774 7



5        sensiblemente equiláteros o rombos. De acuerdo con un aspecto de mi presente invención, la estructuración de la rejilla de tres direcciones se modifica de una manera que proporciona el truncamiento de la esfera a lo largo de unas líneas que produzcan la mitad de una esfera, tres octavos de esfera o cinco octavos de esfera sin incrementar de ninguna manera el número de los diferentes tipos de paneles usados en la construcción, formándose una línea básica coplanar por los bordes de los paneles rómbicos o semipaneles formados por la división de un panel en dos sobre uno u otro de sus ejes.

10        Se hará particular referencia al hecho de que los módulos cordales de las líneas de truncamiento designadas por "3/8" y "5/8" en la fig. 1, considerados en un aspecto, aparecen como módulos cordales de círculos menores. Sin embargo, mediante construcción sobre el icosaedro esférico en el que todos los vértices, y por consiguiente ambos ejes, de los paneles rómbicos se extienden en grandes planos, esos módulos cordales se extienden en realidad en planos que pasan a través del centro de la esfera cuyas intersecciones con ésta describen grandes arcos de círculo. El fenómeno del truncamiento puede describirse como el aspecto "inadvertido" de pequeños círculos o "paralelos de latitud" en las líneas de truncamiento de tres octavos y cinco octavos que se producen, sin embargo, como incidentes de construcción de círculo grande verdadero, es decir, geodésica.

15        Con referencia a la figura 2, describiré seguidamente la forma de obtener, en una descomposición de frecuencia triple, el diseño particular de rejilla de tres direcciones que determinará los diversos planos de truncamiento antes descritos y permitirá una notable sencillez de composición en el sentido de que la totalidad de la estructura puede acoplarse partiendo solamente de dos tipos de piezas. Esta vista es un esquema de uno de los triángulos RST del icosaedro esférico correspondiente al triángulo RST de la fig. 1. El triángulo esférico

267747



se muestra en líneas de rayas. Superpuestos sobre los bordes del triángulo esférico hay módulos cordales del mismo designados por A y B. Las cuerdas C cortan la esfera en el centro del triángulo esférico y en los puntos en que los extremos coincidentes de las cuerdas A y B cortan a la esfera. Las cuerdas D cortan a la esfera en los puntos de intersección de las cuerdas A, B y C. La cuerda E forma el eje mayor de aquél de los tipos de rombos cuyo eje menor se extiende en el plano circular grande que contiene uno de los lados (ST) del triángulo esférico. En la fig. 1, E = E = E. Así, los seis paneles rómbicos comprendidos dentro de la zona sombreada de la fig. 1 constan de dos tipos, representándose uno de ellos, el 3 por el sombreado más oscuro, y el otro, el 4, por el más claro.

Dado el diámetro de la esfera sobre la que se ha de construir la deseada cúpula geodésica, las dimensiones críticas de los paneles rómbicos se determinan como sigue para las cuerdas designadas con referencia a la fig. 2:

A = 0,32968

B = 0,44112

C = 0,42154

D = 0,38216

E = 0,71364

Multiplíquese cada uno de estos factores por el radio de la cúpula deseada expresado en las unidades que se deseen, tales como pies, pulgadas, metros o centímetros. El producto dará las longitudes de las cuerdas de acuerdo con las unidades de medidas elegidas, proporcionando así las dimensiones de las longitudes de los lados de cada uno de los dos tipos de rombos. En el caso del rombo cuyo eje mayor se muestra en E en la fig. 2, las dimensiones del par exterior de lados derivan de las longitudes de las otras cuerdas según determinación anterior.

Construcción del panel.



Las figs. 3, 4 y 5 ilustran la construcción de uno de los paneles de los que se toma como representativo el tipo 3. Los paneles comprenden láminas interiores y exteriores 5 y 6 y medios espaciadores 7 entre las láminas. Las láminas de revestimiento interiores y exteriores 5 y 6 pueden hacerse de cualquier material adecuado tal como cartón, lámina metálica, plástico, etc. El material espaciador o núcleo 7 se hace preferiblemente de algún material espumado tal como polistireno dilatado, si bien pueden emplearse otros tipos de material de relleno, tal como una lámina ondulada. Una lámina compuesta preferida es aquella formada por un núcleo de polistireno dilatado con forros o láminas de revestimiento de papel kraft, material conocido por "Tome-Cor". El papel kraft o cartón puede ser impermeabilizado contra el agua y reforzado por un plástico u otro revestimiento. Los compuestos que emplean los núcleos de polistireno dilatado han demostrado poseer unas características excepcionalmente buenas para la construcción de cúpulas de acuerdo con mi presente invención, proporcionando láminas duras, rígidas y de un peso extremadamente ligero. Cada panel 3 (y 4) es de la forma rómbica general mostrada en la fig. 3 y tiene 4 solapas 8 extendidas a lo largo de sus márgenes, cuyas solapas proporcionan los medios para la fijación a paneles adyacentes. Estos pueden estar ranurados como en 9, fig. 4, a lo largo de las líneas de las cuerdas A, C, etc., que definen los bordes del panel propiamente dicho y las líneas de pliegue de las solapas 8. Cada panel puede estar también ranurado a lo largo del eje mayor o del menor del rombo, indicado por las líneas de rayas y puntos de la fig. 3. Así, en la fig. 1, cada uno de los paneles 4 está ranurado e incurvado alrededor de su eje largo representado por la cuerda E a la que anteriormente se ha hecho referencia, cuyo pliegue se extiende en la dirección que produce una concavidad hacia afuera en la superficie de la cúpula. (En la fig. 1, todos los paneles mostrados se hallan incurvados con concavidad

774



hacia afuera alrededor de sus ejes largos).

5 La fig. 6 muestra una serie de paneles conectados de esta configuración. Las líneas de ranurado de paneles adyacentes se disponen en yuxtaposición, proporcionando un doble espesor en la estructura del panel en la curvatura de la unión entre ellos. Los paneles se aseguran adherentemente entre sí.

He comprobado que un adhesivo de tipo de contacto tal como un adhesivo a base de neopreno es adecuado para esta construcción.

Paneles tetraédicos.

10 Parte o la totalidad de los paneles puede estar formada por dos láminas 3 y 3', fig. 7, incurvándose la lámina 3 con una convexidad hacia adentro alrededor de su eje largo y la lámina 3' con una convexidad hacia afuera alrededor de su eje corto, según se ilustra. Las solapas de los dos paneles son aseguradas adherentemente entre sí. Esto  
15 tiene por resultado un panel hueco provisto de un cuatro caras y seis bordes, un tetraedro irregular de gran solidez y rigidez que proporciona aislamiento contra el calor y el frío. El panel exterior 3' puede tener su extremo inferior cortado en la línea b, y el panel interior su extremo superior cortado en la línea a, formando una ventilación  
20 inafectada por las inclemencias exteriores en la estructura. Las figs. 8a y 8b muestran una serie de paneles dobles conectados de la forma que se ilustra en la fig. 7, con la excepción de que algunos de los paneles serán del tipo general 3 y otros del tipo general 4, con referencia a la precedente descripción de estos tipos generales. Cuando  
25 los paneles dobles se forman conectando los paneles individuales en orden alternativo, por ejemplo, el panel 3' con el panel 4' con el panel 3 con el panel 4, como se muestra en la fig. 8b, se consigue una construcción entrelazada particularmente resistente.

Paneles "interiores" y "exteriores".

30 Las figs. 9, 10 y 11 ilustran diversas disposiciones diferentes de



1747

los paneles de los tipos 3 y 4, hallándose incurvados algunos de tales paneles alrededor de sus ejes cortos y otros alrededor de sus ejes largos. Así, la fig. 9 muestra un grupo de paneles 3' y 4', todos ellos incurvados en forma convexa hacia afuera. En la fig. 10, algunos de los paneles, concretamente los designados por 3, se hallan incurvados con concavidad hacia afuera alrededor de sus ejes largos. En la disposición de la fig. 11, los paneles de concavidad hacia afuera 3 de la construcción de la fig. 10 están sustituidos por paneles 3' de convexidad hacia afuera, en tanto que los paneles 4' de convexidad hacia afuera de la fig. 10 con sustituidos por paneles 4 de concavidad hacia afuera, mostrando la completa intercambiabilidad de las formas cóncavas y convexas. Igualmente, puede considerarse que la construcción mostrada en cada una de las figs. 9, 10 y 11 puede comprender paneles dobles de la forma ejemplificada en la fig. 7. Para simplificar la descripción, si denominamos a los paneles de convexidad hacia afuera por "exteriores", los paneles de concavidad hacia afuera por "interiores", y la combinación de estas dos formas por "dobles", este aspecto de mi invención puede resumirse como inclusivo de todas las siguientes y posibles combinaciones:

1. Todos "interiores".
2. Todos "exteriores".
3. Todos "dobles". (Interiores y exteriores).
4. Parte "interiores", parte "exteriores".
5. Parte "interiores", parte "dobles".
6. Parte "exteriores", parte "dobles".
7. Parte "interiores", parte "exteriores", parte "dobles".

Cúpulas geodésicas alargadas (parte 1).

En las figs. 12 y 14 vemos cinco octavos completados de una esfera construida de la manera que he descrito con referencia a las figs. 1 a 5 inclusive.

267747



Las figs. 13 y 15 representan la misma construcción aplicada a media esfera troncada como se muestra en la línea designada por "1/2" de la fig. 1.

5 Si tomamos la estructura mostrada en la fig, 12 y la dividimos en dos a lo largo de la línea designada por A-B (o A'-B'), se revela otro aspecto de la capacidad de truncamiento de la cúpula. Esto produce dos secciones medias de cinco octavos de esfera, ABC y A'B'C'. En la fig. 16 vemos una de estas secciones ABC a la derecha y la otra, A'B'C', a la izquierda, habiéndose girado la primera 90° en la dirección de las manecillas del reloj desde la posición mostrada en la fig. 12, y la otra 90° en dirección opuesta. Entre los planos BC y B'C' de la fig. 16, tenemos una sección central BB'C'C que comprende dos segmentos esféricos que duplican un segmento truncado y extendidos entre las líneas de truncamiento designadas por "3/8" y "5/8" en la fig. 12. En la cúpula completada de la fig. 16, la sección central ofrece el aspecto de ser de forma generalmente cilíndrica, pero por la exposición que anteriormente se ofrece, se entenderá que está formada en realidad por dos segmentos de una cúpula geodésica. Así, he descubierto una forma mediante la cual puede extenderse o "alargarse" la esfericidad para producir cúpulas geodésicas alargadas. Si se desea, puede omitirse de la construcción de la fig. 16 la sección central BB'C'C y agruparse las porciones terminales de la misma con una coincidencia de los planos BC y B'C' que produzca una estructura alargada bastante más corta de lo que se muestra en esta vista del dibujo. 0, según otra variante posible, se pueden emplear dos o más de las secciones BB'C'C para producir una estructura geodésica en túnel de cualquier longitud deseada. También, separando la semisección de cinco octavos de esfera que se extiende a la izquierda del plano B'C' de la fig. 16 y considerando este último plano como la base de la estructura restante, tenemos la mitad de una estructura análoga a la de un si

10

15

20

25

30

267747



lo que emparejara con otra estructura de idéntica forma a lo largo del plano AB' para producir una torre <sup>provista</sup> de una cima de cinco octavos de esfera y paredes generalmente cilíndricas. Estas diversas construcciones poseen en común una sección media generalmente cilíndrica dotada de los atributos principales de la verdadera construcción geodésica en cuanto a sus posibilidades únicas de utilización máxima de las propiedades tensiles de los materiales y la provisión de una relación entre peso y resistencia más favorable que lo conseguido hasta ahora con el empleo de ideas convencionales en la construcción de edificios.

Tejido de solapas superpuestas de paneles.

Con referencia de nuevo a la fig. 6, se observará que los paneles 3 tienen solapas subyacentes, en tanto que el panel 4 tiene solapas superpuestas. De aquí que la transferencia de tensión en el plano de la superficie de la estructura se produzca entre la lámina de revestimiento interior del panel 4 y las láminas de revestimiento exteriores de los paneles adjuntos 3. El efecto de esto es la colocación de las láminas de los paneles en cizallamiento, siendo transmitida la carga de cizallamiento al material del núcleo de las láminas compuestas y a través de él, a las láminas de revestimiento opuestas. Los bordes de estas láminas de revestimiento opuestas, es decir, los bordes que se extienden opuestamente a las solapas adheridas, no pueden utilizarse para una directa transmisión de las tensiones. Este problema es peculiar en las estructuras formadas por aquel tipo particular de paneles superpuestos que tienen láminas de revestimiento interiores y exteriores con un núcleo espaciador entre ellas. Esto, nos lleva a aquel aspecto de mi invención que se relaciona con mi descubrimiento de la forma de tejer conjuntamente las láminas de revestimiento interiores y exteriores de paneles alternados en un diseño reforzador que se caracteriza por una perfeccionada continuidad de las láminas interiores y exteriores extendida sustancialmente a

267747



través de toda la estructura de la cúpula, como seguidamente se explicará con referencia a las figs. 17a y 17b. En ellas, las láminas de los paneles rombicos se acoplan de tal manera que sus solapas superpuestas se hallan simetricamente dispuestas en pares opuestamente extendidos. Así, un panel simple 3' tendrá un par de solapas opuestamente superpuestas 8 y un par de solapas opuestamente subyacentes 8'. Las porciones superpuestas de los paneles son adherentemente aseguradas entre sí con la lámina interior del panel 3' adherida a las láminas exteriores de un par de paneles adyacentes 4' y con la lámina exterior del panel 3' adherida a las láminas interiores de otro par de paneles adyacentes 4". Así, conseguimos una directa transferencia de tensiones entre la lámina interior del panel 3' y las láminas exteriores de los paneles 4' a lo largo de una trayectoria representada esquemáticamente por la línea 10 (fig. 17b). Análogamente, hay una directa transferencia de tensiones desde la lámina exterior del panel 3' a las láminas interiores de los paneles 4" según se representa esquemáticamente por la línea 11, que muestra un tejido transversal del trazado de tensiones. Las trayectorias de tensión 10 y 11 están formadas por líneas continuas en los casos en que la tensión se produce en la lámina exterior del trazado, y por líneas discontinuas en los casos en que la tensión se produce en las láminas interiores. Estas trayectorias de transferencia de tensiones crean un "tejido" de las tensiones en las láminas de revestimiento interiores y exteriores que puede compararse a la urdimbre y la trama de un lienzo tejido, y este trazado tejido produce una continuidad en las láminas de revestimiento interiores y exteriores conectadas con cizallamiento que se extienden sustancialmente a través de toda la estructura de la cúpula. Las trayectorias entrecortadas de las tensiones crean una rejilla de tres direcciones de líneas de tensión, hallándose interrelacionadas de tal manera en el trazado completo que la resistencia tensil de ambas láminas de



rovestimiento pueda utilizarse más eficazmente en lo que parece ser una nueva sinergia que complementa el fenómeno sinérgico fundamental reconocido por los científicos y los constructores como familiar en la actual construcción de edificios geodésicos y estrategia.

5 Otra ventaja de los trazados de tejido de tensiones entrelazadas, ejemplificados en las figs. 17a, 17b y 23 puede explicarse con referencia a la fig. 6, que muestra la manera, con referencia a un panel 3 seleccionado, en que las tensiones de las láminas interiores de dos paneles adyacentes 4 crean un impulso hacia adentro en los bordes superpuestos del panel 3, según sugieren las flechas i, en tanto que 10 las tensiones de las láminas exteriores de otros dos paneles adyacentes (uno por encima y otro por debajo del plano del dibujo y por consiguiente no mostrados en la fig. 6, pero comparables a los dos juegos de paneles adyacentes 4' y 4'' de la fig. 17b) crean una tracción hacia afuera en los bordes subyacentes del panel 3, según sugieren las 15 flechas o. Los impulsos hacia adentro y hacia afuera entrelazados en un panel determinado, ejercen tensiones compresivas en el material del núcleo 7 del panel y se ha comprobado que la combinación de tales impulsos hacia adentro y hacia afuera ejerce un efecto constreñidor que 20 tiende a atraer los bordes del panel entre si, de manera que las láminas de revestimiento interiores y exteriores del panel resulten bastante limitadas en cuanto a su tendencia a separarse. Comparense también las flechas i y o de la fig. 8.

25 En la fig. 18 he expuesto la forma de obtener un trazado continuo de tensiones tejidas en una estructura en la que las solapas opuestas en los extremos superiores de los rombos son solapas subyacentes, mientras que las de los extremos inferiores de los rombos son solapas superpuestas, de manera que la construcción se halla inherentemente tejada para hacer resbalar el agua, al mismo tiempo 30 que proporciona la continuidad de tensiones de las tejidas láminas



interiores y exteriores de los paneles. Las trayectorias de las líneas continuas de tensión se indican esquemáticamente mediante las diversas líneas 12. Tenemos aquí un par de solapas subyacentes opuestas 13 y un par de solapas superpuestas y opuestas 13'.

5 En la construcción de la fig. 18, todos los paneles están incurvados con concavidad hacia afuera alrededor de sus ejes largos. En la fig. 20, se obtiene el mismo tejido de trazados de tensiones en una construcción tejada con el empleo de paneles incurvados con convexidad hacia afuera alrededor de sus ejes cortos, es decir, todos los paneles son  
10 "exteriores", para emplear la abreviada terminología anteriormente adoptada.

La fig. 21 utiliza el mismo trazado de tejido de tensiones y entejado en una construcción que comprende una combinación de exteriores e interiores.

15 La fig. 22 ilustra una diferente combinación de exteriores e interiores. Como en la exposición recedente, se entiende que siempre que se describan exteriores, el dibujo puede interpretarse como ilustrativo de exteriores o una combinación de exteriores e interiores ("dobles")  
20 con referencia a la construcción de paneles dobles descrita a propósito de la fig. 7.

La fig. 23 ilustra otra modificación de la disposición de los paneles y de sus solapas superpuestas. Como anteriormente, un panel aislado tiene un par de solapas superpuestas opuestas y un par de solapas subyacentes. Las trayectorias de transferencia directa de tensiones  
25 superficiales aparecen esquematizadas por las líneas 14 y 15 entrelazadas en un diseño de tejido continuo.

Recapitulando con relación a las figs. 17 a 23 inclusive, puede decirse que la fig. 17 tipifica un trazado de tejido de tensiones en una  
30 cúpula de frecuencia triple, en tanto que las figs. 18 a 23 inclusive ejemplifican trazados de tejido de tensiones en una cúpula de frecuen



5      cia cuádruple. La cúpula de frecuencia cuádruple posee la inherente  
 capacidad de truncamiento que se ha descrito con referencia a la cú-  
 pula de frecuencia triple, según se indica en la fig. 18 mediante las  
 líneas de truncamiento designadas por "3/8", "1/2" y "5/8". Se obser-  
 vara que en la fig. 1 la línea de truncamiento para media esfera forma  
 un ángulo con las líneas de truncamiento para los tres octavos y cinco  
 octavos de esferas, mientras que en la fig. 18 las tres líneas de trun-  
 camiento se producen en planos paralelos.

10      La fig. 19 muestra la descomposición de la particular rejilla de  
 tres direcciones empleada en la cúpula de frecuencia cuádruple. Esta  
 vista es un esquema de uno de los triángulos AAA del icosaedro esfé-  
 rico correspondiente al triángulo AAA de la figura 18. Como antes,  
 el triángulo esférico se muestra en líneas de rayas. Superpuestos so-  
 bre los bordes del triángulo esférico están los módulos cordales del  
 mismo designados por AB, BC, CD, etc. Dado el diámetro de la esfera  
 sobre la que ha de construirse la deseada cúpula geodésica, las di-  
 mensiones críticas de los paneles se determinan como sigue para las  
 15      cuerdas, designadas con referencia a la figura 19:

20      AB = 0.22019

BB = 0.25958

BC = 0.32942

BD = 0.30907

CD = 0.31287

DD = 0.32492

25      Multiplíquese cada uno de estos factores por el radio de la deseada  
 cúpula en las unidades que se prefieren, tales como pies, pulgadas,  
 metros o centímetros. El producto dará las longitudes de las cuerdas  
 según las unidades de medida escogidas, proporcionando así las dimen-  
 siones de las longitudes de los lados de cada uno de los tipos de rom-  
 30      bos. Puede obtenerse la posibilidad de truncamiento en cúpulas en las

287747



que se construyen las rejillas de tres direcciones de los triángulos del icosaedro con frecuencias de 2, 3 ó 4, o múltiplos de los mismos, por ejemplo frecuencias de 6 y 12. Se recordará que la frecuencia ha sido definida como el número de módulos en que se divide cada lado de un triángulo de icosaedro al establecer el diseño de la rejilla de tres direcciones. En estos diseños o trazados, todos los puntos de los rombos se hallan en grandes círculos. Se deduce de ello que todas las líneas centrales de los rombos, es decir los ejes largos y cortos, son cuerdas de círculos grandes. En consecuencia, todas las cúpulas que he descrito, poseen además de las especiales ventajas aquí descritas, las ventajas fundamentales de la construcción geodésica verdadera o de círculos grandes.

Cúpulas geodésicas alargadas (parte II)

En una cúpula de frecuencia cuádruple construída de la manera que se ha descrito, y de acuerdo con la disposición de paneles expuesta en la figura 24 como planta de los cinco octavos de esfera de frecuencia cuádruple de la figura 25, efectuada según el sentido 24-24 de aquella vista, y con la orientación en que el centro del "isosacap" es el cónit, obtenemos una forma modificada del segmento truncable que se extiende entre las líneas  $3/8$  y  $5/8$  de truncamiento. Esto a su vez produce una forma modificada de la estructura alargada anteriormente descrita con referencia a las figuras 12 y 16. En este caso, si tomamos la estructura mostrada en la figura 25 y la dividimos en dos a lo largo de la línea designada por DE (o D'E'), esto produce dos medias secciones de cinco octavos de esfera DEF y D'E'F'.

En la figura 26 vemos una de estas secciones DEF a la derecha y la otra, D'E'F', a la izquierda, habiéndose girado la primera  $90^\circ$  en el sentido de las manecillas del reloj desde la posición mostrada en la figura 25 y la otra  $90^\circ$  en la dirección opuesta. Entre los planos EF y E'F' de la figura 26, tenemos una sección central EE'F'F que compren

267747



de dos segmentos esféricos que duplican un segmento truncado y extendido entre las líneas de truncamiento designadas por "3/8" y "5/8" en la figura 25. En la completada cúpula de la figura 26, la sección central ofrece el aspecto de ser de forma generalmente cilíndrica, pero como se ha explicado con referencia a la figura 16, se comprenderá que está en realidad formada por dos segmentos de una cúpula geodésica esférica. La sección media de la construcción de la figura 26, en contraposición a la mostrada en la figura 16, está formada enteramente por paneles rómbicos "exteriores" incurvados al ededor de sus ejes cortos y medias secciones de paneles rómbicos "interiores" truncados por sus ejes cortos. Esto tiene por resultado unas ondulaciones circunferenciales, como puede verse al examinar la figura 26. Si se desea, la sección central EE'F'F puede omitirse de la construcción de la figura 26 y unirse sus porciones terminales entre sí con una coincidencia de los planos EF y E'F', produciendo una estructura alargada bastante más corta que la mostrada. O, como posible variante, se pueden usar dos o más de las secciones EE'F'F para producir una estructura geodésica en túnel de cualquier longitud deseada. De nuevo, como se explicó con referencia a la figura 16, esas diversas construcciones poseen en común una sección media generalmente cilíndrica dotada de los atributos principales de la verdadera construcción geodésica.

Como ejemplo de la muy favorable relación entre peso y resistencia obtenible con mi peculiar forma de construcción laminar, puedo citar una cúpula construída de "Fome-Cor" formada de láminas de revestimiento de cartón kraft sobre material de núcleo de polistireno dilatado de un espesor compuesto de un cuarto de pulgada, utilizando paneles simples en una estructura geodésica de 19 pies de diámetro y de las siguientes características:

|    |               |               |
|----|---------------|---------------|
| 30 | Configuración | 5/8 de esfera |
|----|---------------|---------------|



26774

|   |   |   |
|---|---|---|
| 5 | Uso de altura libre                                   | 98%   |
|   | Area de terreno cubierta                              | 275 pies cuadrados  |
|   | Volumen abrigado                                      | 2150 pies cúbicos   |
|   | Peso (incluyendo accesorios)                          | 175 libras  |
|   | Volumen de los componentes ya embalados para su envío | 25 pies cúbicos (un embalaje de 4 pies cuadrados y 1 pie 6 pulgadas de espesor) |
|   | Peso por unidad de área de terreno cubierto           | 0,636 libras por pie cuadrado   |

10 Cuando mi invención se aplica a cúpulas de grandes dimensiones, el peso de la cúpula por pie cuadrado de área de terreno cubierto puede disminuirse más aún, debido en gran medida a la forma y disposición de los paneles compuestos superpuestos, en los que las láminas de revestimiento interiores y exteriores de paneles alternados son tejidas conjuntamente en un trazado reforzador que complementa la resistencia inherente de la construcción geodésica de rejilla de tres direcciones.

15 Los términos y expresiones que he empleado se usan en un sentido descriptivo y no limitativo, y no tengo la intención de excluir los equivalentes de la invención descrita que caigan dentro del ámbito de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

20 En resumen: La Patente de Invención que se solicita recaerá sobre las reivindicaciones siguientes:

25 1ª.- Cúpula geodésica formada por paneles dispuestos en relación de superposición entre sí, caracterizada por el hecho de que dichos paneles (3,4) tienen láminas interiores y exteriores (6,5) y medios espaciadores (7) entre dichas láminas, exhibiendo los citados paneles en su relación acoplada un diseño general de facetas triangulares planas, emparejadas en secciones en forma de rombo, disponiéndose las facetas triangulares de un par formando ángulo entre sí.

30 2ª.- Cúpula geodésica según la reivindicación 1, caracterizada por el hecho de que una serie de dichos pares dispuestos con un ángulo entre sí se hallan incurvados con concavidad hacia afuera alrededor del

26774 73



eje largo (B) de la sección rómbica y presentan unas depresiones en forma de artesa en la superficie exterior de la cúpula.

5 3ª.- Cúpula geodésica de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizada por el hecho de que una serie de dichos pares dispuestos formando un ángulo entre sí se hallan incurvados con convexidad hacia afuera alrededor del eje corto de la sección rómbica y presentan aristas que alternan con las depresiones en forma de artesa en la superficie exterior de la cúpula, con lo que dicha superficie exterior ofrece crestas y valles entrecortados que dan rigidez a la estructura de paneles de la cúpula.

10 4ª.- Cúpula geodésica según las reivindicaciones 1, 2 ó 3, caracterizada por el hecho de que los bordes de dichos paneles se alinean a lo largo de un gran círculo ecuatorial de la cúpula, y otros bordes de dichos paneles se alinean a lo largo de líneas paralelas que definen tres octavos de esfera y cinco octavos de esfera, con lo que pueden acoplarse los mismo tipos de paneles para formar tres octavos de esfera, media esfera y cinco octavos de esfera, terminando cada una en un plano básico definido por los citados bordes alineados de los paneles.

15 5ª.- Cúpula geodésica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por el hecho de que las solapas superpuestas entre los paneles se disponen de manera que los bordes superiores de los paneles inferiores se extienden por debajo de los bordes inferiores de adyacentes paneles más elevados a través de toda la estructura.

20 6ª.- Cúpula geodésica según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, caracterizada por el hecho de que dichas secciones rómbicas (3',4'4"), cuando se acoplan separadamente, tienen sus solapas de superposición simétricamente dispuestas en pares opuestamente extendidos (8, 8 y 8',8') de manera que una sección tenga un par de solapas

30

267747



superpuestas opuestas (8,8) y un par de solapas subyacentes opuestas (8', 8') y tienen porciones de superposición de las secciones adherentemente aseguradas entre sí, con la lámina interior (6) de una sección adherida a las láminas exteriores (5) de un par de secciones adyacentes y la lámina exterior (5) de la primera sección adherida a las láminas interiores (6) de otro par de secciones adyacentes, en virtud de todo lo cual las láminas interiores y exteriores de secciones alternadas son tejidas entre sí en un diseño reforzador que se caracteriza por una continuidad de las láminas interiores y exteriores, extendida sustancialmente a través de toda la estructura de la cúpula.

7ª.- Cúpula geodésica según la reivindicación 6, caracterizada por el hecho de que cada par de solapas opuestas consta de solapas (8, 8 y 8', 8') que son aproximadamente paralelas y se hallan situadas en lados opuestos del eje corto de la sección rómbica.

8ª.- Cúpula geodésica según la reivindicación 6, caracterizada por el hecho de que cada par de solapas opuestas consta de solapas (8, 8' y 8, 8') que se cortan en un extremo de la sección rómbica y que se hallan situadas en el mismo lado del eje corto de dicha sección.

9ª.- Cúpula geodésica según la reivindicación 8, caracterizada por el hecho de que las solapas opuestas de los extremos superiores de las secciones rómbicas son solapas subyacentes (13), en tanto que las de los extremos inferiores de dichas secciones son solapas superpuestas (13'), con lo que la construcción se halla tejada para hacer resbalar el agua, al tiempo que proporciona la citada continuidad de las láminas interiores y exteriores tejidas de los paneles.

10ª.- Cúpula geodésica según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, caracterizada por el hecho de que por lo menos algunas de dichas secciones rómbicas son paneles dobles formados por dos secciones (3, 3') de las cuales la exterior (3') está incurvada a lo largo del eje corto con convexidad hacia fuera, y la interior (3) está

267747



5 incurvada a lo largo del eje mayor con convexidad hacia dentro, con lo que dichas dos secciones se unen a lo largo de los bordes de la sección rómbica y se hallan espaciadas en el centro formando un tetraedro, asegurándose dichos paneles dobles a otros de los referidos paneles dobles, con las solapas de paneles dobles adyacentes interfoliadas en orden alternativo.

10 11ª.- Cúpula geodésica según la reivindicación 4, caracterizada por el hecho de que se acoplan dos esferas de cinco octavos truncadas, en relación opuesta para formar una estructura alargada que comprende segmentos terminales geodésicos generalmente esféricos y un segmento central geodésico generalmente cilíndrico.

15 12ª.- Cúpula geodésica según la reivindicación 11, caracterizada por el hecho de que dicho segmento central geodésico generalmente cilíndrico comprende secciones rómbicas incurvadas alrededor de sus ejes cortos, disponiéndose dichos ejes circunferencialmente al citado segmento central.

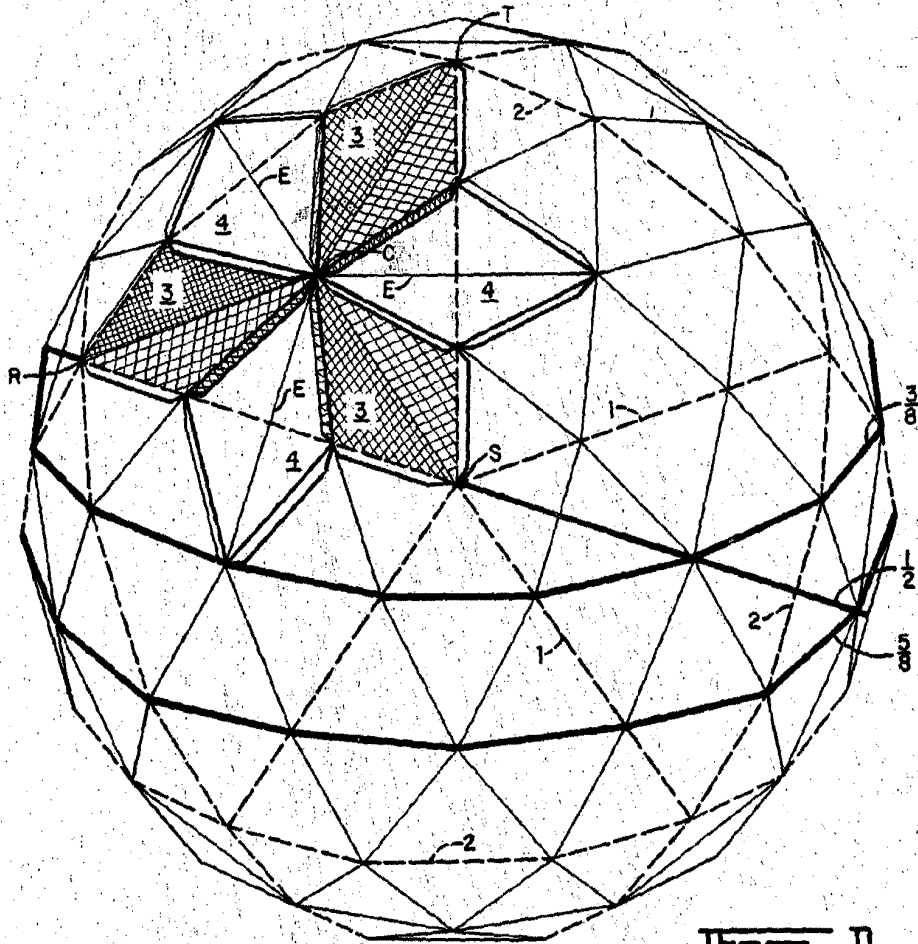
20 13ª.- Se reivindica por último, como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: "CÚPULA GEODÉSICA FORMADA POR PANELES DISPUESTOS EN RELACION DE SUPERPOSICION ENTRE SI"

Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente memoria que consta de veinticuatro páginas escritas a máquina y dibujos adjuntos.

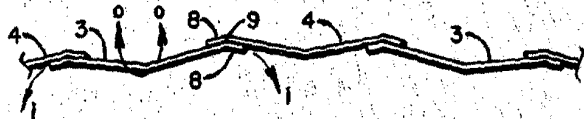
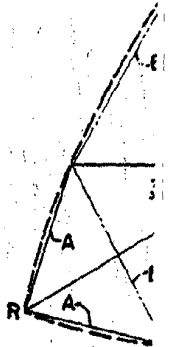
Madrid, 27 mayo 1961

ALFONSO UNGRIA

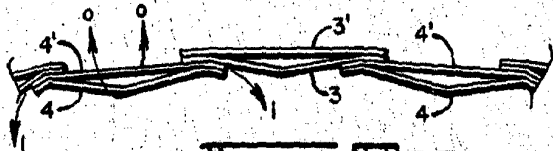
*Alfonso Ungria*



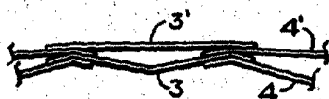
FIGS. 1



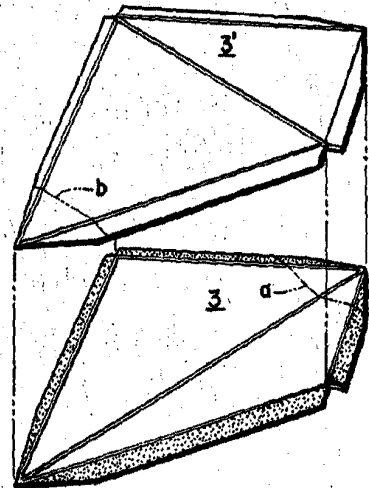
FIGS. 6



FIGS. 8a



FIGS. 8b



FIGS. 7

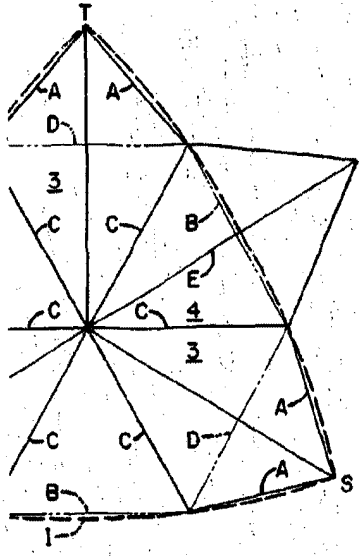


FIG. 2

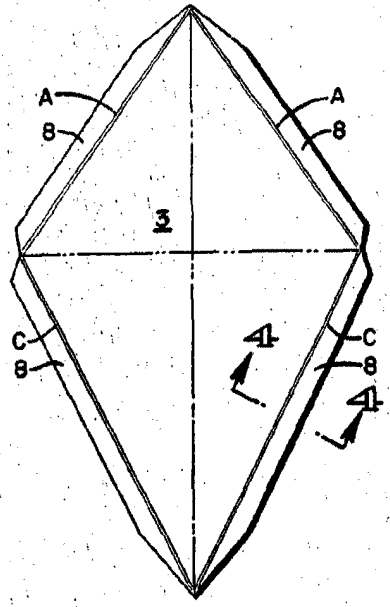


FIG. 3

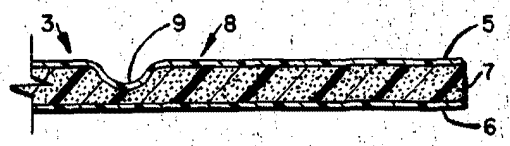


FIG. 4

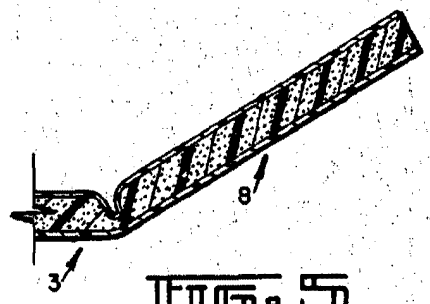


FIG. 5

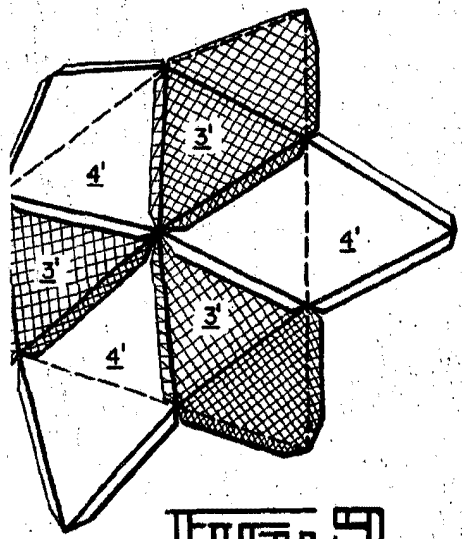


FIG. 9

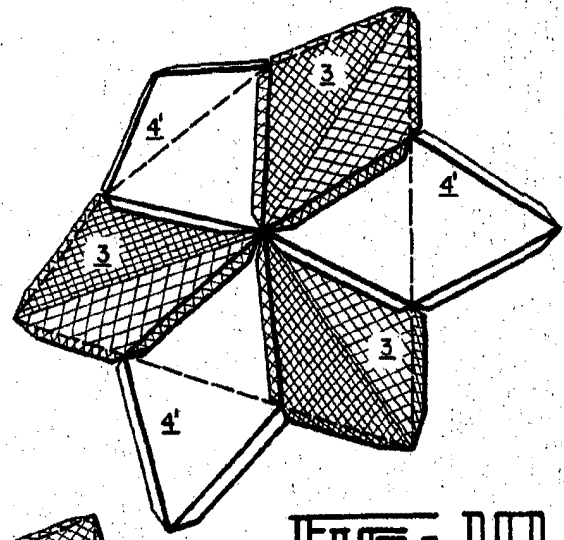


FIG. 10

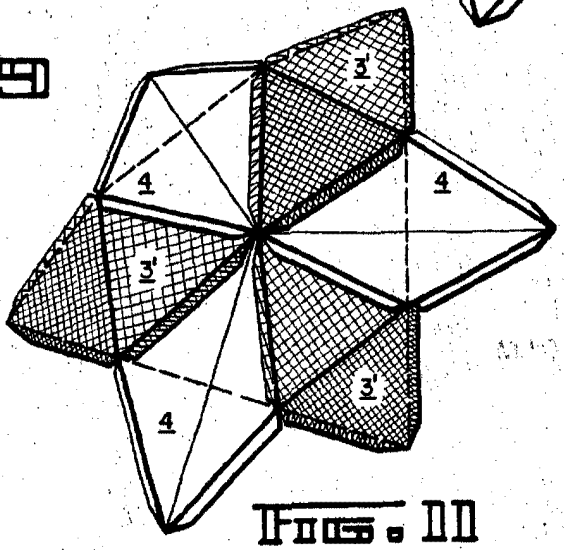


FIG. 11

Fig. 14

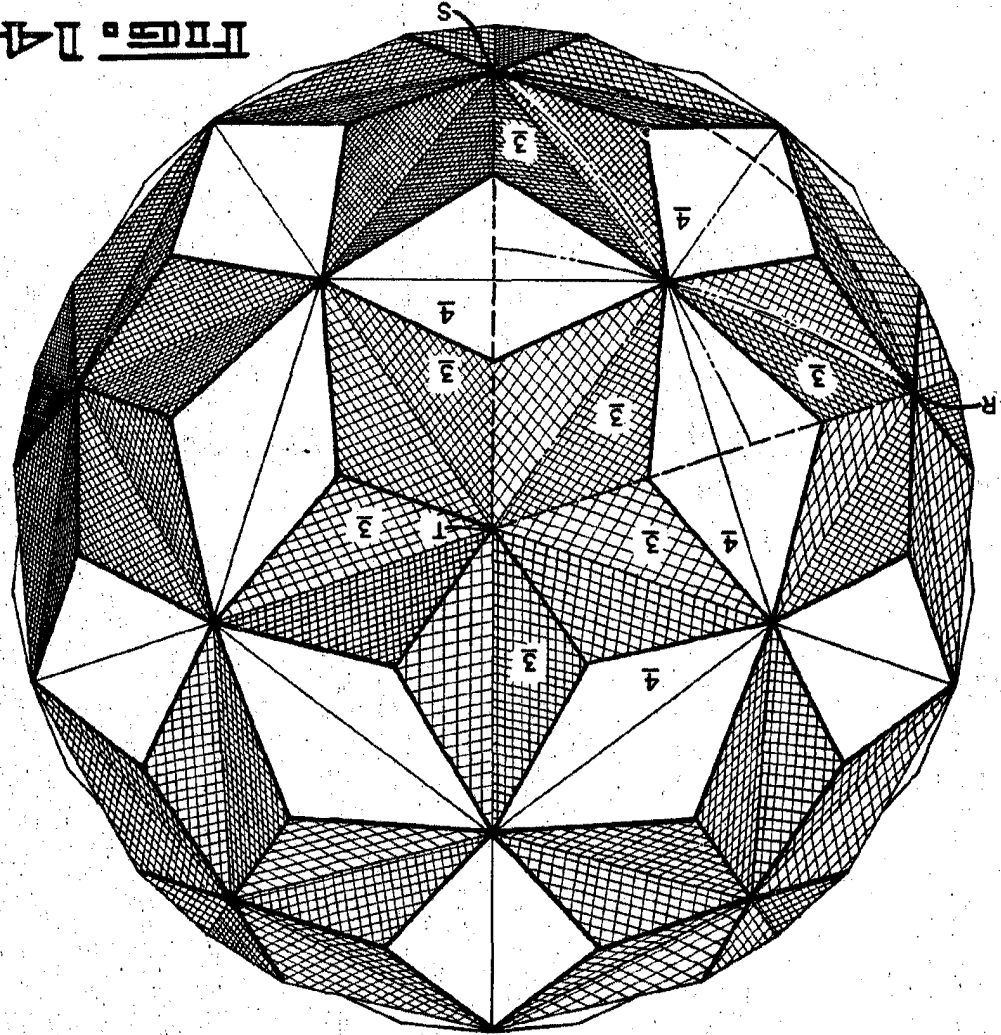
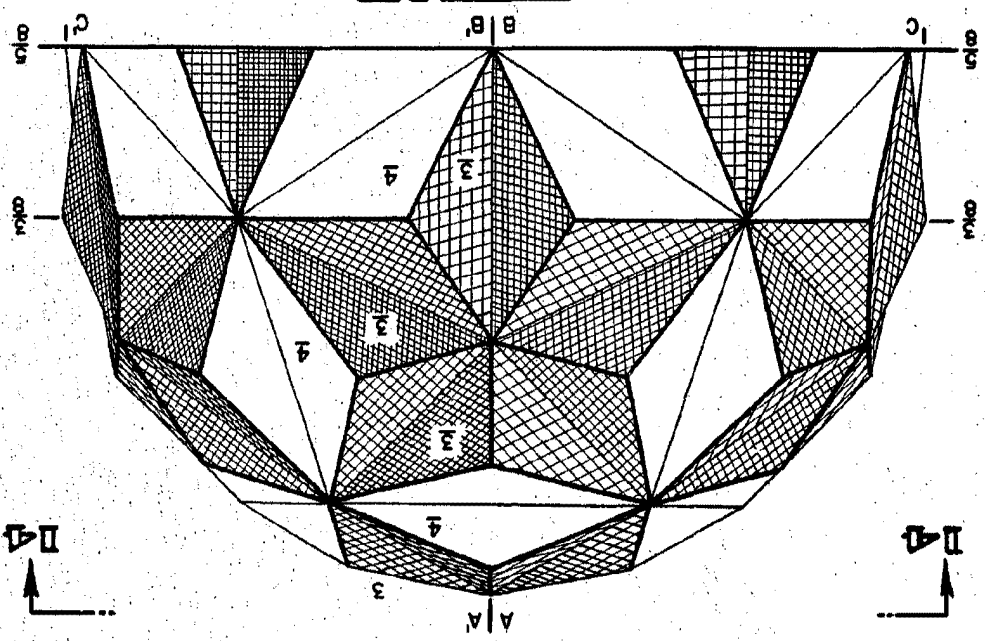


Fig. 12



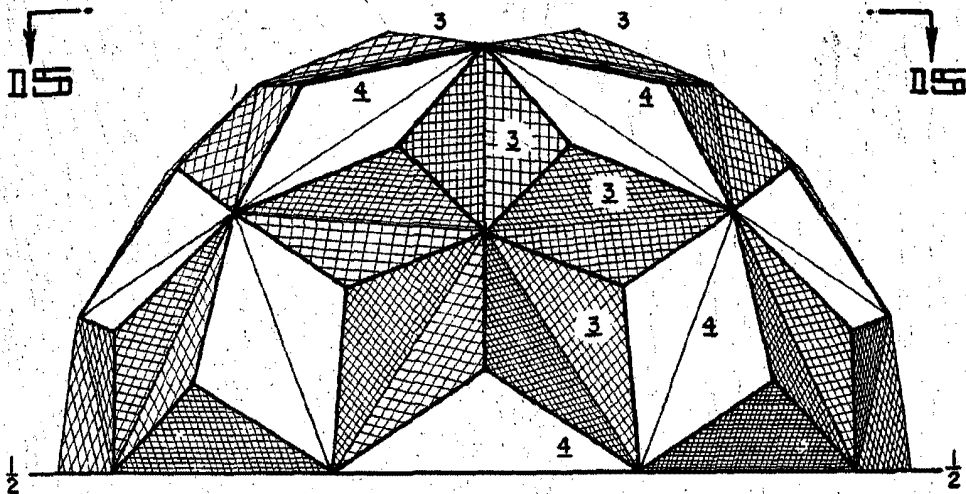


FIG. 13

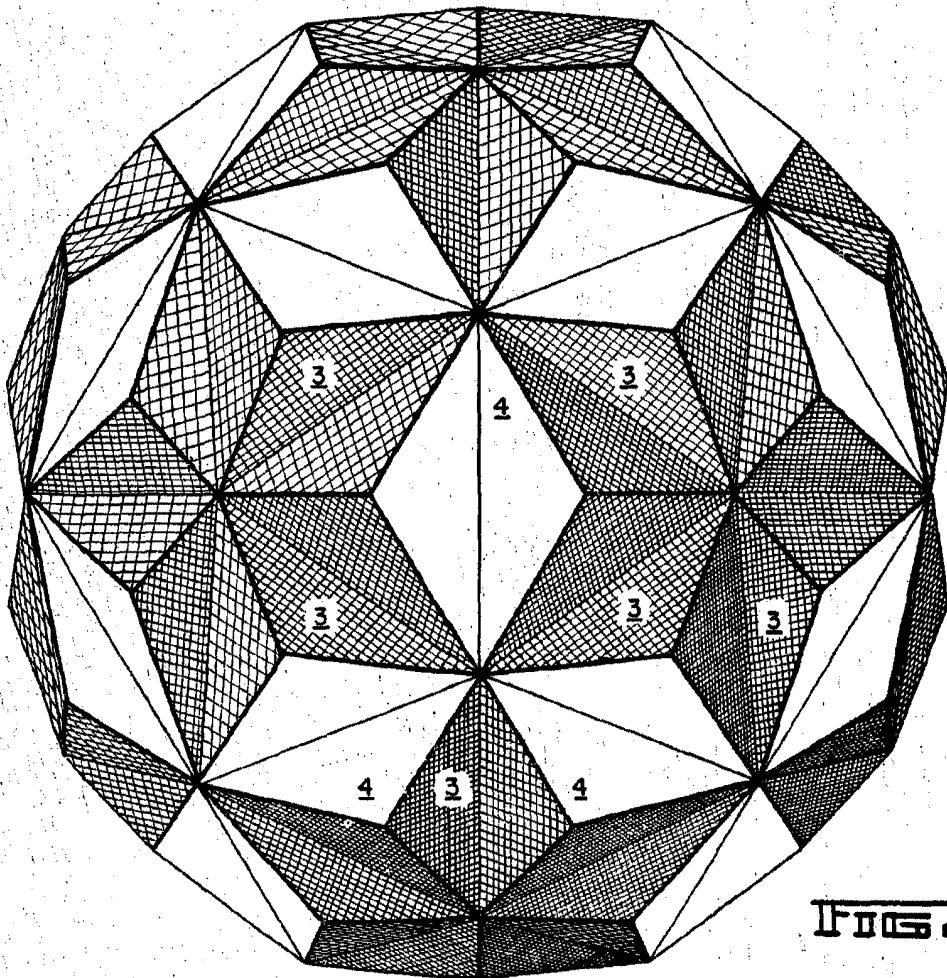


FIG. 15

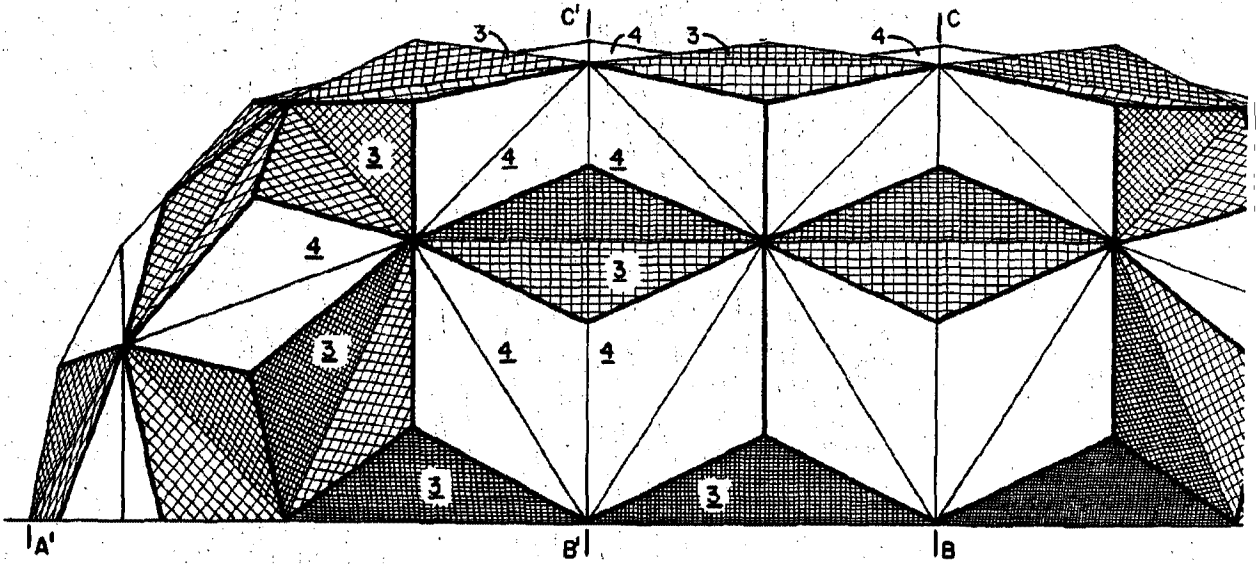


FIG. 16

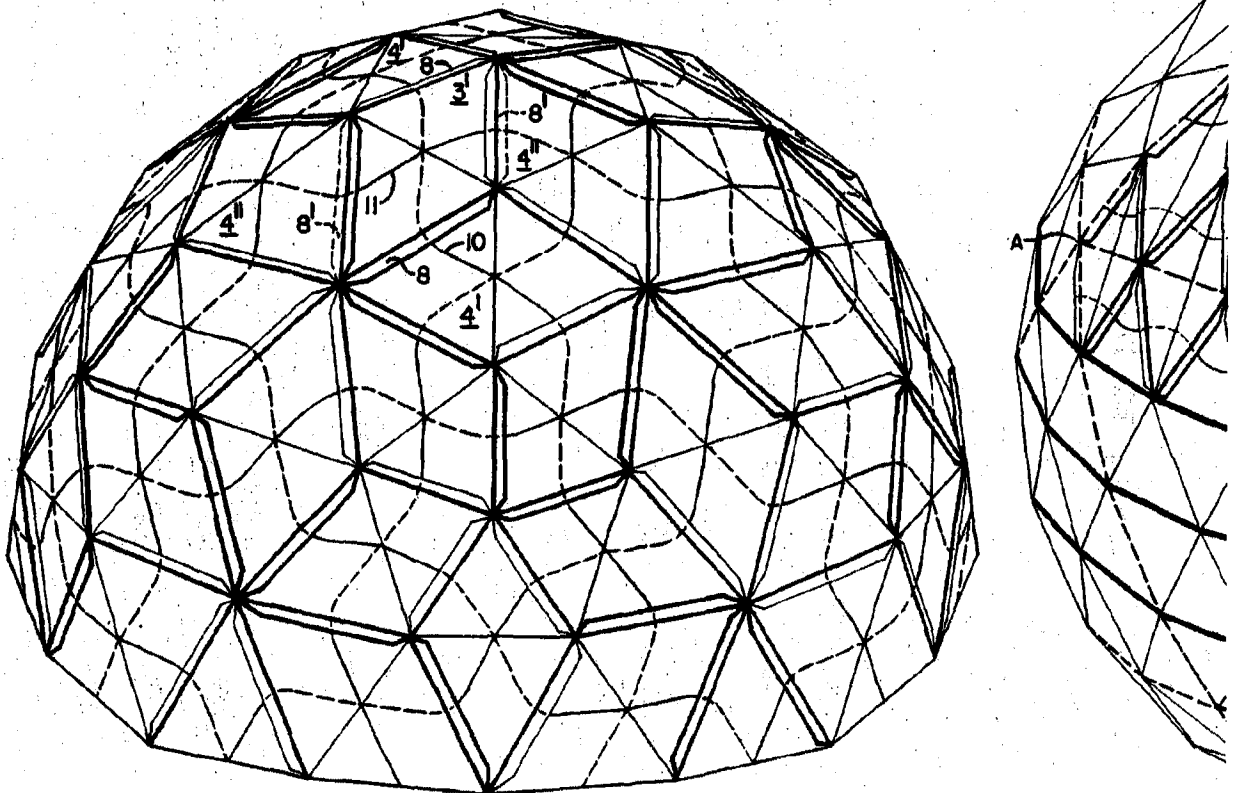
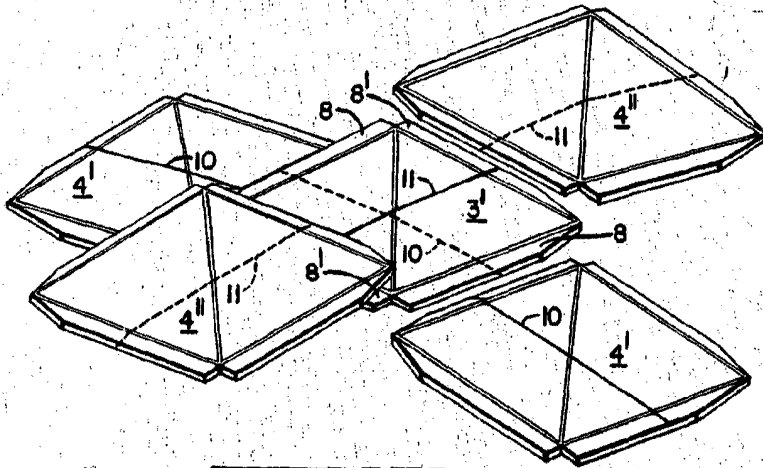
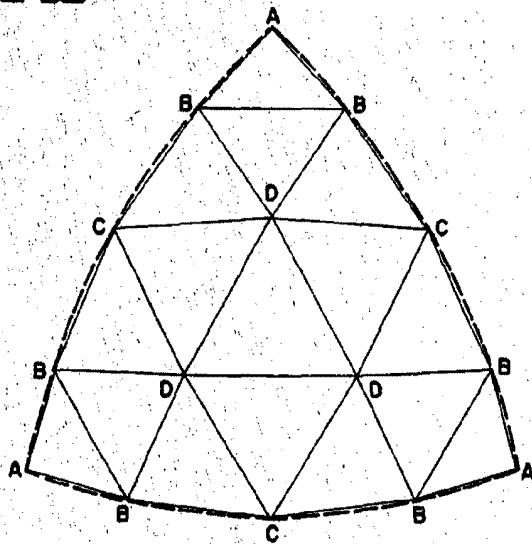
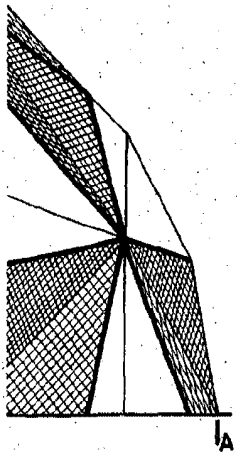


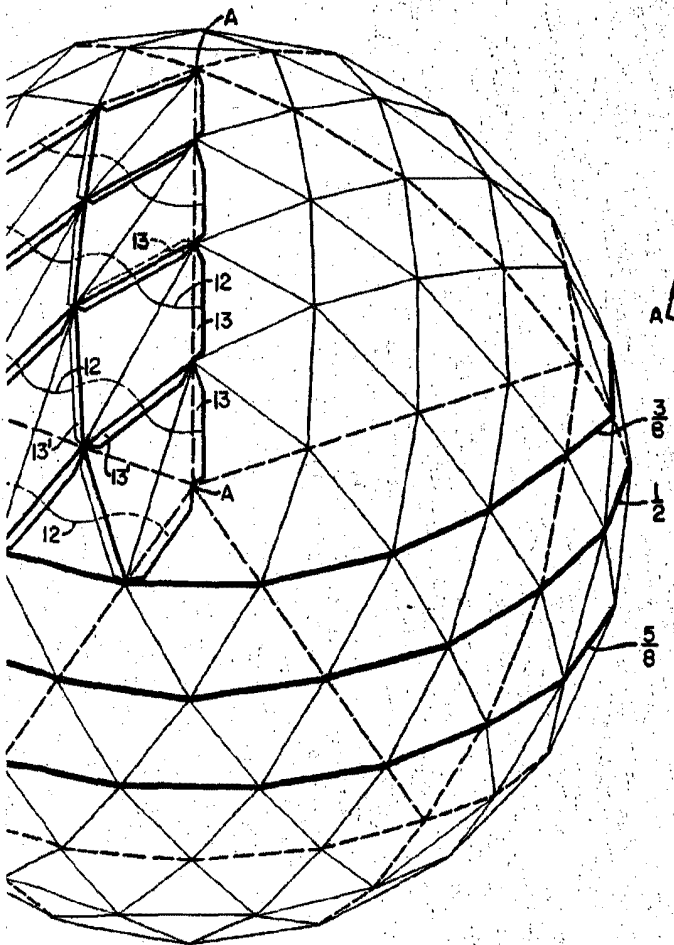
FIG. 17a



FIGS. 17b



FIGS. 19



FIGS. 18

FIG. 23

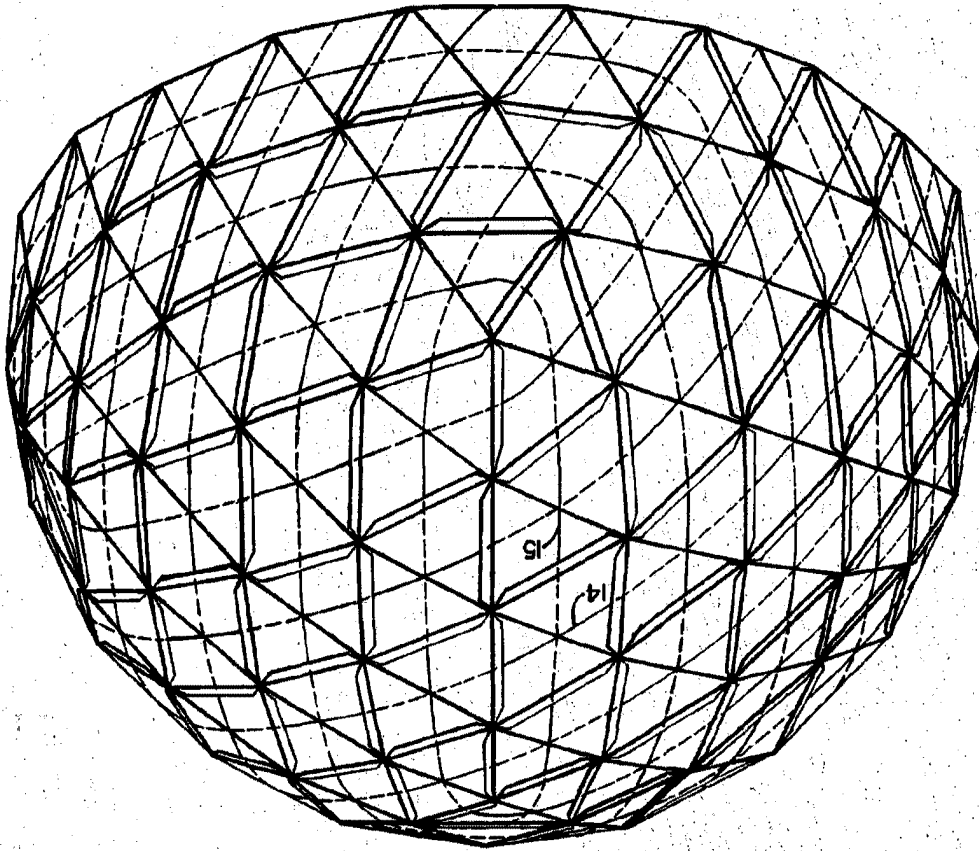


FIG. 20

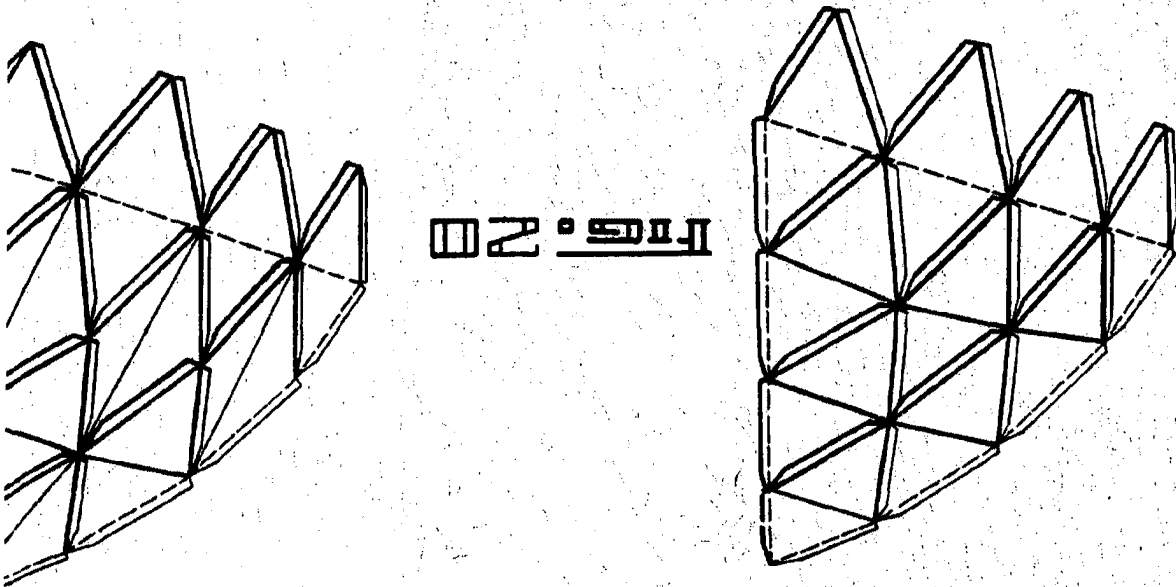


FIG. 24

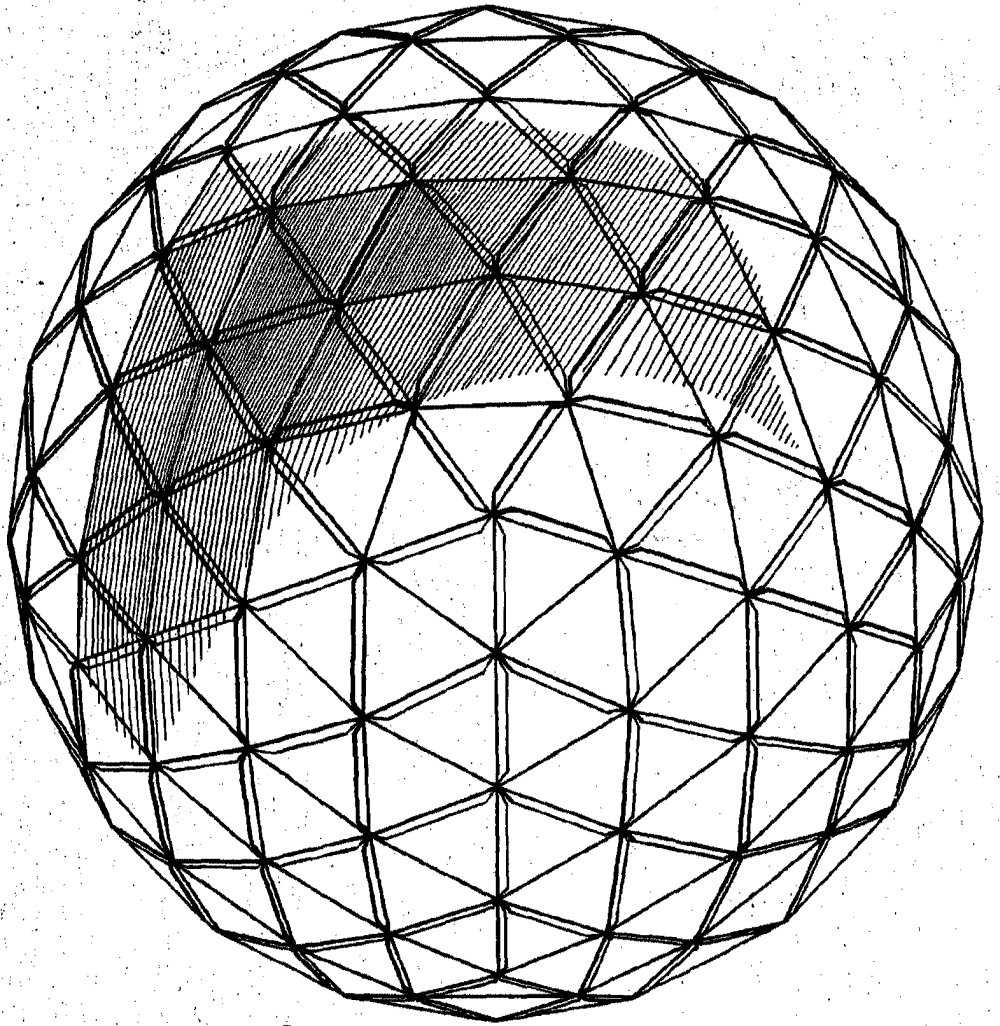


FIG. 22

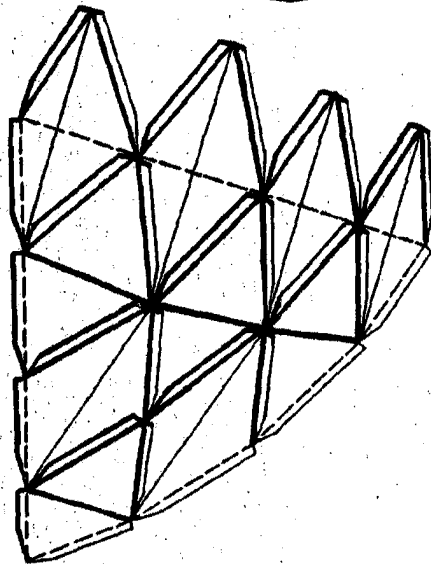


FIG. 21



267747



24

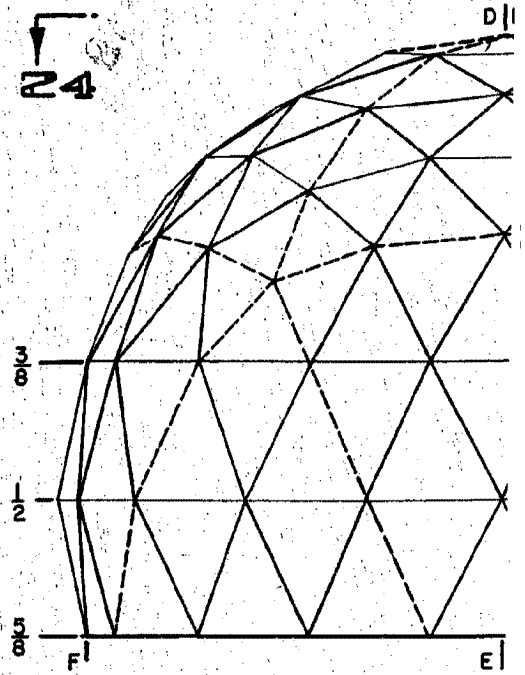


FIG 6

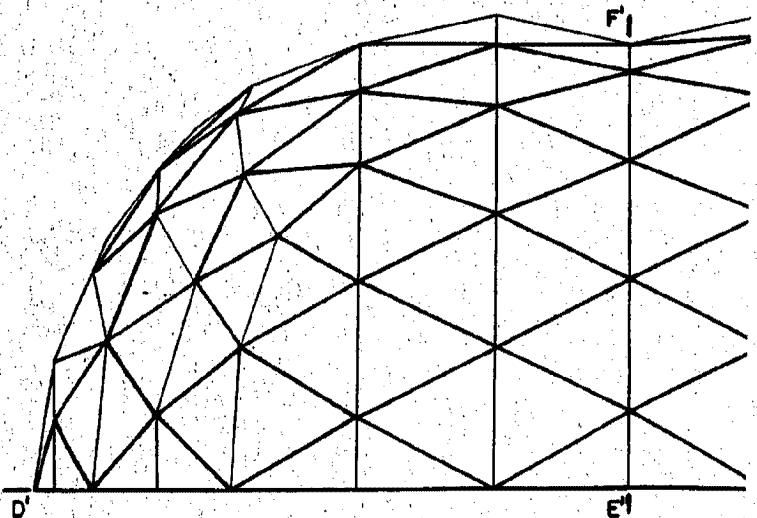
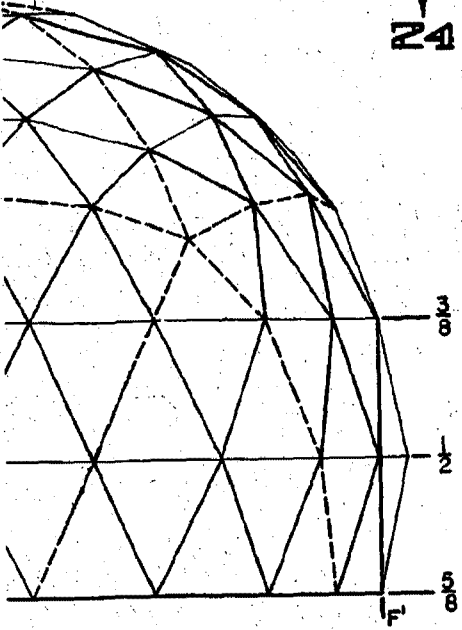


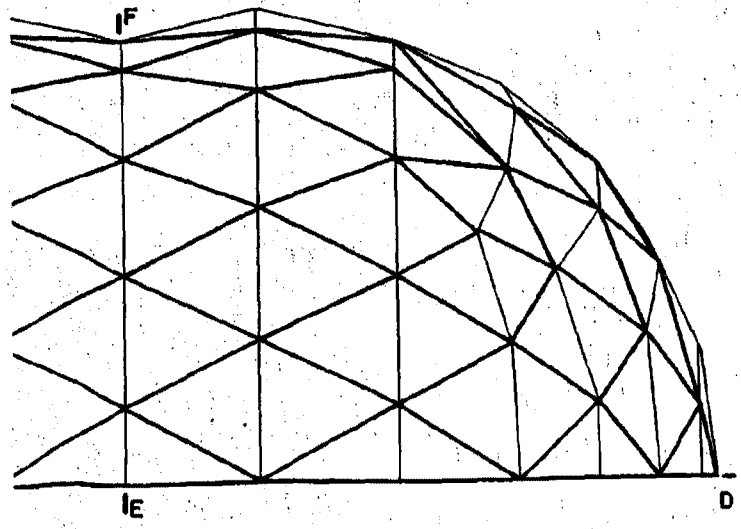
FIG 7



24



25



26

ENGINEERING DEPARTMENT  
MADRAS, INDIA