1. Introducción

El mundo tri-dimensional

De hecho, vivimos en un mundo de tres dimensiones. Lo que vemos delante de nosotros no es una imagen lisa, que tiene sólo largo y ancho, sino una expansión con profundidad física, la tercera dimensión. El suelo que hay bajo nuestros pies se extiende hasta el horizonte distante. Podemos mirar directamente adelante, hacia atrás, hacia la izquierda, hacia la derecha, hacia arriba, hacia abajo. Lo que vemos es un espacio continuo en el que estamos incluidos. Hay muchos objetos cercanos que podemos tocar y objetos más lejanos que se hacen tangibles si tratamos de llegar hasta ellos.

Todo objeto que sea pequeño, liviano y cercano puede ser levantado y sostenido por nuestras manos. Cada movimiento del objeto muestra una figura diferente, porque ha cambiado la relación entre el objeto y nuestros ojos. Si caminamos directamente adelante hacia una escena (esto no es posible en el mundo bi-dimensional) no sólo los objetos que están a la distancia se vuelven gradualmente más grandes, sino que sus figuras cambian, porque vemos más de ciertas superficies y menos de otras.

Nuestra comprensión de un objeto tri-dimensional nunca puede ser completa con un vistazo. La perspectiva desde un ángulo fijo y una distancia puede ser engañosa. Una figura circular que sea primeramente vista desde cierta distancia alejada puede terminar por ser, tras un examen más cercano, una esfera, un cono, un cilindro o cualquier otra figura que tenga una base redonda. Para comprender un objeto tri-dimensional, tenemos que verlo desde ángulos y distancias diferentes y luego reunir en nuestras mentes toda la información para comprender plenamente su realidad tri-dimensional. Es a través de la mente humana que el mundo tri-dimensional obtiene su significado.

El diseño bi-dimensional

El diseño bi-dimensional concierne a la creación de un mundo bi-dimensional mediante esfuerzos conscientes de organización de los diversos elementos. Una marca casual, como un garabato en una superficie lisa, puede dar resultados caóticos. Eso puede estar lejos del diseño bi-dimensional, cuyo principal objetivo es establecer una armonía y un orden visuales o generar una excitación visual dotada de un propósito.

El diseño tri-dimensional

En forma similar al bi-dimensional, el diseño tri-dimensional procura asimismo establecer una armonía y un orden visuales, o generar una excitación visual dotada de un propósito, excepto porque su material es el mundo tri-dimensional. Es más complicado que el diseño bi-dimensional porque deben considerarse simultáneamente varias perspectivas desde ángulos distintos y porque muchas de las complejas relaciones espaciales no pueden ser fácilmente visualizadas sobre el papel. Pero es menos complicado que el diseño bi-dimensional porque trata de formas y materiales tangibles en un espacio real, así que todos los problemas relativos a la representación ilusoria de formas tri-dimensionales sobre un papel (o cualquier otra superficie lisa) pueden ser evitados.

Algunas personas se inclinan a pensar en términos escultóricos, pero muchas otras tienden a hacerlo en términos pictóricos. Estas últimas pueden tener algunas dificultades con el diseño tri-dimensional. A menudo están tan preocupadas con la visión frontal de un diseño que dejan de lado otras perspectivas. Pueden pensar que las estructuras internas de las formas tri-dimensionales están más allá de la comprensión, o sentirse fácilmente atraídas por el color y la textura de la superficie cuando el volumen y el espacio son más importantes.

Entre el pensamiento bi-dimensional y el tri-dimensional hay una diferencia de actitud. Un diseñador tri-dimensional debe ser capaz de visualizar mentalmente la forma completa y rotarla mentalmente en toda dirección, como si la tuviera en sus manos. No debe reducir su imagen a una o dos perspectivas, sino que debe explorar prolijamente el papel de la profundidad

y el flujo del espacio, el espacio de la masa y la naturaleza de los diferentes materiales.

Las tres direcciones primarias

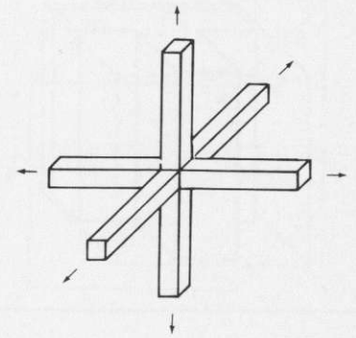
Para comenzar a pensar en forma tri-dimensional debemos ante todo conocer las tres direcciones primarias. Como se ha dicho antes, las tres dimensiones son largo, ancho y profundidad. Para obtener las tres dimensiones de cualquier objeto debemos tomar sus medidas en dirección vertical, horizontal y transversal.

Las tres direcciones primarias son así una dirección vertical que va de arriba a abajo, una horizontal que va de izquierda a derecha y una transversal que va hacia adelante y hacia atrás (fig. 78).

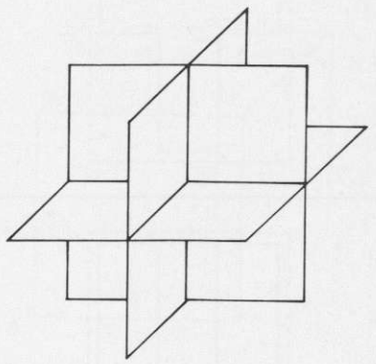
Para cada dirección podemos establecer un plano liso. De esta manera podemos tener un plano vertical, un plano horizontal y un plano transversal (fig. 79).

Duplicando tales planos, el vertical se transforma en los planos de adelante y atrás, el horizontal en los de arriba y abajo, el transversal en los de izquierda y derecha. Con tales planos se puede construir un cubo (fig. 80).

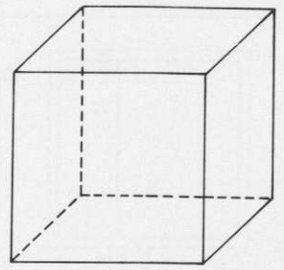
78



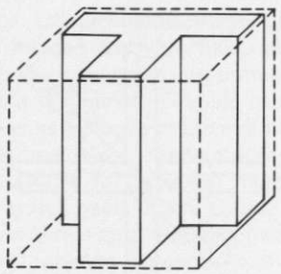
79



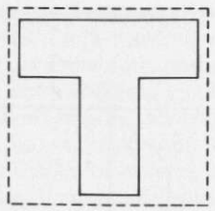
80



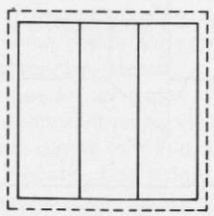
81



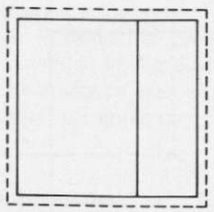
82



83



84



Las tres perspectivas básicas

Cualquier forma tri-dimensional puede ser insertada dentro de un cubo imaginario para establecer las tres perspectivas (fig. 81).

Proyectando tal forma hacia los planos superior, frontal y lateral del cubo imaginario, podremos tener:

a) una visión plana: la forma tal como es vista desde arriba (fig. 82);

b) una visión frontal: la forma tal como es vista desde adelante (fig. 83);

c) una visión lateral: la forma tal como es vista desde el costado (fig. 84).

Cada visión es un diagrama liso, y estas visiones en su conjunto (ocasionalmente complementadas por otras visiones auxiliares y/o seccionales) aportan la descripción más exacta de una forma tri-dimensional, aunque se necesita tener algún conocimiento básico de dibujo de ingeniería para poder reconstruir con tales visiones la forma original.

Elementos del diseño tri-dimensional

En el diseño bi-dimensional, como hemos dicho al principio, hay tres grupos de elementos:

a) los elementos conceptuales: punto, línea, plano, volumen

b) los elementos visuales: figura, tamaño, color y textura

c) los elementos de relación: posición, dirección, espacio y gravedad.

Los elementos conceptuales no existen físicamente, pero son percibidos como si estuvieran presentes. Los elementos visuales pueden ser vistos, desde luego, y constituyen la apariencia final del diseño. Los elementos de relación gobiernan la estructura de conjunto y las correspondencias internas de los elementos visuales.

Todos estos elementos son igualmente esenciales para el diseño tri-dimensional, aunque habremos de definirlos de una manera ligeramente diferente, y agregar por razones prácticas un conjunto de elementos de construcción. Los elementos constructivos son, en realidad, concreciones de los elementos conceptuales y serán indispensables en nuestras discusiones futuras.

Elementos constructivos

Los elementos constructivos tienen fuertes cualidades estructurales y son particularmente importantes para la comprensión de los sólidos geométricos. Estos elementos son los usados para indicar los componentes del diseño tridimensional:

a) *Vértice.* Cuando diversos planos confluyen en un punto conceptual, tenemos un vértice. Los vértices pueden ser proyectados hacia afuera o hacia adentro (fig. 85).

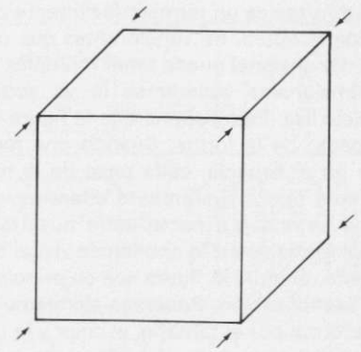
b) *Filo.* Cuando dos planos paralelos se unen a lo largo de una línea conceptual, se produce un filo. También los filos pueden producirse hacia afuera o hacia adentro (fig. 86).

c) *Cara.* Un plano conceptual que está físicamente presente se convierte en una superficie. Las caras son superficies externas que encierran a un volumen (fig. 87).

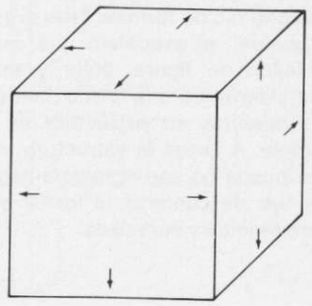
Idealmente todos los vértices deben ser marcados y puntiagudos, todos los filos deben ser agudos y rectos, todas las superficies deben ser suaves y lisas. En la realidad, esto depende de los materiales y las técnicas, y ciertas irregularidades menores son normalmente inevitables.

Los elementos constructivos pueden ayudar a definir precisamente las formas volumétricas. Por ejemplo, un cubo tiene ocho vértices, doce filos y seis caras.

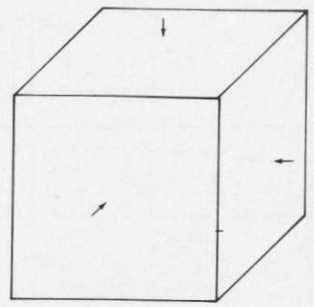
85



86



87



Forma y estrutura

La *forma* es un término fácilmente confundido con la *figura*. Se señaló antes que una forma tri-dimensional puede tener múltiples figuras bi-dimensionales cuando se la ve sobre una superficie lisa. Esto supone que la figura es sólo un aspecto de la forma. Cuando una forma es rotada en el espacio, cada paso de la rotación revela una figura ligeramente diferente, porque aparece un nuevo aspecto antre nuestros ojos.

La forma es así la apariencia visual total de un diseño, aunque la figura sea su principal factor de identificación. Podemos asimismo identificar la forma por el tamaño, el color y la textura. En otras palabras, todos los elementos visuales son mencionados colectivamente como forma.

La estructura gobierna la manera en que una forma es construida, o la manera en que se unen una cantidad de formas. Es la organización espacial general, el esqueleto que está detrás del entretejido de figura, color y textura. La apariencia externa de una forma puede ser muy compleja, mientras su estructura es relativamente simple. A veces la estructura interna de una forma puede no ser inmediatamente percibida. Una vez descubierta, la forma puede ser mejor comprendida y apreciada.

Módulos

Las formas más pequeñas, que son repetidas, con variaciones o sin ellas, para producir una forma mayor, se denominan *módulos.*

Un módulo puede estar compuesto de elementos más pequeños, que se denominan *submódulos.*

Una unidad mayor puede estar hecha por dos o más módulos en relación constante y aparecer frecuentemente en un diseño. Se les llama *supermódulos.*

Repetición y gradación

Los módulos pueden ser utilizados en repetición exacta o en gradación.

La repetición supone que los módulos son idénticos en figura, tamaño, color y textura. La figura es el elemento visual más importante de los módulos, y así podemos tener módulos repetidos en figura pero no en tamaño. El color y la textura pueden variar si así se lo desea, pero no están dentro del alcance de este libro.

La gradación significa transformación o cambio, de una manera gradual y ordenada. Aquí la disposición de su secuencia es muy importante, porque de otra manera el orden de gradación no puede ser reconocido.

Podemos tener una gradación de figura, en la que ésta cambia ligeramente de un módulo al siguiente, o gradación de tamaño, con las unidades repetidas o graduadas en su figura.

2. Planos seriados

Los puntos determinan una línea. Las líneas determinan un plano. Los planos determinan un volumen.

Una línea puede ser representada por una serie de puntos (fig. 88).

Un plano puede ser representado por una serie de líneas (fig. 89).

Un volumen puede ser representado por una serie de planos (fig. 90).

Cuando un volumen es representado por una serie de planos, cada plano es una sección transversal del volumen.

Planos seriados

Por lo tanto, para construir una forma volumétrica, podemos pensar en términos de sus secciones transversales, o en cómo la forma puede ser cortada en rodajas, a intervalos regulares, de lo que derivan los planos seriados.

Cada plano seriado puede ser considerado como un módulo, que podrá ser usado en repetición o en gradación.

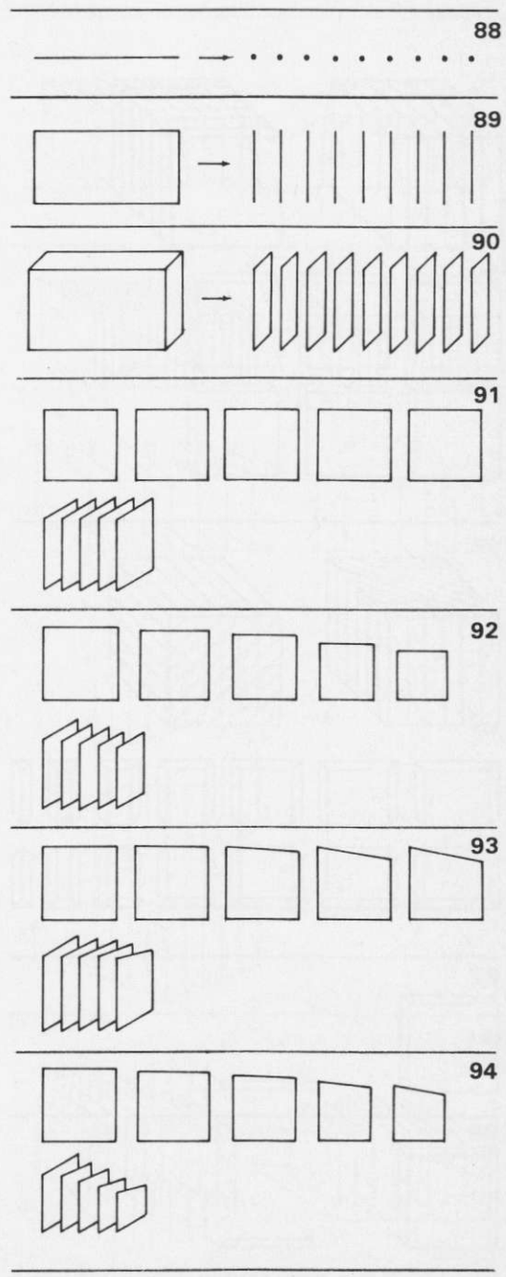
Como fuera ya mencionado, la repetición se refiere a repetir tanto la figura como el tamaño de los módulos (fig. 91).

La gradación se refiere a una variación gradual del módulo, y puede ser usada de tres maneras:

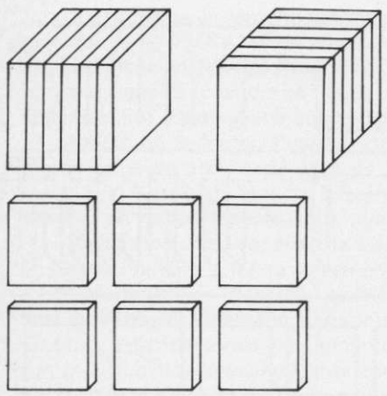
a) Gradación de tamaño pero repetición de figura (fig. 92).

b) Gradación de figura pero repetición de tamaño (fig. 93).

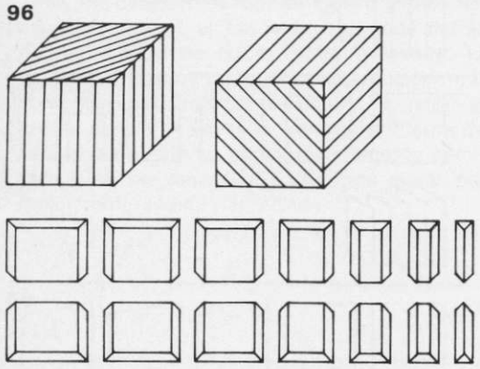
c) Gradación de la figura y del tamaño (fig. 94).



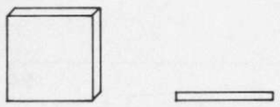
95



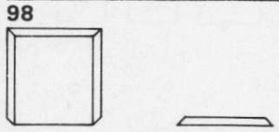
96



97



98



Disección de un cubo

Para ilustrar un poco más, podemos dividir un cubo en una cantidad de delgados planos de un mismo grosor.

La forma más simple es la separación a lo largo de la longitud, del ancho o de la profundidad, en capas paralelas. El resultado es obtener una cantidad de planos seriados, que son repeticiones de una misma figura y un mismo tamaño (fig. 95).

El mismo cubo puede ser separado diagonalmente. Hay muchas formas de hacer esto. Nuestro diagrama muestra una suerte de disección diagonal, que deriva en planos seriados con gradación de figura. El tamaño queda asimismo en gradación. La altura permanece constante, pero el ancho aumenta o disminuye gradualmente (fig. 96).

Debe señalarse que en la disección por la longitud, por el ancho o por la profundidad, todos los planos seriados poseen bordes cuadrados (fig. 97).

En la disección diagonal, todos los planos seriados poseen bordes oblicuos (fig. 98).

Los bordes pueden no tener mucha importancia si los planos son extremadamente delgados, pero si son gruesos no debe descuidarse la influencia de los bordes en el diseño.

Al disponer los planos seriados deben considerarse los elementos de relación. Los dos principales elementos de relación que no deben ser descuidados son la posición y la dirección.

Variaciones posicionales

La posición tiene relación, ante todo, con el espacio entre los planos. Si no se introducen variaciones de dirección, todos los planos seriados serán paralelos entre sí, cada uno de ellos siguiendo al otro sucesivamente, con un espacio igual entre ellos.

Supongamos que todos los planos son cuadrados de un mismo tamaño. Si un plano sigue a otro, en forma recta, los bordes verticales de los planos trazan dos líneas rectas paralelas, cuyo ancho es el mismo de los planos (fig. 99).

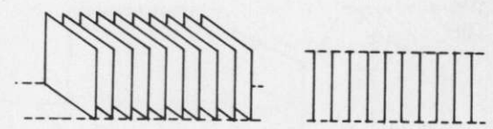
El espacio entre los planos puede ser estrecho o amplio, con efectos diferentes. Un espacio estrecho da a la forma una mayor sensación de solidez, mientras un espacio amplio debilita la sugestión de un volumen (fig. 100).

Sin cambiar el espacio entre los planos, la posición de cada uno puede ser trasladada gradualmente hacia un lado, o hacia adelante y atrás. Esto provoca que la figura volumétrica experimente varias distorsiones (fig. 101).

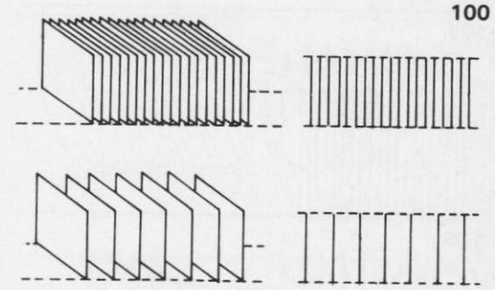
Asimismo, sin cambiar el espacio entre los planos, la posición de cada uno puede ser trasladada gradualmente hacia arriba o hacia abajo. Esto puede ser hecho fácilmente si los planos están colgados o suspendidos en el aire (fig. 102).

Si los planos son colocados sobre una base, podemos reducir su altura, para sugerir el efecto de su hundimiento gradual, sólo con la variación posicional de manera vertical (fig. 103).

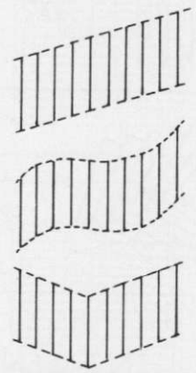
99



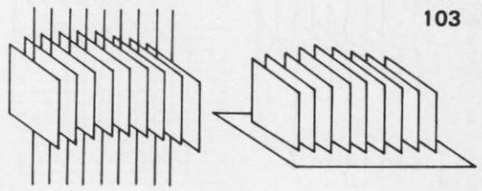
100



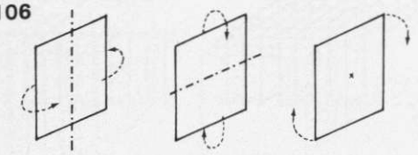
101



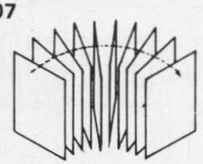
102
103



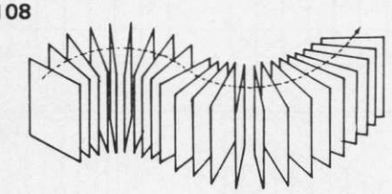
104
105
106



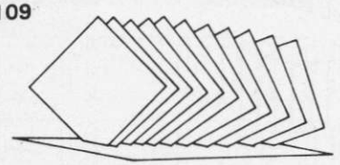
107



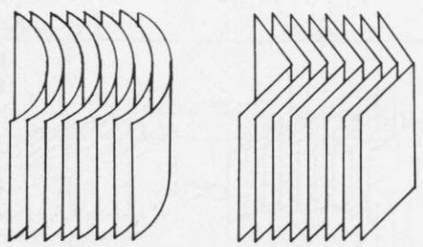
108



109



110



Variaciones de dirección

La dirección de los planos puede ser variada de tres maneras:

a) Rotación sobre un eje vertical (fig. 104).

b) Rotación sobre un eje horizontal (fig. 105).

c) Rotación sobre el mismo plano (fig. 106).

La rotación sobre un eje vertical requiere desviar a los planos de su disposición paralela. La posición queda definitivamente modificada, porque cada cambio de dirección exige simultáneamente un cambio de posición.

En este caso, los planos pueden ser dispuestos en radiación, formando una figura circular (fig. 107).

O pueden formar una figura con curvas a la izquierda y a la derecha (fig. 108).

La rotación sobre un eje horizontal no puede hacerse si los planos están fijos sobre una base horizontal. Si están fijos sobre una base vertical, su rotación sobre un eje horizontal será esencialmente la misma que la rotación sobre un eje vertical, ya descrita.

La rotación sobre el mismo plano supone que las esquinas o los bordes de cada plano se mueven de una posición a otra, sin afectar la dirección básica del plano mismo. Esto deriva a una figura torcida en forma de espiral (fig. 109).

Los planos pueden ser físicamente curvados o quebrados si así se desea (fig. 110).

Técnicas de construcción

Cualquier tipo de material en hojas puede ser utilizado para hacer planos seriados. Las hojas de acrílico son excelentes si se desea un efecto de transparencia. Las hojas de madera enchapada pueden ser utilizadas para la construcción en una escala muy grande. Casi todos los modelos mostrados en este capítulo han sido hechos con cartón grueso, que puede ser manejado con facilidad. El grosor del cartón asegura su firme adherencia a la base, si la hay.

Para la construcción con cartón, los mejores adhesivos son los que pegan en forma rápida y fuerte. Los planos verticales deben erigirse en posición vertical, sobre una base horizontal, para conseguir el máximo de firmeza y estabilidad. Los planos inclinados sólo son posibles cuando tanto los materiales como el adhesivo son extremadamente fuertes y cuando el borde de unión de cada plano haya sido cortado oblicuamente con precisión (fig. 111).

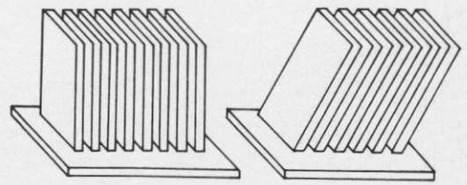
Para refuerzo, puede utilizarse un plano o planos adicionales, junto a los bordes superiores o laterales de los planos. Esto se recomienda solamente cuando tales bordes de los planos desempeñen un papel insignificante en la figura final del diseño (fig. 112).

Los planos seriados que sean dispuestos en forma horizontal exigen un adhesivo muy fuerte si sólo se usa una tabla vertical como sostén (fig. 113).

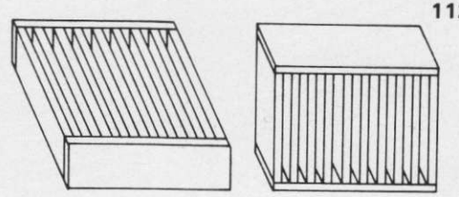
Normalmente, deben usarse dos o más tablas verticales para los planos seriados en horizontal (fig. 114).

Puede utilizarse un centro vertical de sostén para planos seriados horizontales de una figura más libre (fig. 115).

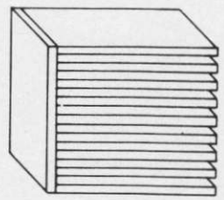
111



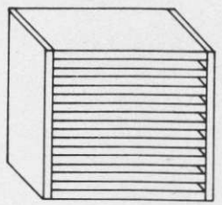
112



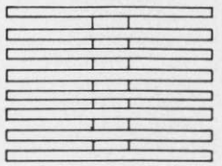
113



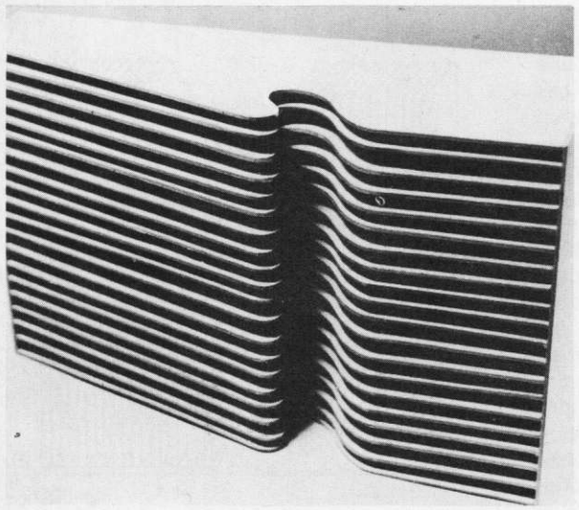
114



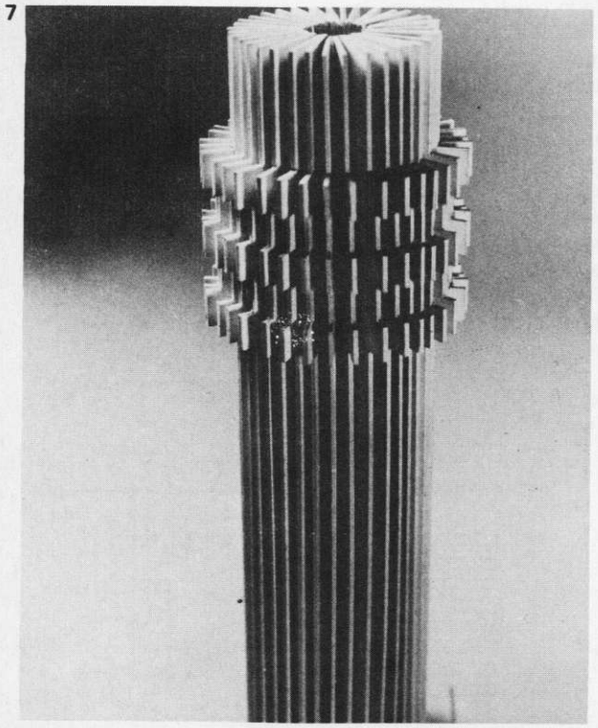
115



116



117



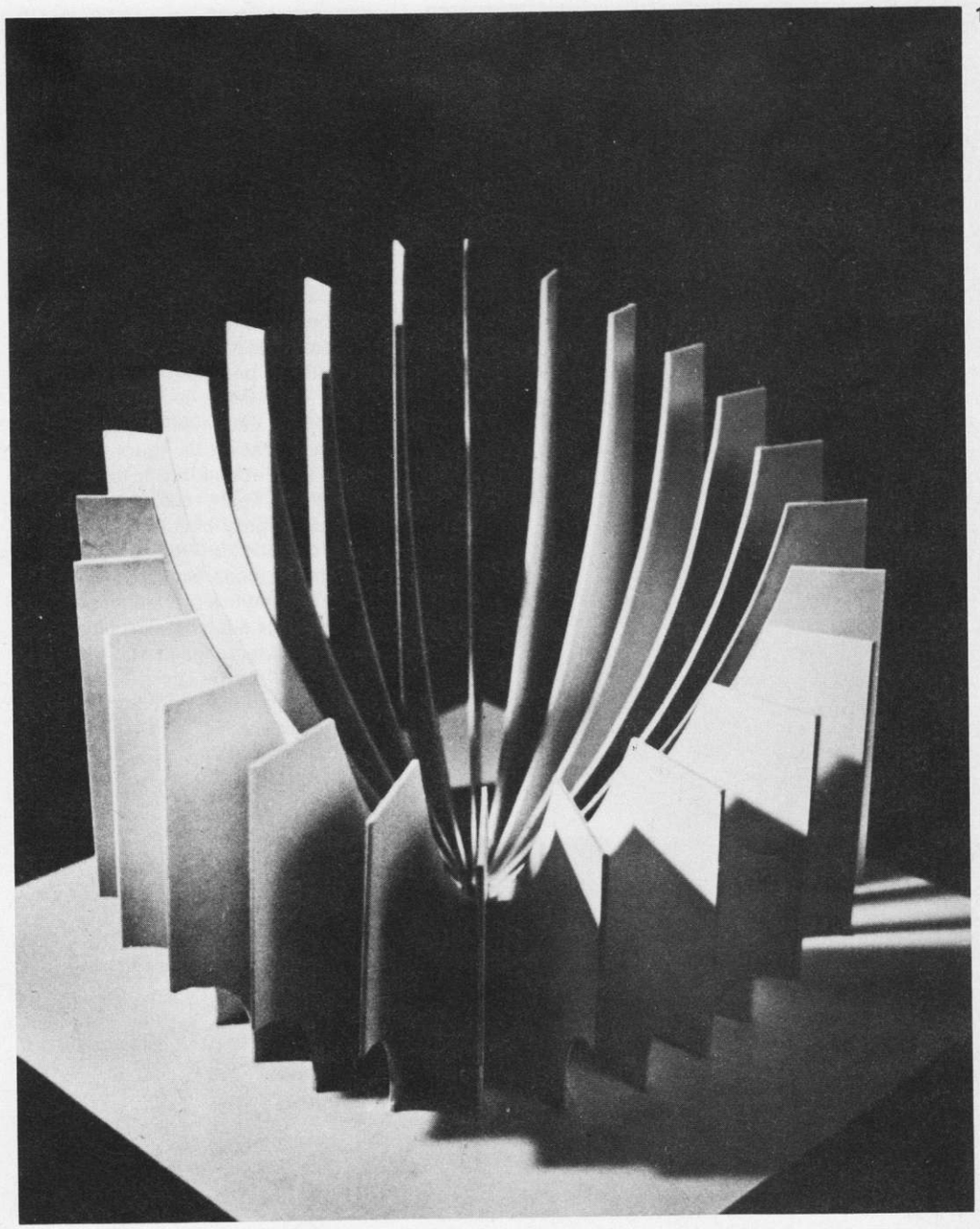
Las figuras 116 a 131 ilustran un mismo problema de diseño, en proyectos realizados por distintos estudiantes.

Figura 116. Ésta aparece construida con planos horizontales consecutivos, que son repetidos tanto en figura como en tamaño. Los planos son paralelos entre sí, con iguales espacios intermedios, y están sujetos a dos planos verticales.

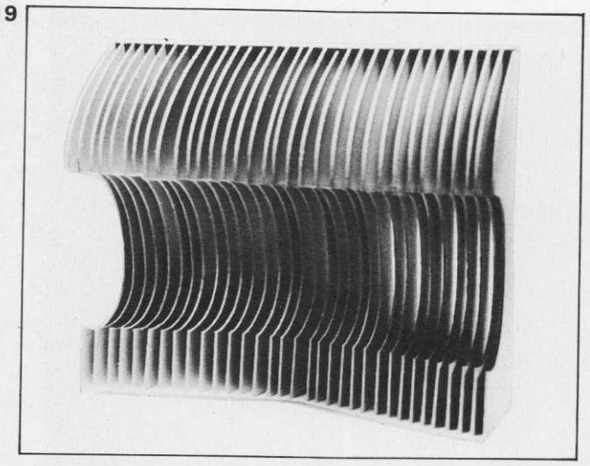
Figura 117. Aquí una cantidad de planos verticales repetitivos son colocados alrededor de un eje vertical común. El resultado es una figura cilíndrica.

Figura 118. La disposición es similar a la de figura 117. Los planos consecutivos aumentan gradualmente en altura desde el frente hacia el fondo. La sensación volumétrica de la forma no es muy fuerte, debido a que el espaciamiento entre planos es bastante amplio a lo largo de todo el perímetro.

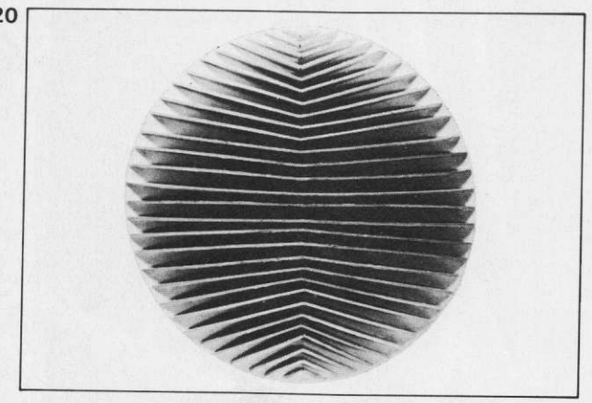
118



119



120



121

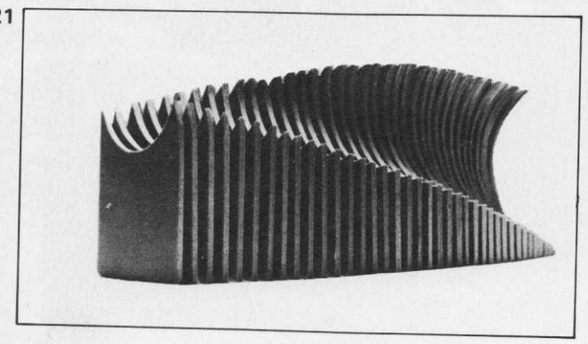


Figura 119. De un vistazo, parecería que todos los planos consecutivos son iguales, tanto en figura como en tamaño. Un examen más atento revela que tienen una sutil gradación de figura. Mientras la parte superior de la estructura es totalmente recta, la inferior se tuerce sutilmente hacia una figura en V.

Figura 120. Con un plano recto en el centro de la estructura, todos los otros se tuercen en ángulos cada vez más agudos. La forma volumétrica sugerida es la de una esfera.

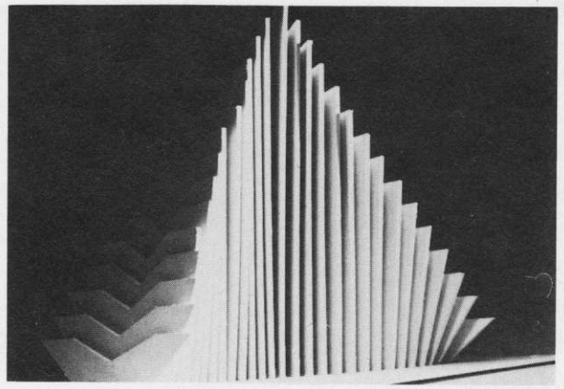
Figura 121. Esta muestra el uso eficaz de una gradación de figura. Cada plano ha sido obtenido por la combinación de una figura rectangular positiva y de una figura circular negativa. La primera tiene un ancho constante, pero la segunda se hace cada vez mayor y se mueve gradualmente hacia abajo y hacia adelante. Los filos rectos de la figura rectangular son totalmente rectos al frente, pero los de atrás cambian gradualmente hacia curvas, para establecer un eco a las figuras circulares negativas.

Figura 122. Esta es una estructura triangular que deriva de la gradación de los planos consecutivos, tanto en figura como en tamaño. Los planos cortos y anchos, con figura de V, que están en ambos costados, se hacen altos y estrechos hacia el medio, por la gradación de tamaño y figura.

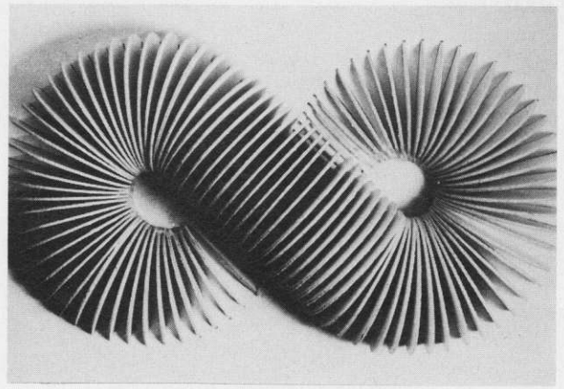
Figura 123. En esta estructura se han utilizado planos circulares de exactamente igual tamaño y figura. El efecto de hundimiento de los planos del fondo se debe a la variación de posición. Las dos vueltas que componen la figura giobal, similar al número 8, derivan de una variación de dirección.

Figura 124. El uso de una gradación de figura es aquí bastante obvio y da una sensación de planos que surgen desde la base o que se hunden en ella.

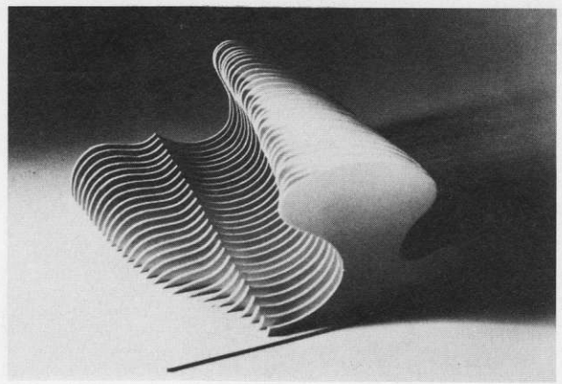
122



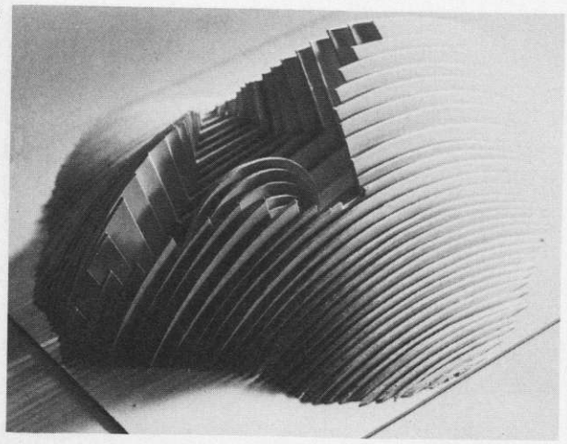
123



124



125



126

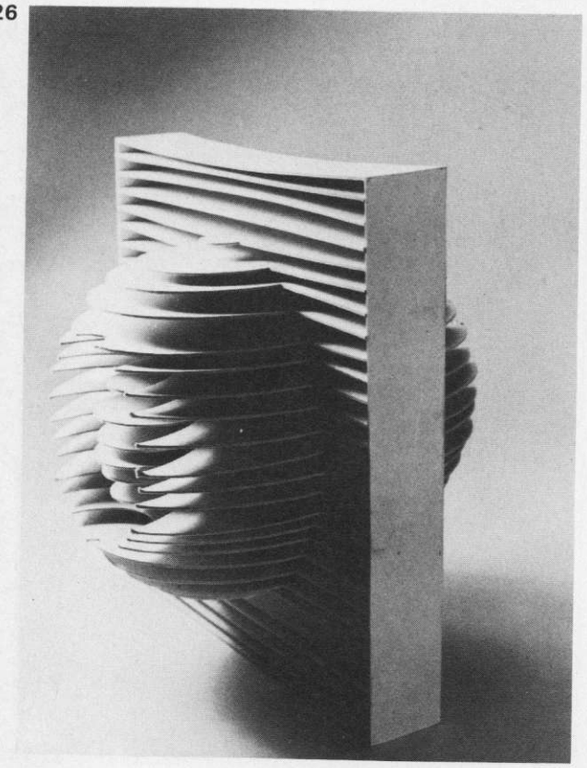


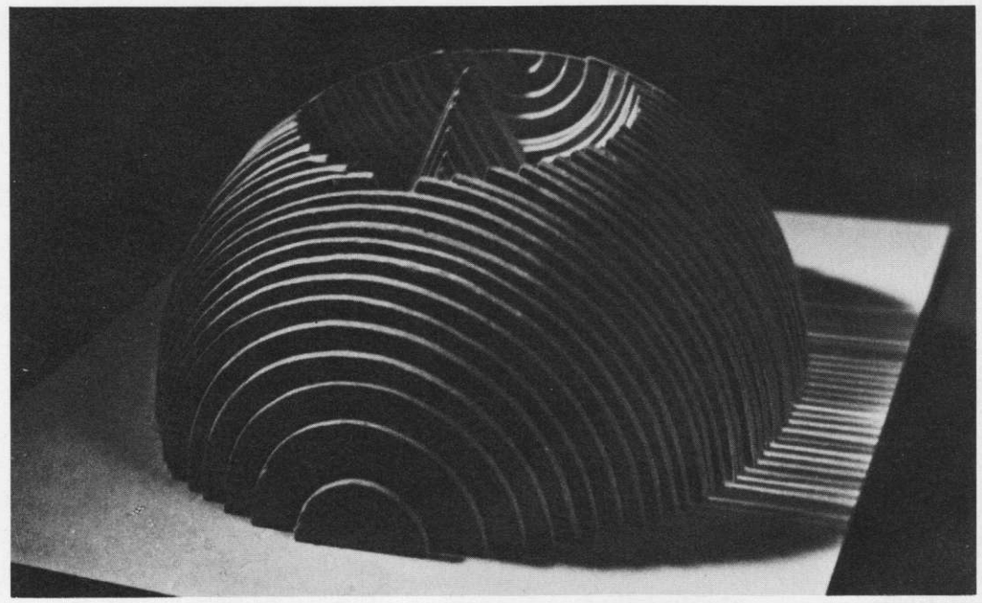
Figura 125. La gradación de forma es utilizada aquí en forma bastante complicada. La forma surge nítidamente desde la base, pero se divide en el centro, revelando otra forma dentro de la profunda concavidad.

Figura 126. Esta es una forma vertical erecta, con una semiesfera que se proyecta al frente y otra al fondo. Ambas semiesferas tienen una porción cóncava, dentro de la cual se aloja una semiesfera más pequeña. El efecto es similar al de la figura 125.

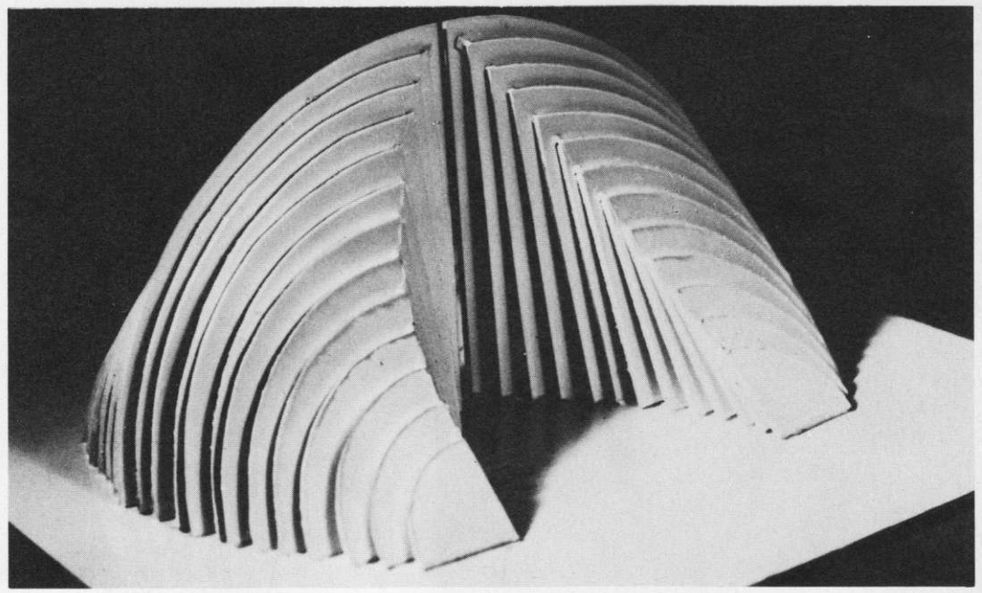
Figura 127. El juego de concavidad y convexidad es aquí igual al de la figura 125.

Figura 128. Aquí la figura semiesférica ha sido dividida en dos partes y la figura de cada parte ha sido luego modificada. Una prominente figura negativa se convierte ahora en el punto focal del diseño.

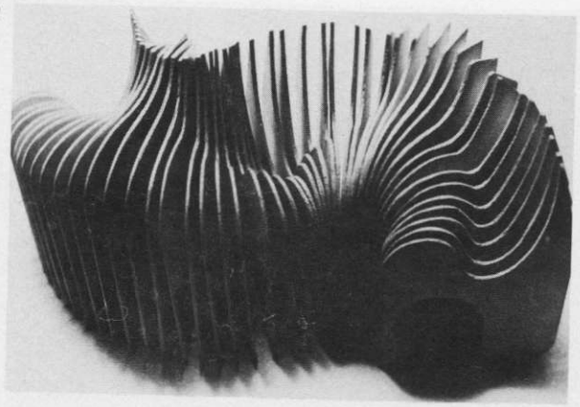
127



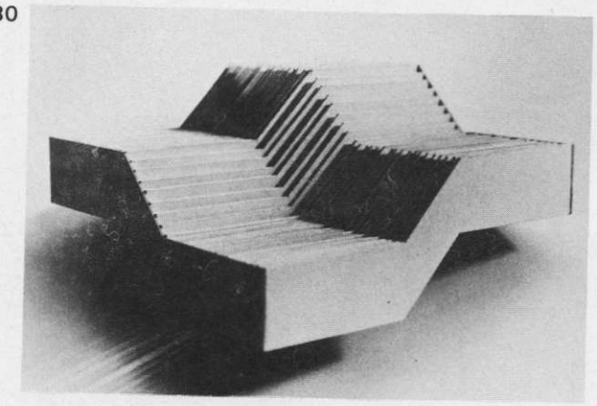
128



129



130



131

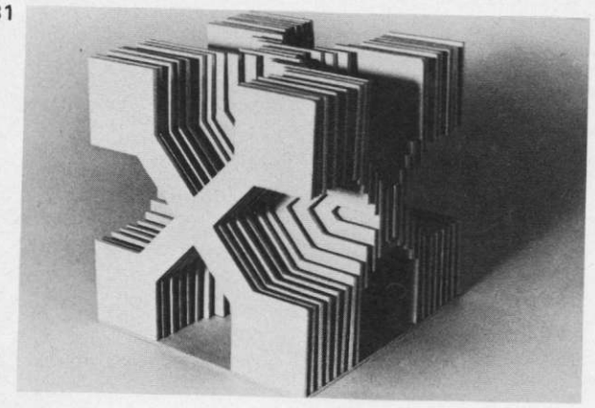


Figura 129. En esta forma, la gradación de figura es utilizada en combinación con la variación de dirección. Nótese la introducción de una figura negativa que corre como un túnel por la parte inferior del diseño.

Figura 130. Todos los planos de esta estructura son repetitivos en figura y en tamaño, pero quedan dispuestos en una ligera manera de zigzag por medio de la variación de posición. La disposición en zigzag es un eco a las figuras de los planos mismos. El resultado es una interesante figura con caras facetadas e idéntica apariencia desde delante, detrás, izquierda y derecha.

Figura 131. Esta no sólo tiene apariencia idéntica desde los cuatro costados, sino también desde arriba y desde abajo. En los seis casos se muestra la letra X, con igual figura y tamaño. Para construir esto, se introducen figuras negativas en planos cuadrados consecutivos, que son repetitivos en tamaño. Algunos son repetitivos en figura y algunos están graduados en figura.

3. Estructuras de pared

Cubo, columna y pared

Comenzando con un cubo, podemos colocar un segundo cubo por encima y un tercero por debajo (fig. 132).

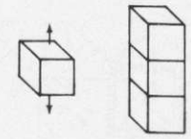
Ahora tenemos una columna de tres cubos, que puede ser ampliada en cualquier dirección para incluir la cantidad deseada de cubos (fig. 133).

La columna puede ser repetida asimismo a la izquierda y a la derecha. Cuando se levantan una cantidad de columnas, una junto a la otra, tenemos una pared. La estructura de pared es básicamente bi-dimensional. El cubo ha sido repetido en dos direcciones, primero en la dirección vertical y luego en la horizontal.

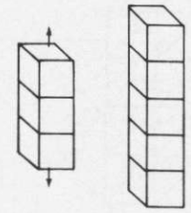
Cada cubo es una célula espacial en la estructura de pared. Estas células espaciales son dispuestas de manera bi-dimensional, sobre un plano frontal (fig. 134).

Todas las estructuras bi-dimensionales formales pueden convertirse en estructuras de pared con el agregado de cierta profundidad, y sus subdivisiones estructurales pueden convertirse en células espaciales (fig. 135).

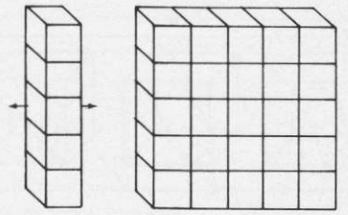
132



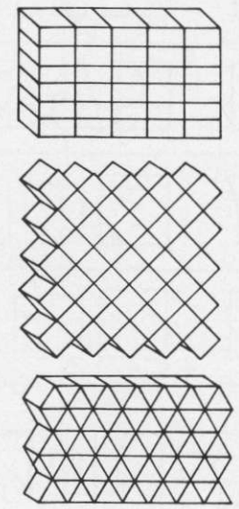
133



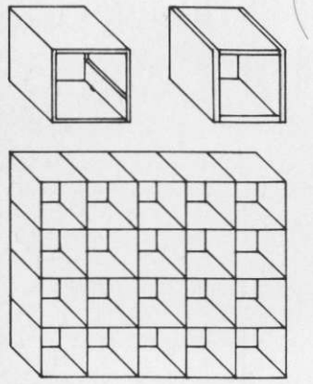
134



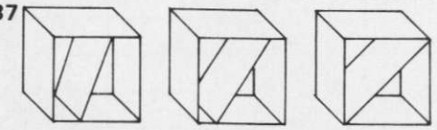
135



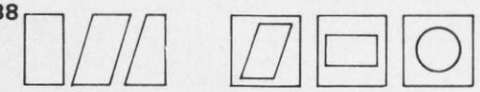
136



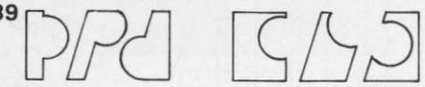
137



138

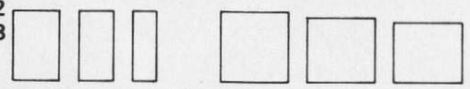


139

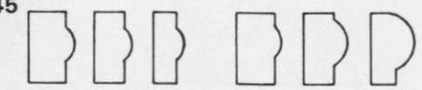


140
141

142
143



144
145



Células espaciales y módulos

Para explorar las diversas posibilidades de hacer estructuras de pared, podemos primeramente doblar una tira de cartón fino, o pegar entre sí cuatro trozos de cartón grueso, a fin de formar un cubo que carece de los planos delantero y trasero (fig. 136).

Esta es nuestra célula espacial más simple. Podemos ver a través de ella y colocar dentro un módulo. El módulo puede ser tan simple como un plano liso, utilizado repetitivamente o con ligeras variaciones (fig. 137).

Como figura plana, el módulo puede ser positivo o negativo (fig. 138).

Puede ser una combinación de dos figuras positivas o de una positiva y una negativa (fig. 139).

Los módulos pueden ser utilizados en gradación de figura si así lo desea (fig. 140).

La gradación de tamaño puede ser obtenida:

a) Aumentando o reduciendo proporcionalmente (fig. 141)

b) Cambiando solamente el ancho (fig. 142)

c) Cambiando solamente la altura (fig. 143).

Si el módulo es una combinación de dos figuras menores, el tamaño de una puede ser mantenido constante, mientras varía el de la otra (fig. 144). O ambas figuras pueden variar de maneras diferentes (fig. 145).

Variaciones posicionales de los módulos

Las variaciones en la posición de los módulos pueden ser obtenidas:

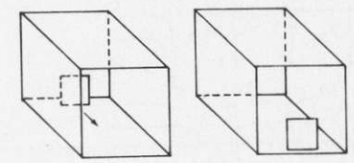
a) Moviendo la figura hacia adelante o hacia atrás (fig. 146)

b) Moviendo la figura hacia arriba o hacia abajo (fig. 147)

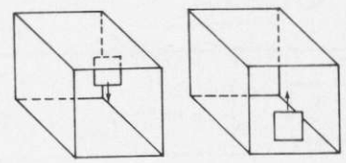
c) Moviendo la figura hacia la izquierda o la derecha (fig. 148)

d) Reduciendo la altura o el ancho de la figura, para sugerir la sensación de que se hunde en alguno de los planos adyacentes (fig. 149).

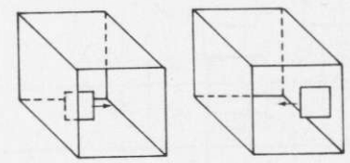
146



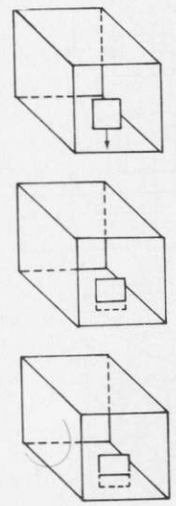
147



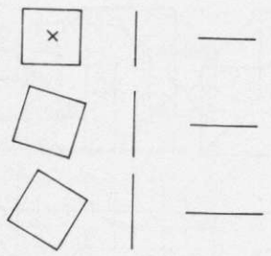
148



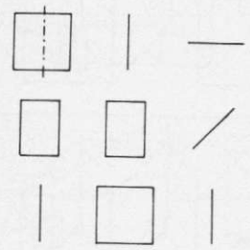
149



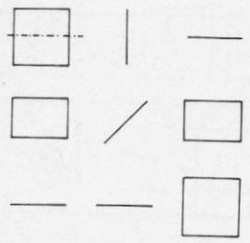
150



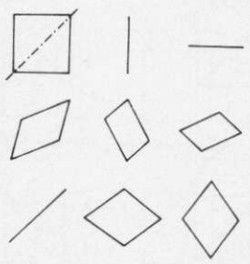
151



152



153



Variaciones de dirección de los módulos

Dentro de cada célula espacial, el módulo puede ser rotado en cualquier dirección deseada. En cada paso de la rotación, será visto desde el frente en forma distinta.

Observemos los efectos a rotar una figura cuadrada. En las figuras 150 a 153, la primera columna vertical representa la visión frontal, la segunda a la visión lateral y la tercera a la visión plana.

La rotación sobre el plano de la misma figura no cambia a ésta desde la visión frontal. La visión lateral de la figura es siempre una línea. La visión plana de la figura es también siempre una línea (fig. 150).

La rotación sobre un eje vertical comienza con la figura como cuadrada desde la visión frontal y la convierte en un rectángulo cada vez más estrecho hasta que disminuye finalmente hasta ser una línea. Desde la visión lateral es primero una línea que gradualmente se convierte en un cuadrado. En la visión plana, la figura continúa siendo una línea de longitud constante que varía de dirección (fig. 151).

La rotación sobre un eje horizontal es muy similar a la rotación sobre un eje vertical. La figura sigue siendo una línea de longitud constante, no en la visión plana sino en la visión lateral (fig. 152).

La rotación sobre un eje diagonal conduce a resultados más complicados. En la visión frontal, el cuadrado se transforma en una línea diagonal tras una serie de paralelogramos graduados. Desde la visión lateral y la plana se ven diferentes figuras de paralelogramos (fig. 153).

Módulos como planos distorsionados

Si es deseable obtener mayores efectos tri-dimensionales, los módulos pueden apartarse de las características de un plano liso. Dos o más planos lisos pueden utilizarse para la construcción de un módulo, o un solo plano liso puede ser tratado de las maneras siguientes para convertirse en un módulo:

a) Curvándolo (fig. 154).

b) Doblándolo por una o más líneas rectas (fig. 155).

c) Doblándolo por una o más líneas curvas (fig. 156).

d) Cortándolo y curvándolo (fig. 157).

e) Cortándolo y doblándolo (fig. 158).

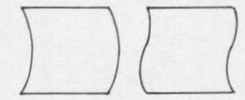
Estructuras de pared que no permanecen lisas

Cuando una célula espacial es colocada sobre otra, la frontalidad lisa de la estructura de pared puede hacerse ligeramente más tridimensional con una variación de posición (fig. 159).

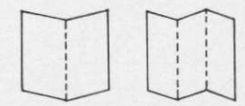
Puede obtenerse un efecto similar al variar las profundidades de las células espaciales (fig. 160).

La variación de dirección en la disposición de las células espaciales es posible, pero debe ser hecha con cuidado, ya que el exceso de rotación puede hacer demasiado prominentes los planos laterales de las células espaciales.

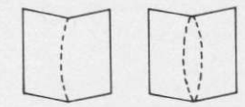
154



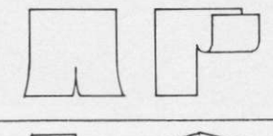
155



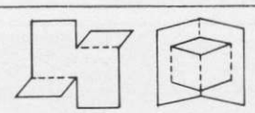
156



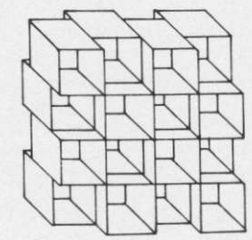
157



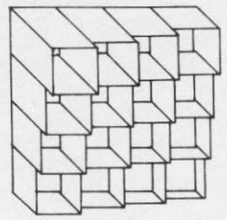
158



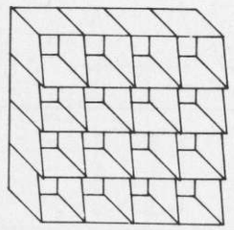
159



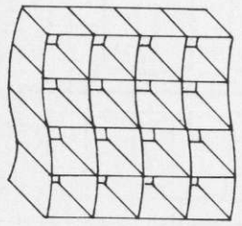
160



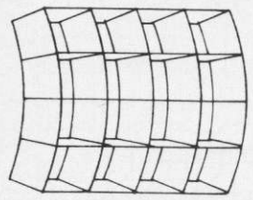
161



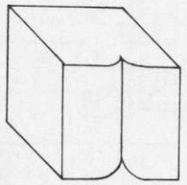
162



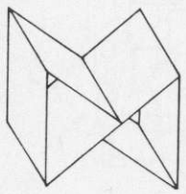
163



164



165



Modificaciones de las células espaciales

Una mayor cualidad tri-dimensional puede obtenerse con la modificación de las células espaciales.

Pueden recortarse los planos de las células espaciales, para que algunos de los filos frontales no sean perpendiculares a los planos laterales o de la base (fig. 161).

Los filos rectos de las células espaciales pueden ser cambiados por filos curvilíneos (fig. 162).

Los planos exteriores de las células espaciales pueden ser construidos para que no estén en ángulos rectos entre sí (fig. 163).

Las células espaciales pueden ser diseñadas de tal manera que sean parte de la estructura del módulo (fig. 164).

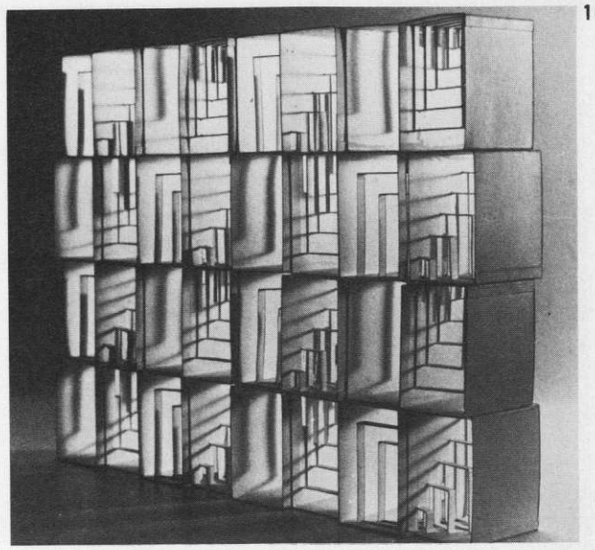
Las células espaciales pueden convertirse en módulos, o podemos tener módulos que sirven para erigir una estructura de pared sin el uso de células espaciales (fig. 165).

Las figuras 166 a 178 son ejemplos de proyectos de estudiantes, resolviendo un problema de diseño para crear estructuras de pared.

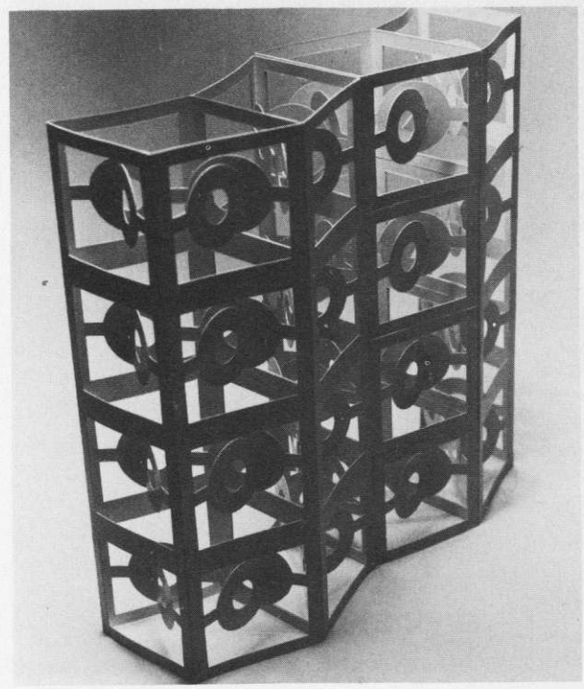
Figura 166. Las células espaciales están dispuestas aquí con una ligera variación de posición. Los módulos lineales son, en realidad, parte de los planos continentes de las células espaciales, y han sido tratados de una manera similar a la de la figura 158.

Figura 167. Los módulos son figuras recortadas de los planos laterales de las células espaciales. Están trabados de una manera interesante. Las células espaciales están hechas de cubos de cartón, omitiendo los planos superior e inferior, y por tanto se convierten en paralelogramos en la visión plana cuando los filos laterales son arrastrados por los módulos entrelazados.

166



167



168

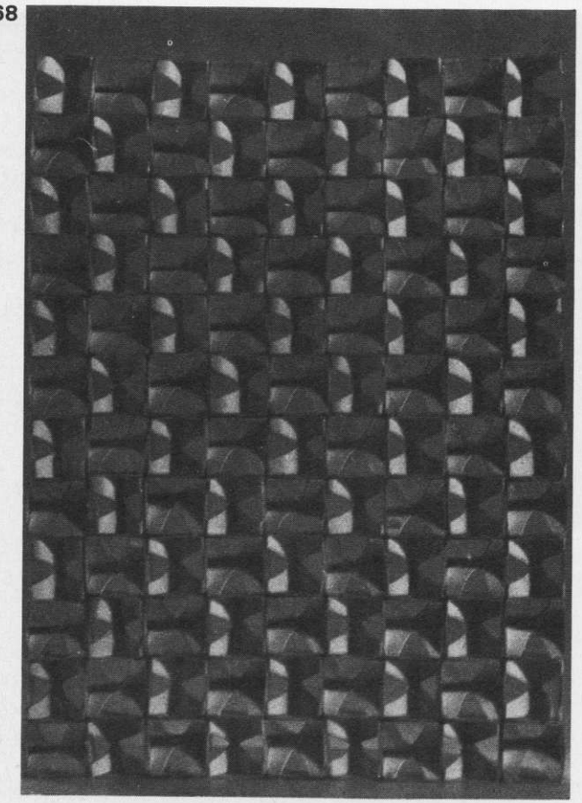


Figura 168. Las células espaciales han sido aquí especialmente construidas, de manera similar a la de figura 164. Se han hecho figuras triangulares negativas sobre los planos retorcidos. El resultado da una sensación táctil de textura después que las células espaciales han sido repetidas muchas veces.

Figura 169. Las células espaciales, que se interpenetran entre sí, han sido dispuestas con cierta variación de posición. Las zonas interpenetradas han sido deformadas mediante corte y quebrantamiento, pero no se han introducido módulos separados en las células espaciales.

169

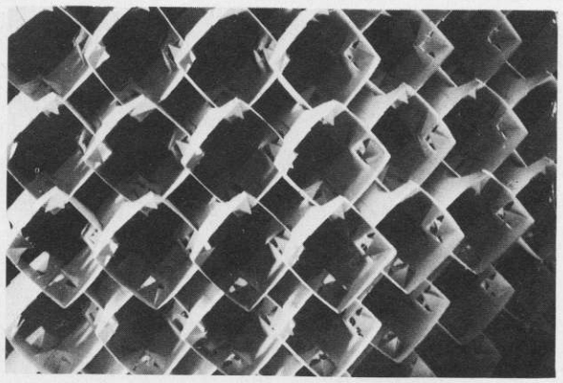
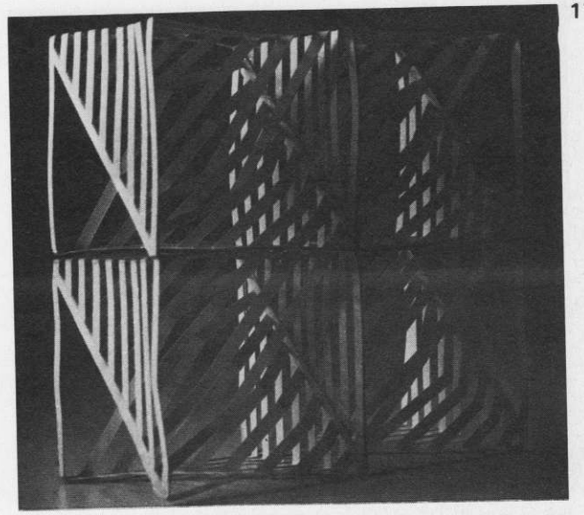


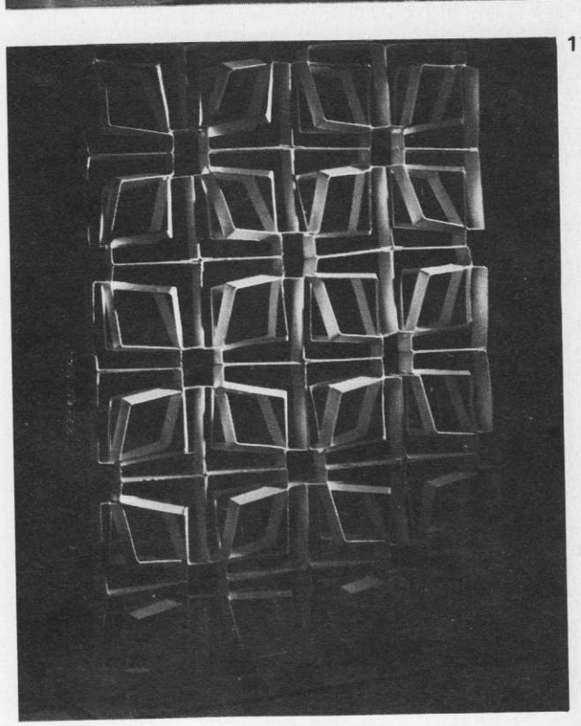
Figura 170. Similar a la figura 166. Los módulos son aquí tiras cortadas y plegadas hacia adentro desde los planos laterales de las células quitadas. Todo el diseño tiene un efecto transparente, con delicados elementos lineales.

Figura 171. Las células espaciales han sido tan transformadas que se convierten en módulos de carácter muy lineal. La profundidad del diseño es escasa, pero contiene una gran cantidad de planos inclinados en varias direcciones.

170



171



172

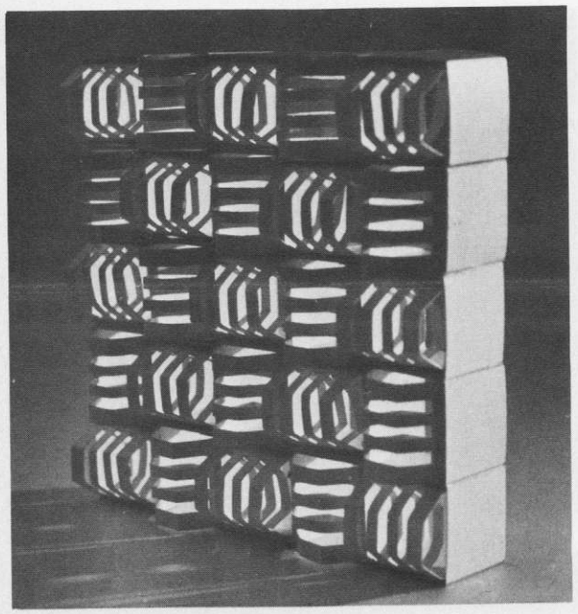


Figura 172. Los módulos son colocados en cada célula espacial con una ligera proyección desde el plano frontal de la estructura de pared.

Figura 173. La célula espacial y el módulo son una misma cosa en este diseño. En la construcción se han usado planos triangulares en lugar de planos cuadrados.

173

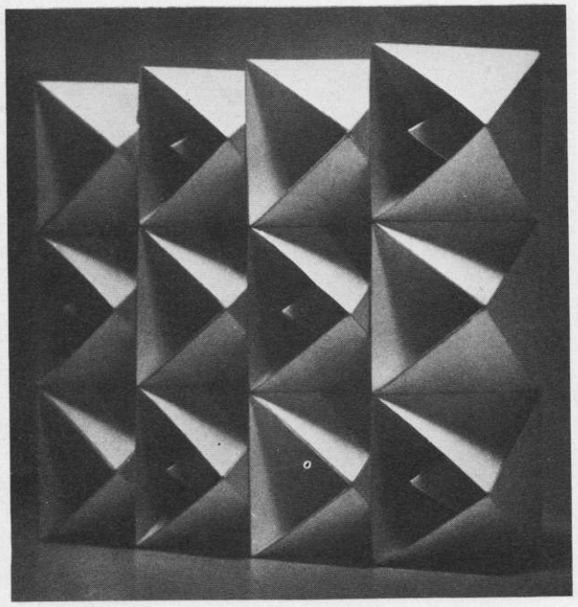
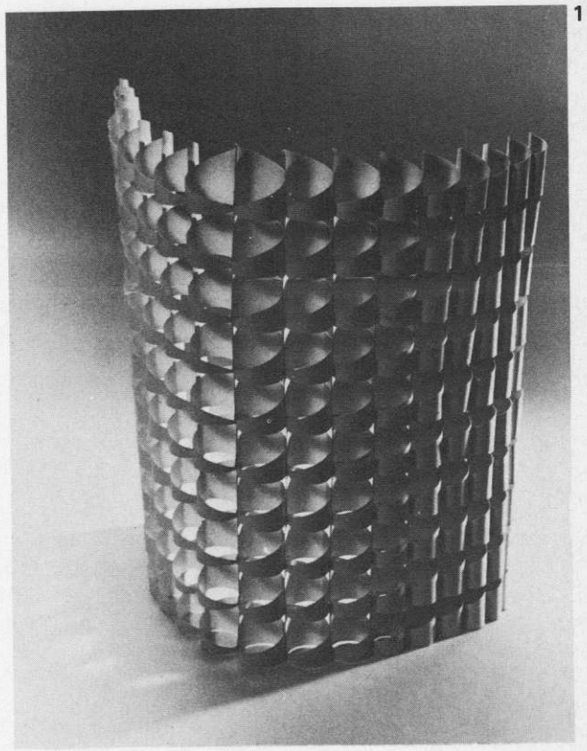


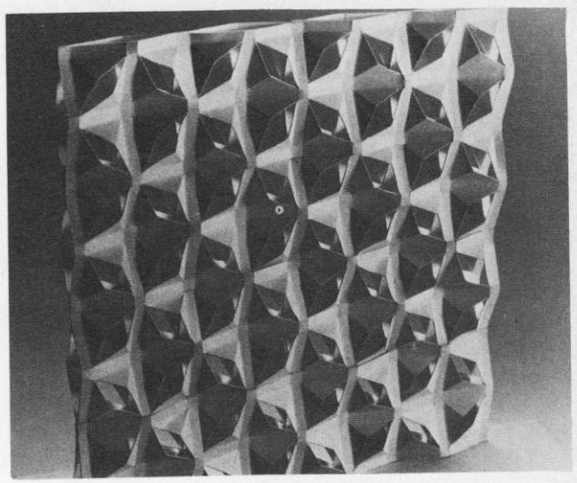
Figura 174. Aquí también las células espaciales sirven como módulos. La disposición muestra una gradación de figuras cilíndricas. Como el contacto entre las superficies es bastante restringido, toda la estructura de pared es muy flexible y puede ser curvada a voluntad.

Figura 175. La superficie facetada de esta estructura da un efecto de relieve. Esto se consigue cortando, marcando y plegando los planos lisos continuos.

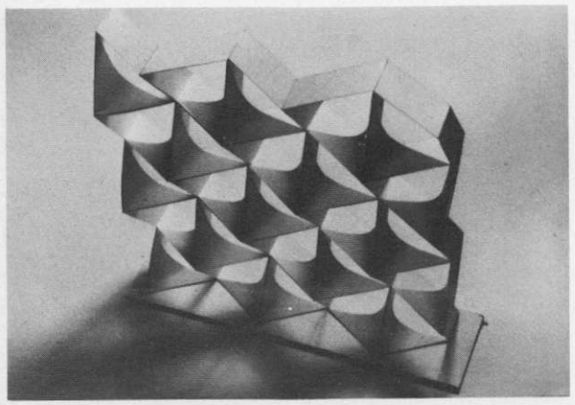
174



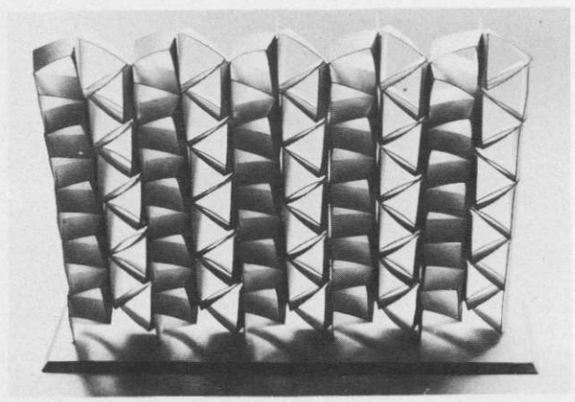
175



176



177



178

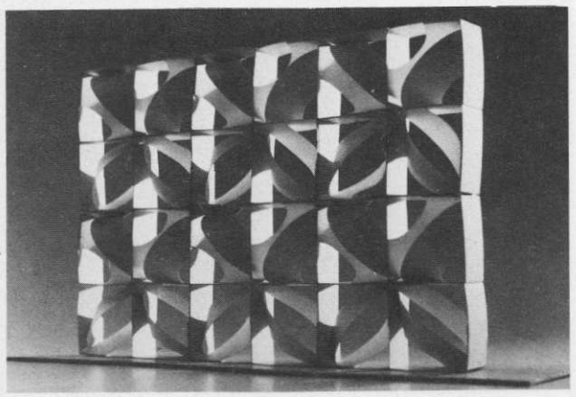


Figura 176. Cada célula espacial es triangular. El módulo interior es un trozo de plano plegado retorcido que une dos filos de la célula espacial.

Figura 177. Una tira de cartón delgado ha sido plegada tres veces, para formar una célula espacial que es también el módulo. Al plegar, el principio y el fin de la tierra no se superponen, sino que el filo derecho del principio de la tira toca al filo izquierdo del final. Esto provoca un ligero retorcimiento de los planos en la forma resultante.

Figura 178. Las células espaciales son cúbicas y están dispuestas directamente encima o adyacentes con su vecina. Los módulos están hechos de tiras retorcidas de cartón fino.

4. Prismas y cilindros

El prisma básico y sus variaciones

Como hemos visto en el último capítulo, una cantidad de cubos, puestos directamente uno sobre otro, construyen una columna. Esa es en verdad la figura del prisma.

Un prisma es una forma con extremos que son figuras paralelas, rectilíneas, similares e iguales, y con lados que son rectángulos o paralelogramos. Para mayor comodidad, podemos escoger un prisma básico que tiene extremos paralelos y cuadrados, y con lados rectangulares que son perpendiculares a los extremos (fig. 179).

A partir de ese prisma básico, pueden desarrollarse las siguientes variaciones:

a) Los extremos cuadrados pueden cambiarse por extremos triangulares, poligonales o de forma irregular (fig. 180).

b) Los dos extremos pueden no ser paralelos entre sí (fig. 181).

c) Los dos extremos pueden no ser de la misma figura, tamaño o dirección (fig. 182).

d) Los extremos pueden no ser planos lisos (fig. 183).

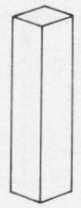
e) Los filos pueden no ser perpendiculares a los extremos (fig. 184).

f) Los filos pueden no ser paralelos entre sí (fig. 185).

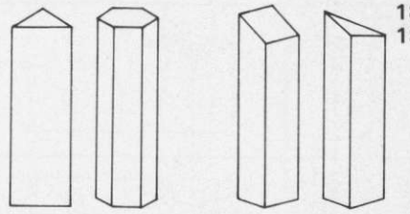
g) El cuerpo del prisma puede ser curvado o torcido (fig. 186).

h) Los filos del prisma pueden ser curvados o torcidos (fig. 187).

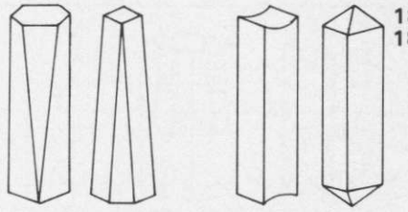
179



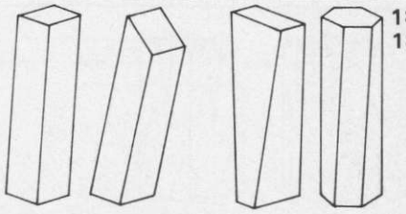
180
181



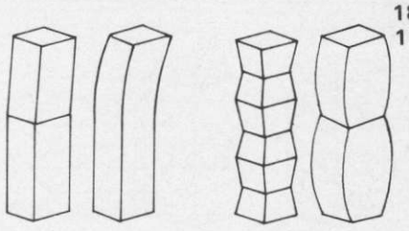
182
183



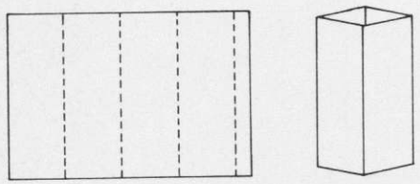
184
185



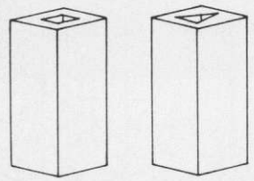
186
187



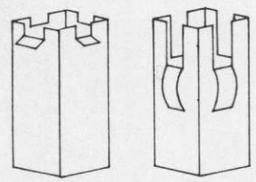
188



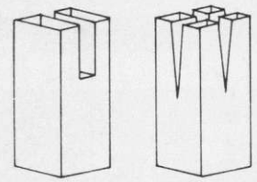
189



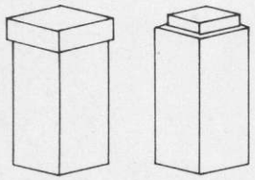
190



191



192



El prisma hueco

Si el prisma no está hecho con materiales sólidos sino con cartón, las variaciones y transformaciones pueden ser más complicadas.

Hagamos un prisma hueco, utilizando una hoja de cartón delgado que es marcado, plegado y luego pegado. Los extremos de este prisma quedan abiertos, sin planos que los cubran (fig. 188).

Los extremos, los filos y las caras de este prisma pueden ser tratados de maneras especiales.

Tratamientos de los extremos

Los extremos del prisma hueco pueden ser tratados de una o más de las siguientes maneras:

a) Los extremos pueden ser cubiertos, pero en lugar de utilizar un plano continuo y liso para cada extremo, podemos usar planos que contengan figuras negativas (fig. 189).

b) Los filos o lados junto a ambos extremos pueden ser cortados con diferentes figuras, y las resultantes piezas sueltas pueden ser dobladas o plegadas sobre sí mismas si es necesario (fig. 190).

c) Los extremos pueden ser divididos en dos o más secciones (fig. 191).

d) Una figura especialmente diseñada puede ser formada o agregada a los extremos (fig. 192).

Tratamiento de los filos

El tratamiento de los filos afecta habitualmente también a las caras. La desviación de los filos paralelos no sólo cambia la rectangularidad de las figuras de las caras, sino que a veces conduce a caras deformadas o facetadas que pueden ser muy interesantes. Los extremos de los prismas pueden asimismo ser modificados.

Nuestras ilustraciones muestran aquí los siguientes tratamientos:

a) Filos rectos no paralelos entre sí (fig. 193).

b) Filos ondulantes (fig. 194).

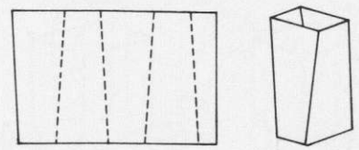
c) Figuras de cadena o de rombo a lo largo de los filos (fig. 195).

d) Figuras circulares colocadas a lo largo de filos rectos paralelos (fig. 196).

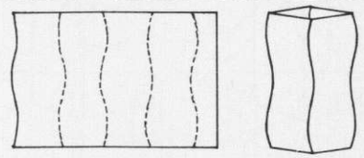
e) Filos que se entrecruzan (fig. 197).

f) Esquema complicado, marcado sobre la superficie del cartón delgado antes de ser doblado para formar un prisma. Algunas de las líneas del esquema también son los filos del prisma (fig. 198).

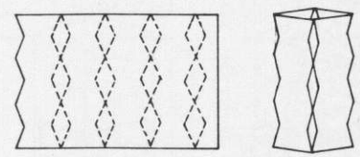
193



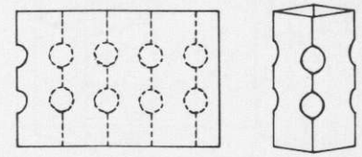
194



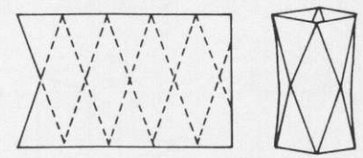
195



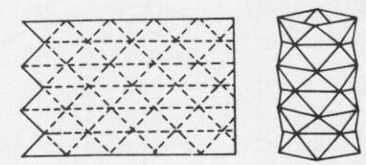
196



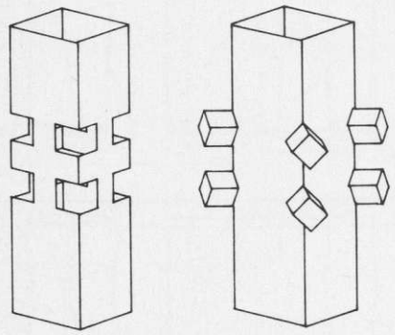
197



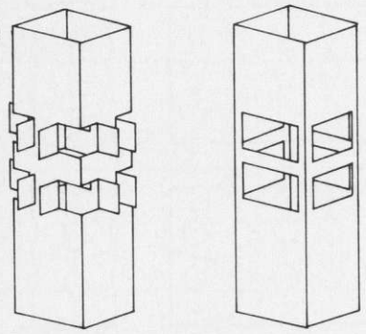
198



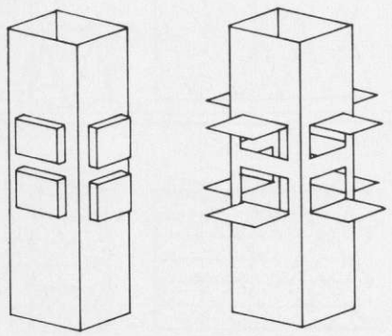
199
200



201
202



203
204



Otros tratamientos de los filos pueden incluir la simple sustracción o agregado de figuras a lo largo de los filos.

En la sustracción, se introducen figuras negativas a lo largo de los filos. Como cada filo es la unión de dos caras, las figuras negativas se hacen recortando algunas partes de ambas caras adyacentes (fig. 199).

Además, se pueden agregar a los filos ciertas figuras hechas separadamente. Tales figuras pueden cubrir o sobresalir un poco de las caras adyacentes, a menos que las figuras sean estrictamente planas (fig. 200).

Es posible tener líneas cortadas y marcadas, o figuras parcialmente cortadas a lo largo de los filos y en las caras adyacentes. Al doblar tales figuras hacia adentro (o a veces también hacia afuera) sin separarlas, se crea un juego de formas positivas y negativas (fig. 201).

Tratamiento de las caras

El tratamiento de las caras es prácticamente el mismo que el de los filos.

En la sustracción, se hacen agujeros en las caras. Puede usarse cualquier figura negativa que no provoque el aflojamiento de las partes o el debilitamiento de la estructura (fig. 202).

El agregado permite que toda figura de base lisa pueda ser adherida a las caras lisas. Pueden siempre agregarse figuras adicionales, que serán ajustadas a las figuras negativas en las caras (fig. 203).

Las figuras semicortadas pueden permanecer transversales o dobladas hacia adentro o hacia afuera en las caras del prisma (fig. 204).

Unión de prismas

Dos o más prismas pueden ser utilizados en un diseño, uniéndolos de varias maneras.

La unión puede ser hecha fácilmente por el contacto entre caras, ya sean los prismas paralelos o no paralelos. La unión en este último caso es muy fuerte siempre que el adhesivo sea muy fuerte (fig. 205).

El contacto entre los filos es más débil, porque la zona en que se puede aplicar el adhesivo a lo largo de los filos es muy limitada. En la construcción con cartón, es posible que la cara de un prisma se prolongue hasta formar la cara del otro prisma, en cuyo caso la resistencia del plano de la cara será la resistencia de la unión. Si el cartón es delgado, un prisma queda haciendo un gozne con el otro y la unión es flexible (fig. 206).

El contacto por los extremos duplica la altura del prisma. En este caso deberá hacer planos lisos que cubran los extremos, y la unión se hace en verdad por la adhesión de un plano al otro, igual que en el contacto entre caras (fig. 207).

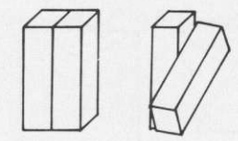
El extremo de un prisma puede ser unido a la cara de otro, haciendo una figura de T o una figura de L. Si los extremos de los prismas han sido cortados en inglete, también puede formarse una figura de L (fig. 208).

Dos prismas cruzados pueden ser trabados entre sí cuando el cuerpo de un prisma ajusta en el cuerpo del otro (fig. 209).

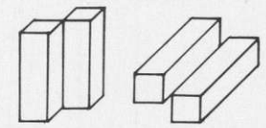
Podemos construir dos prismas cruzados que estén íntegramente unidos entre sí, construyendo con el mismo trozo de cartón algunas de las caras dobles (fig. 210).

La unión de una cantidad de prismas, que se juntan por los extremos, puede conducir a una estructura de marco o a una estructura con continuidad lineal (fig. 211).

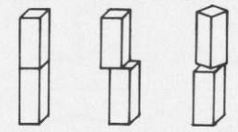
205



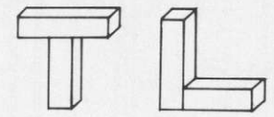
206



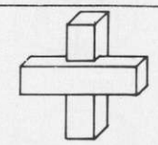
207



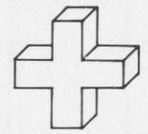
208



209

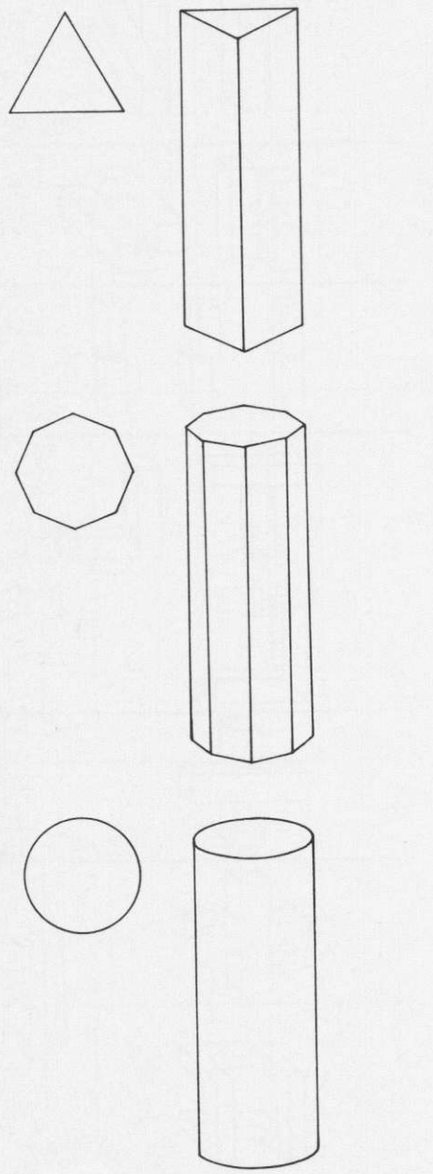


210



211

212



El prisma y el cilindro

La cantidad mínima de planos que podemos usar para las caras de un prisma son tres, lo que deriva en un prisma con extremos triangulares, arriba y abajo.

Si aumentamos la cantidad de caras en el prisma, las figuras de arriba y abajo cambiarán de triángulos a polígonos. Cuanto más lados tiene un polígono, se hace menos anguloso y más cercano al círculo. Por ejemplo, un octágono es mucho menos anguloso que un triángulo, y así un prisma octagonal tiene un cuerpo más redondo que otro triangular.

Aumentando infinitamente la cantidad de lados de un polígono, se llega al círculo. De la misma manera, aumentando infinitamente la cantidad de lados de un prisma se crea por último un cilindro (fig. 212).

El cuerpo de un cilindro queda definido por un plano continuo, sin principio ni fin, y las partes superior e inferior de un cilindro tienen la figura de un círculo.

Variaciones de un cilindro

Podemos decir que el cilindro común se compone de dos extremos circulares y paralelos del mismo tamaño y de un cuerpo perpendicular a esos extremos. De esa base, son posibles las siguientes desviaciones:

a) El cuerpo puede estar sesgado (fig. 213).

b) Los extremos pueden ser de cualquier figura con ángulos redondeados (fig. 214).

c) Los extremos pueden no ser paralelos entre sí (fig. 215).

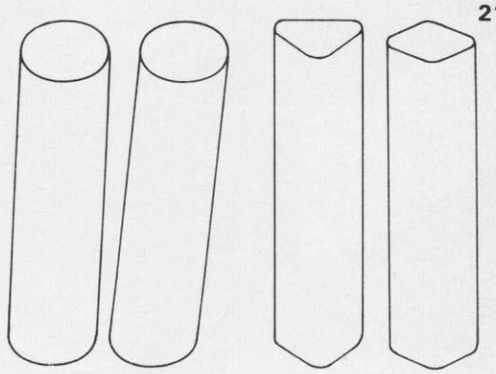
d) Los extremos pueden ser de diferentes tamaños o figuras (fig. 216).

e) El cuerpo puede estar curvado (fig. 217).

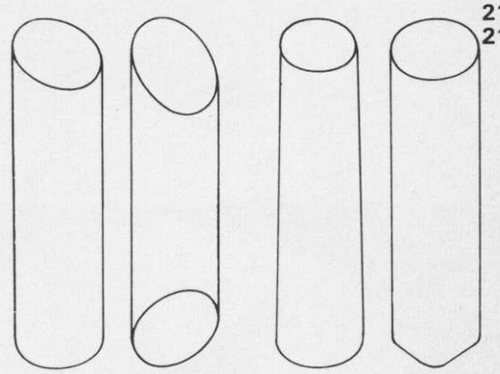
f) El cuerpo puede expandirse o contraerse a intervalos (fig. 218).

El tratamiento de los extremos y de la cara puede ser aplicado al cilindro de la misma manera en que es aplicado al prisma.

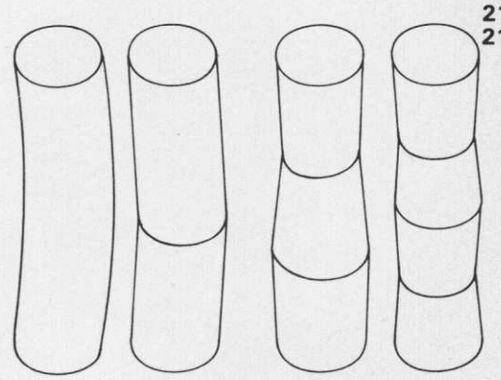
213
214



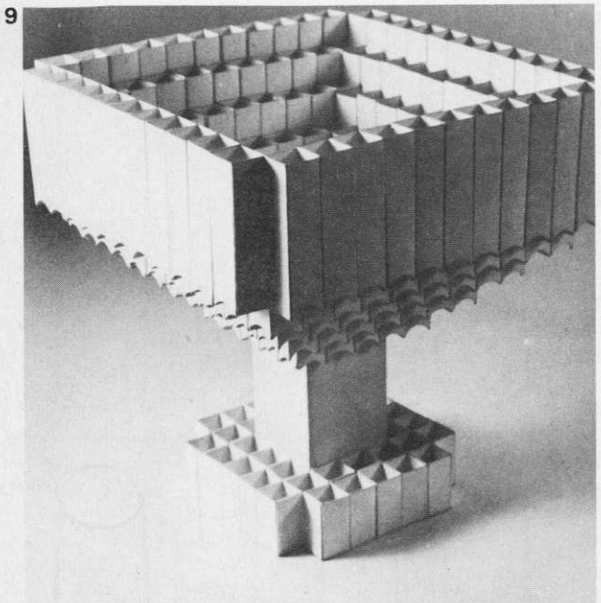
215
216



217
218



219



Las figuras 219 a 228 ilustran diferentes enfoques para el uso de prismas. La figura 222 es un solo prisma con tratamiento en superficie del cuerpo y de las caras; los otros proyectos exploran las posibilidades para el uso de prismas como módulos de diseño.

Figura 219. Han sido usados numerosos prismas cuadrados de diversas alturas. Nótese que cerca de la parte inferior las caras de muchos prismas han sido recortados a figuras circulares.

Figura 220. Este diseño en espiral ha sido hecho con una cantidad de prismas triangulares que aumentan gradualmente en altura. Las partes inferiores de los prismas más altos han sido retocadas para producir una zona de cavidad, a fin de colocar los prismas más cortos, lo que marca el comienzo de una espiral hacia arriba.

220

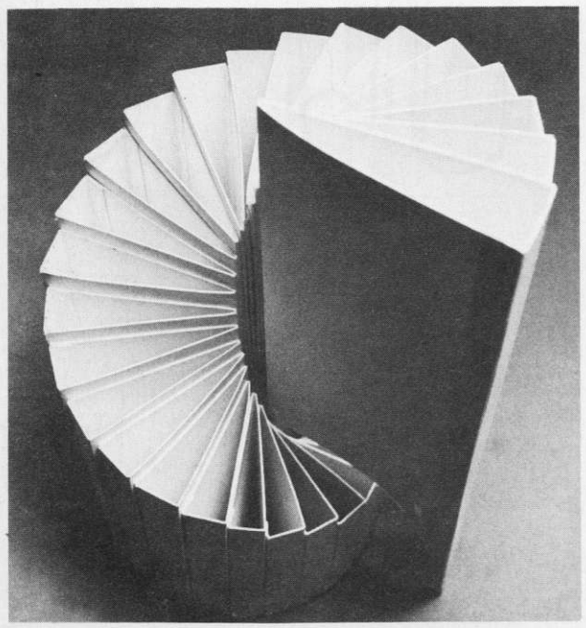
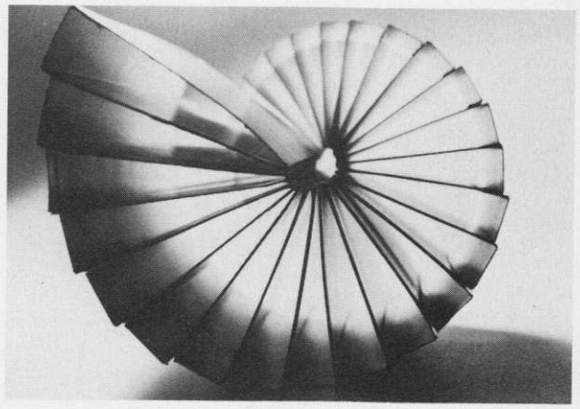


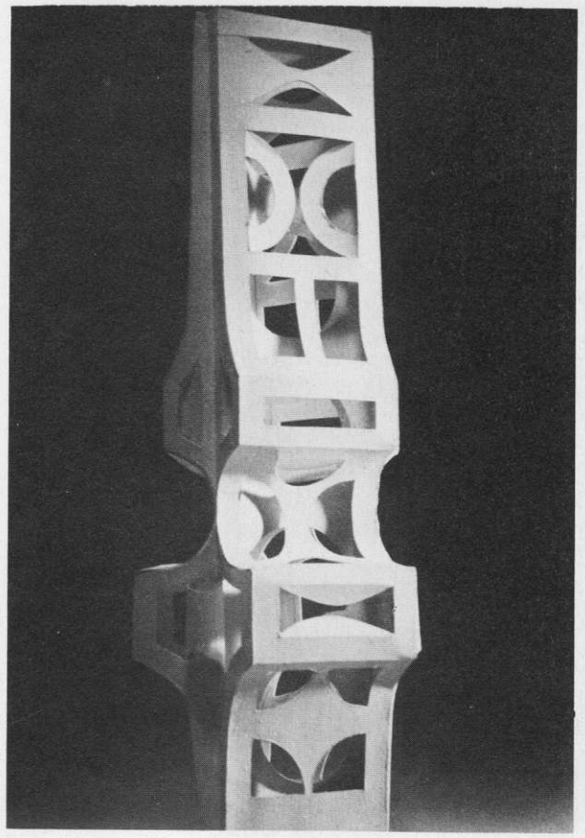
Figura 221. Este es otro ángulo del mismo diseño ilustrado en la figura 220.

Figura 222. La figura del cuerpo de este prisma ha sido muy transformada. El tratamiento de las caras revela algunas figuras circulares negativas en la capa interna de la construcción.

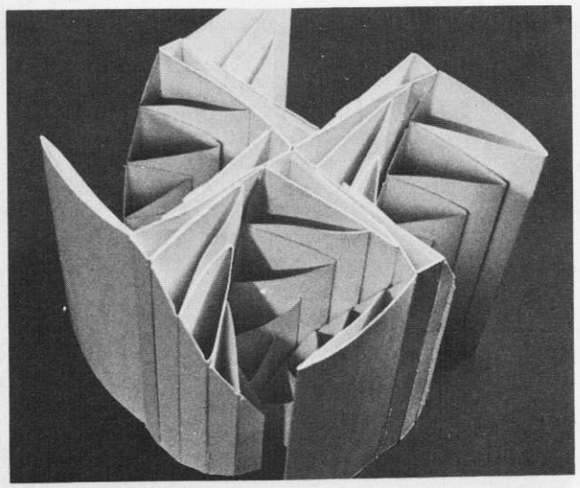
221



222



223



224

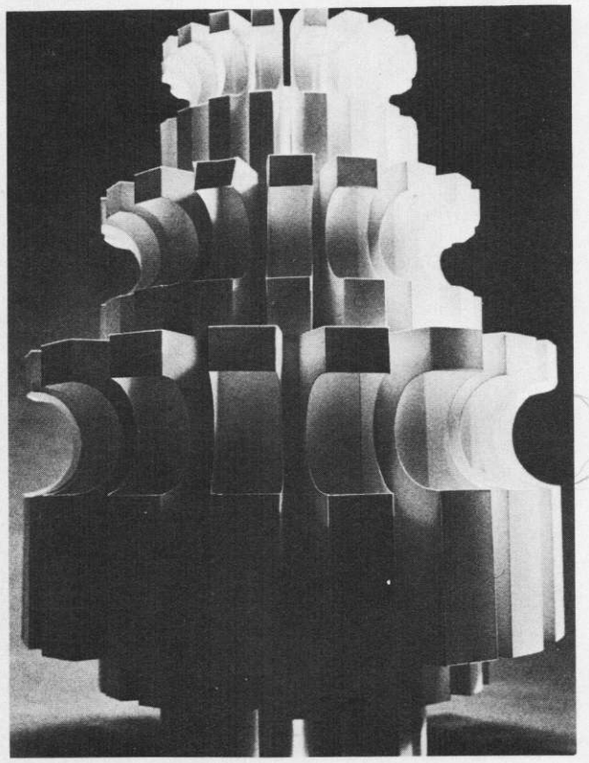
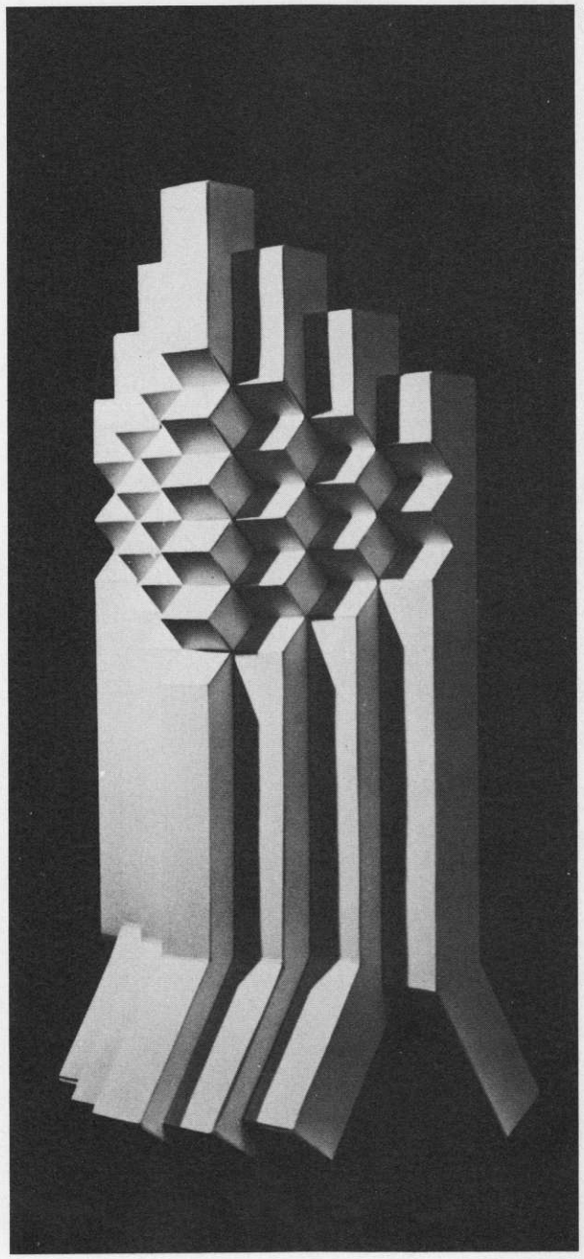


Figura 223. En este diseño se han utilizado cuatro grupos de prismas triangulares en gradación de tamaño y de figura.

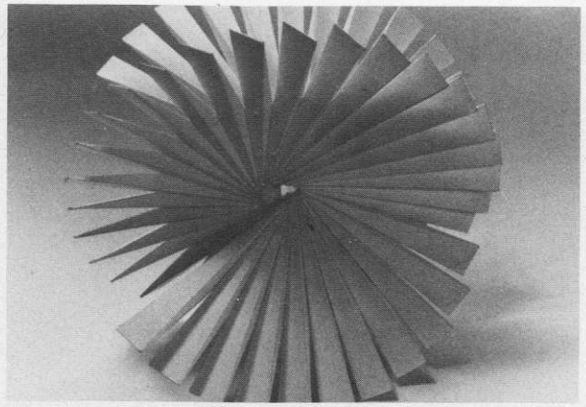
Figura 224. Este se compone de tres capas concéntricas. La interior tiene los prismas más altos y también más angostos. La exterior tiene los prismas más cortos y más grandes.

Figura 225. Está construida con siete prismas, todos los cuales se doblan marcadamente cerca de la base, mientras las caras han sido tratadas con dibujos en zigzag.

225



226



227

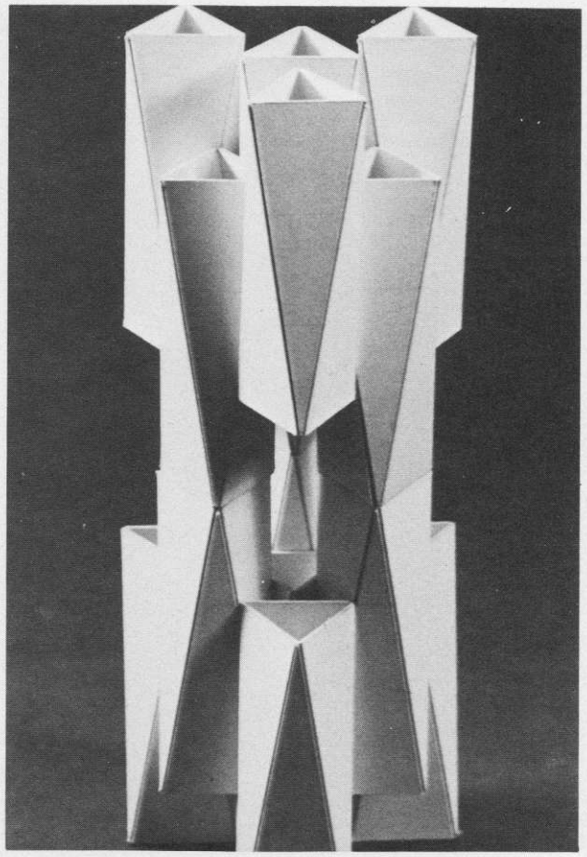
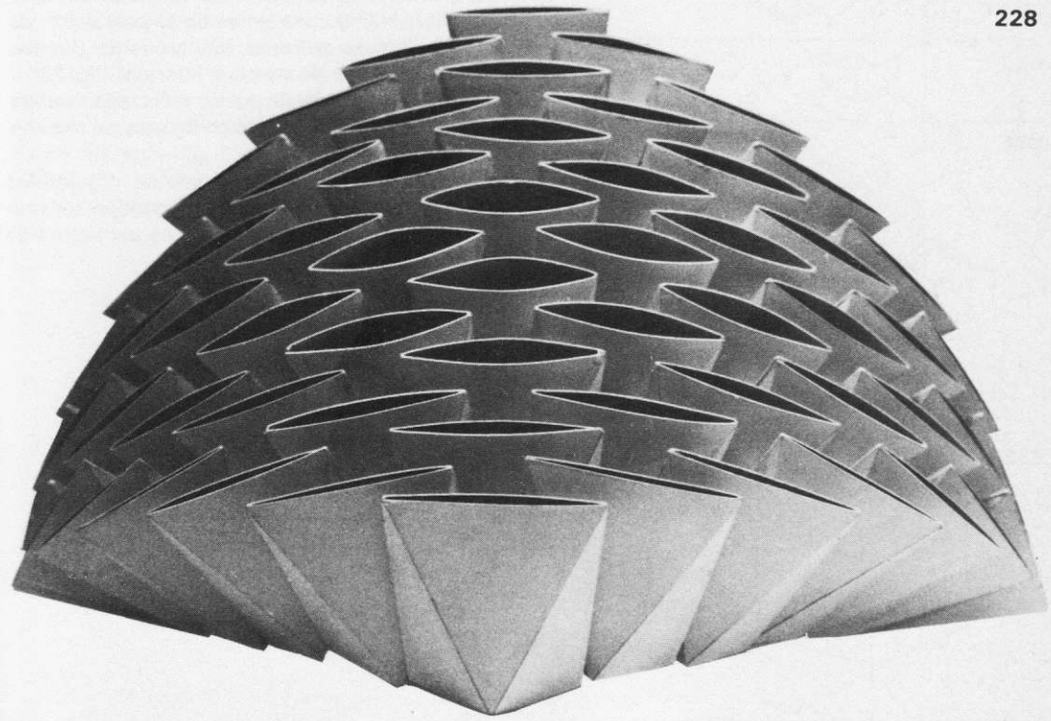


Figura 226. Cada prisma es en realidad una figura de cuña, construida con cuatro triángulos isósceles alargados y dos extremos chatos. La construcción en espiral se ha obtenido pegando entre sí una cantidad de tales prismas, con el contacto entre caras.

Figura 227. Los planos triangulares han sido utilizados asimismo en los prismas de este diseño. Cada prisma se compone de seis planos triangulares y los extremos son triángulos que quedan abiertos y sin cubrir. La construcción fue hecha por contacto entre filos y caras.

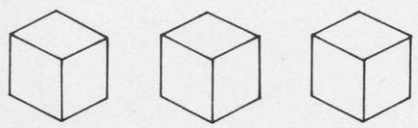
Figura 228. Los prismas de este diseño han sido construidos con tres planos triangulares y un plano rectangular. La parte inferior de cada prisma tiene forma triangular, pero la superior es sólo una ranura que se abre entre dos planos. Los prismas han sido dispuestos a modo de abanico.

228

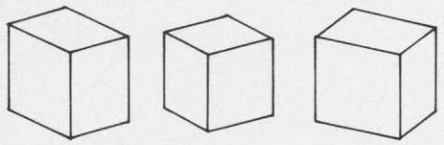


5. Repetición

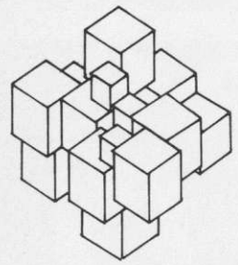
229



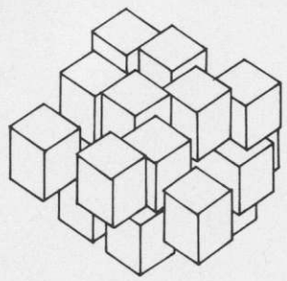
230



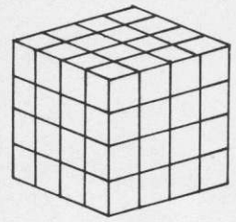
231



232



233



Repetición de módulos

La repetición de módulos ha sido brevemente mencionada en el capítulo 1 de esta segunda parte. Hemos visto asimismo que muchos de los ejemplos ilustrados en los capítulos 2, 3 y 4 contienen módulos en repetición.

En el sentido más estricto, la repetición de módulos supone que todos los elementos visuales de los módulos —figura, tamaño, color y textura— sean los mismos (fig. 229).

En un sentido amplio, el color o la textura idénticos entre los módulos constituye una repetición. Desde luego, los módulos deben relacionarse entre sí por similitud o por gradación de figura, y de otra manera no podrían ser agrupados como módulos (fig. 230).

La figura, en todo caso, es el elemento visual esencial cuando hablamos de módulos. Así, cuando hablamos de repetición de módulos, la repetición de la figura ha de estar siempre incluida. Aporta una inmediata sensación de unidad, incluso aunque los módulos puedan estar dispuestos de manera informal (fig. 231).

La unidad visual queda reforzada cuando los módulos son repetidos en figura y en tamaño (fig. 232).

Si se desea un alto grado de regularidad en la organización, los módulos pueden ser reunidos en un diseño guiado por una estructura de repetición (fig. 233).

Estructura de repetición

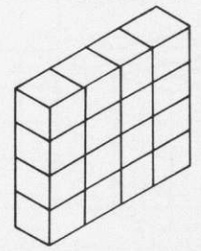
La estructura de pared descrita en el capítulo 3 de esta parte es ya una clase de estructura de repetición, excepto porque su naturaleza es bi-dimensional (fig. 234).

Para obtener una verdadera estructura tridimensional, esa estructura de pared puede ser ampliada hacia adelante y hacia atrás. De esta manera, no sólo da una visión frontal sino que puede ser vista debidamente de todos los lados (fig. 235).

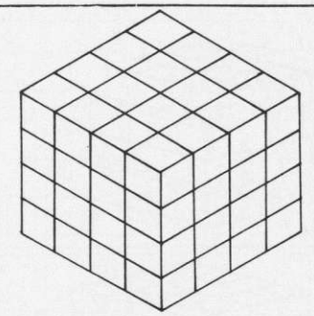
Podemos definir una estructura de repetición como aquella en que los módulos, o las células espaciales que los contienen, se reúnen en una secuencia y un esquema regulares, con lo que todos se relacionan entre sí de la misma manera.

No es fácil ilustrar sobre el papel los diversos tipos de estructura de repetición en el diseño tri-dimensional. La manera más fácil es analizar tales estructuras en términos de capas verticales o capas horizontales. Las capas verticales u horizontales son en realidad una misma cosa en la mayor parte de los diseños simétricos, que pueden ser puestos de costado para obtener una visión diferente (fig. 236).

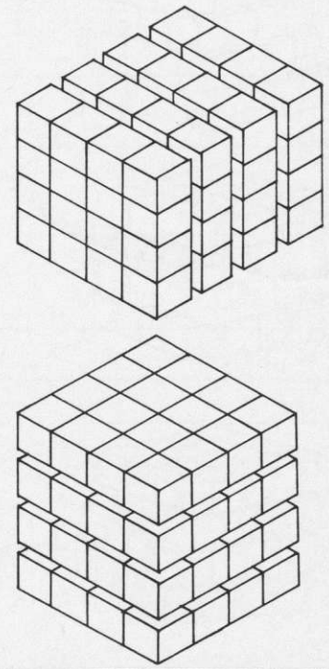
234



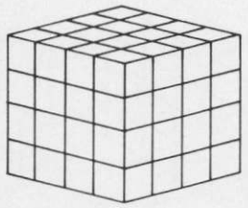
235



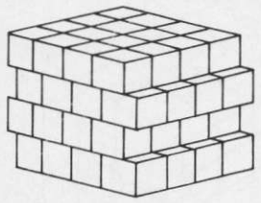
236



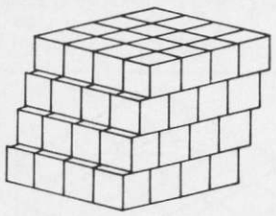
237



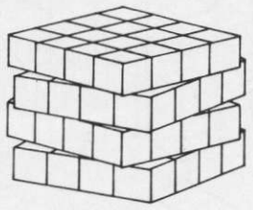
238



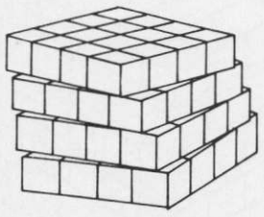
239



240



241



Disposición de las capas

Para ilustrar la organización de una estructura de repetición, comencemos por disponer cuatro capas de células espaciales o de módulos.

El arreglo más simple es que cada capa esté directamente encima de su vecina (fig. 237).

Después movemos las posiciones de capas alternadas (fig. 238).

O podemos disponerlas en una gradación de posición (fig. 239).

La variación de dirección es también posible. Pueden modificarse las direcciones de capas alternadas (fig. 240).

O podemos disponer las capas en una gradación de dirección (fig. 241).

Organización dentro de cada capa

Dentro de cada capa hay numerosas maneras de disponer los módulos, y pueden disponerse en forma distinta los de capas alternadas. Hemos ilustrado nueve células espaciales o módulos en una capa para explorar las diversas posibilidades. Primero los disponemos en tres filas, colocándolos totalmente juntos entre sí (fig. 242).

Pueden moverse las posiciones de las filas (fig. 243).

Puede haber intervalos entre las células espaciales o los módulos (fig. 244).

Si las células espaciales o módulos no se tocan entre sí, la capa adyacente puede ser dispuesta de manera distinta, para ayudar a mantener en posición las células espaciales o módulos de la primera capa (fig. 245).

Puede introducirse la variación de dirección entre las células espaciales o módulos (fig. 246).

Unión de módulos

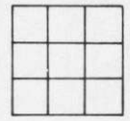
Las células espaciales, que habitualmente son de figuras geométricas simples, pueden ser unidas entre sí por contacto entre caras, pero los módulos, cuando son usados sin células espaciales, pueden ser de ciertas figuras o estar en posiciones que exijan diversas clases de unión.

El contacto entre caras da ciertamente la unión más firme. Puede tratarse de un contacto total de caras o de un contacto parcial de caras (fig. 247).

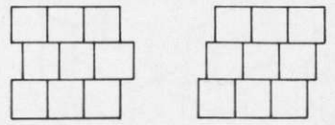
Los contactos de filo-cara y de filo-filo son más débiles y pueden dar uniones flexibles (fig. 248).

Los contactos vértice-cara, vértice-filo y vértice-vértice por lo general son difíciles de controlar, y debe ponerse cuidado si tales uniones son necesarias (fig. 249).

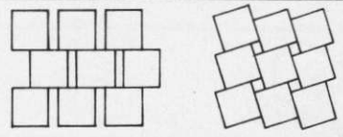
242



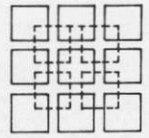
243



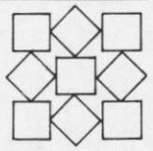
244



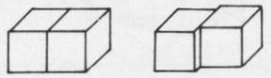
245



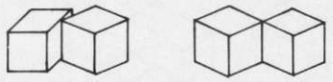
246



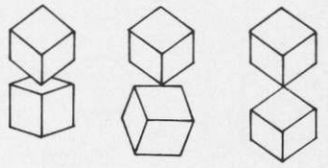
247



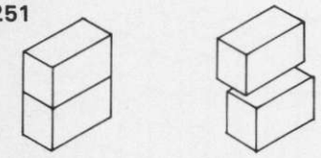
248



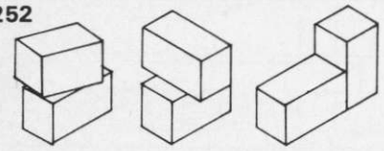
249



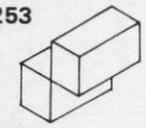
250
251



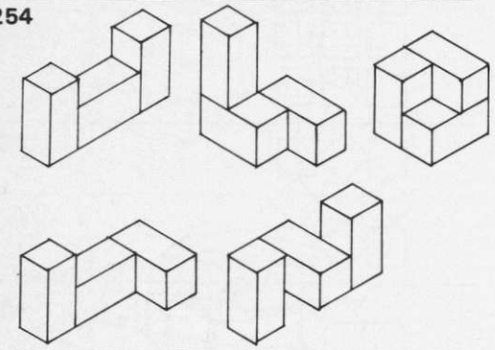
252



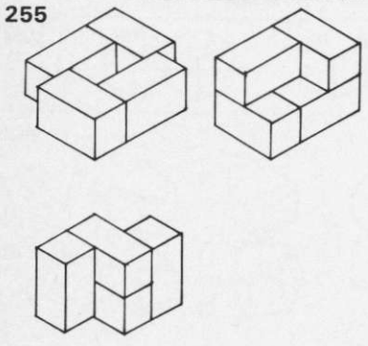
253



254



255



Prismas cuadrados como módulos o células espaciales

La estructura se hace un poco más compleja si el módulo o la célula espacial continente no es un cubo de tres dimensiones iguales. Hemos ilustrado como ejemplo un prisma cuadrado, para ver de cuántas maneras pueden unirse dos o más de estas unidades.

Ciertamente podemos poner una sobre la otra, con un contacto entre caras (fig. 250).

Podemos poner una sobre otra sin alinear sus filos (fig. 251).

Los dos prismas pueden ser orientados en diferentes direcciones (fig. 252).

Pueden tener un contacto de filo a filo (fig. 253).

Tres prismas pueden formar figuras más complicadas (fig. 254).

Cuatro dan mayores posibilidades de combinaciones interesantes (fig. 255).

Una vez que se establece la relación entre dos o más prismas, la figura resultante puede ser repetida en una estructura de repetición.

Módulo o célula espacial en forma de L

El prisma cuadrado básico que hemos visto puede estar compuesto por dos cubos. Con tres cubos se hace una figura básica de L, que tiene un ángulo recto y dos brazos que apuntan hacia direcciones diferentes.

Con un módulo o célula espacial en forma de L, las posibilidades de construcción pueden ser un desafío (fig. 256).

Primero podemos estudiar la figura de L como si fuera una figura lisa, para ver cómo dos o más figuras de L se combinan en la formación de figuras nuevas (fig. 257).

Después podemos usar dos o más figuras tri-dimensionales de L, para crear nuevas figuras que son verdaderamente de carácter tri-dimensional (fig. 258).

También aquí, la nueva figura podrá ser repetida en una estructura de repetición.

Módulos en una estructura de repetición

Casi todos los módulos son mucho más complicados que el cubo simple, que el prisma cuadrado o aun que la figura L. Al organizar los módulos en una estructura de repetición, deben anotarse los siguientes puntos:

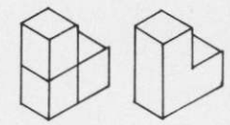
a) Los módulos no pueden flotar en el espacio y deben ser sujetados debidamente. No puede ignorarse la influencia de la gravedad.

b) Debe considerarse la resistencia de la estructura.

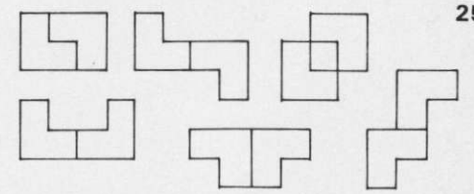
c) La visión frontal no debe quedar enfatizada a costa de olvidar las de otros ángulos.

d) Los módulos pueden trabarse o interpenetrarse entre sí. El espacio existente entre los módulos de una capa puede ser ocupado por los módulos de la capa vecina. La concavidad y la convexidad pueden complementarse entre sí (fig. 259).

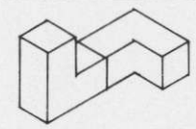
256

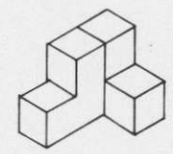


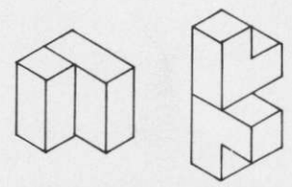
257



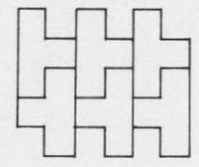
258

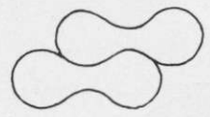




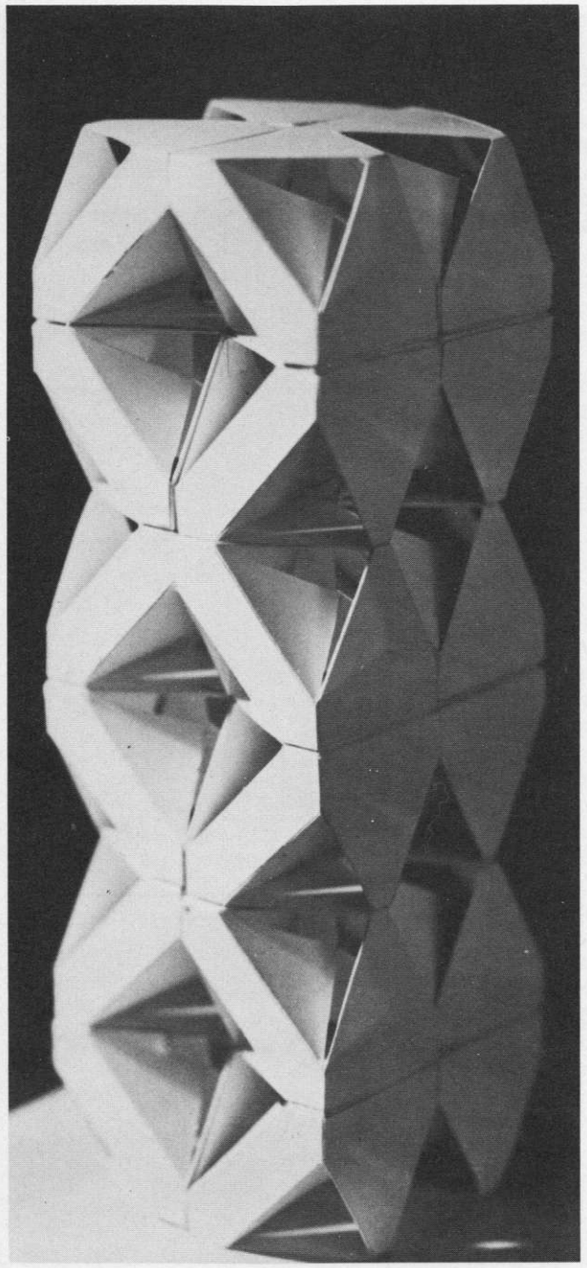


259





260

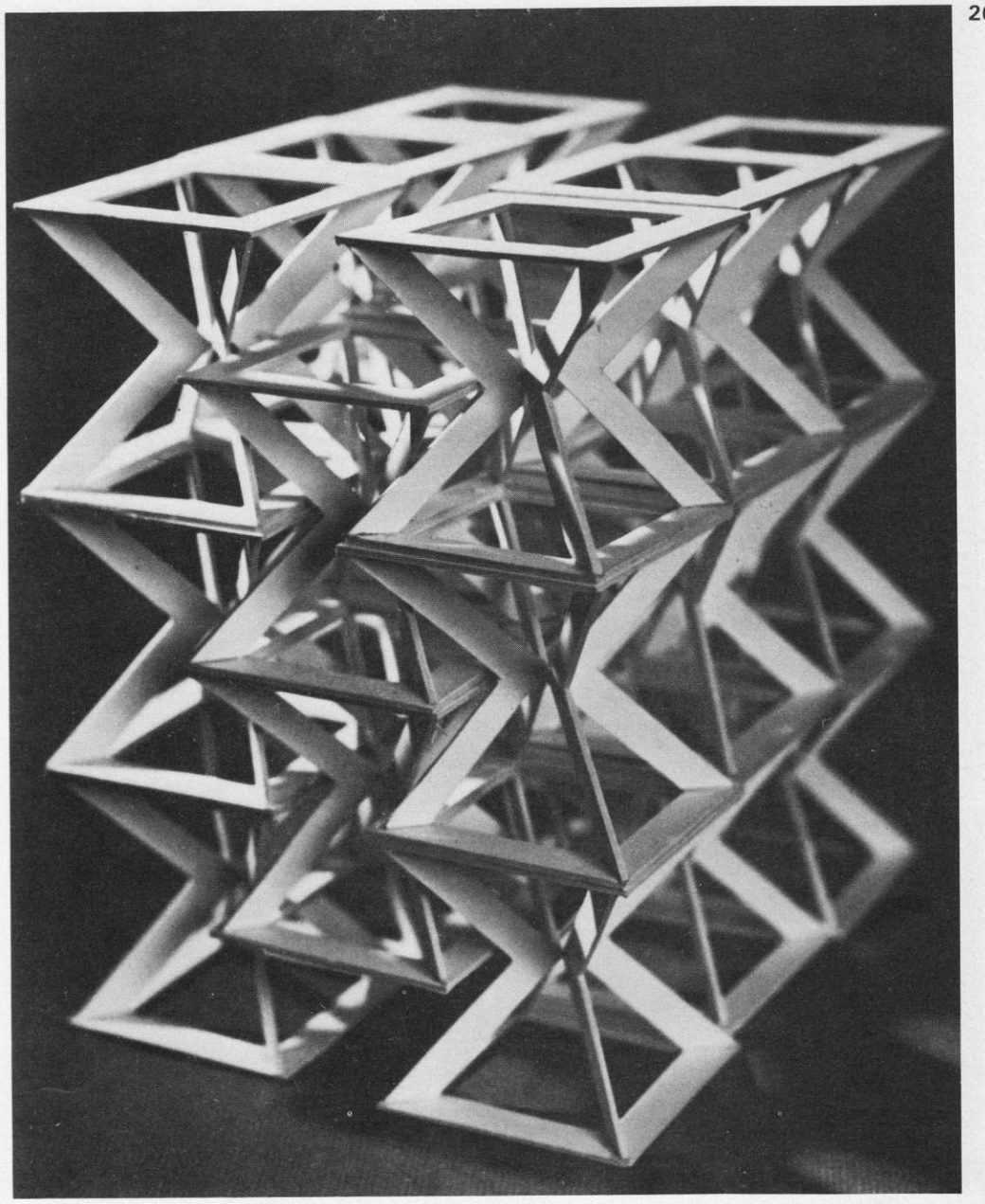


Las figuras 260 a 267 ilustran la repetición de módulos (incluyendo todos los elementos visuales) en una estructura de repetición.

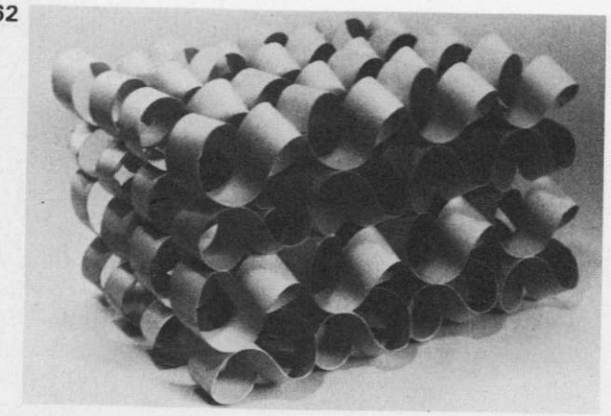
Figura 260. Hay seis capas horizontales, cada una de las cuales contiene cuatro módulos. Cada módulo ha sido desarrollado a partir de un cubo.

Figura 261. Los módulos de este diseño también han sido desarrollados a partir de un cubo. Cada módulo tiene un cuadrado arriba y abajo, pero una cintura muy estrecha. Hay tres capas verticales, y es interesante señalar cómo la central ha sido ajustada en el espacio negativo que dejan las de izquierda y derecha.

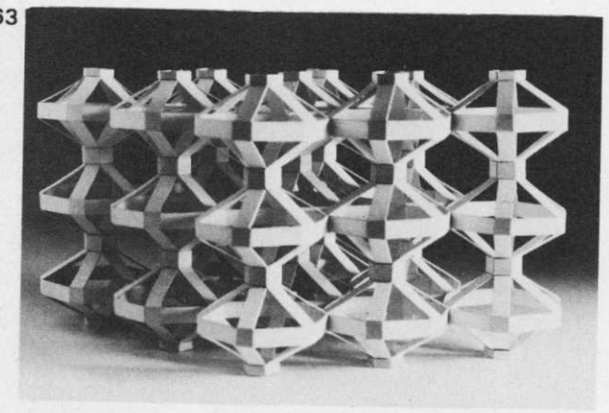
261



262



263



264

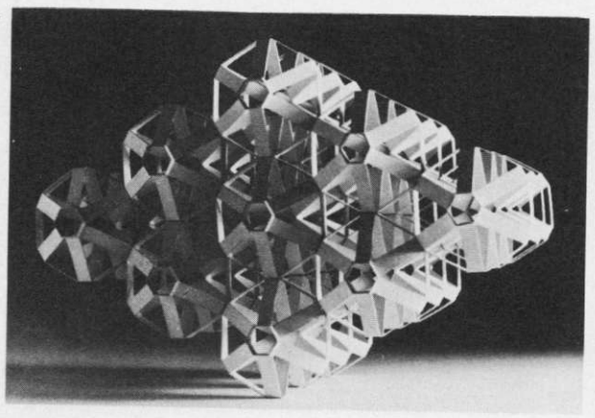


Figura 262. Este diseño se compone de cuatro capas horizontales. Cada módulo ha sido hecho con una tira de cartón delgado, que en los extremos se separa en dos bandas angostas. En cada extremo, las bandas se enroscan y unen. La figura final se asemeja a un número 8 puesto de costado.

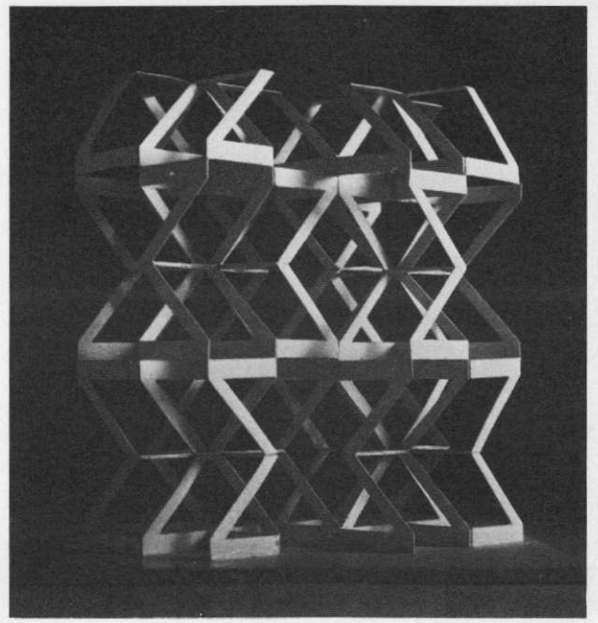
Figura 263. La visión plana de cada módulo es un hexágono. La visión lateral es un rombo. Los módulos se unen entre sí por los vértices, que no son aguzados sino achatados. Hay tres capas horizontales, con nueve módulos en cada una.

Figura 264. Otro ángulo de la figura 263. La visión desde arriba es ahora la lateral.

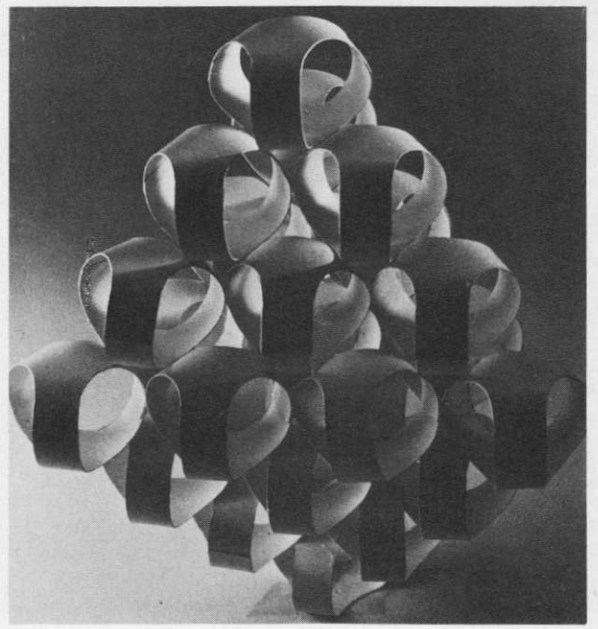
Figura 265. El módulo se asemeja aquí a la letra X o a la Z, y deriva de un cubo hueco, con planos laterales parcialmente cortados y eliminados. En el conjunto hay cinco capas horizontales.

Figura 266. Un plano chato en forma de Y ha sido usado para la construcción del módulo esférico. Para conseguirlo, los tres brazos de la Y se curvan y unen entre sí. El diseño ha sido construido con siete capas horizontales, pero la cantidad de módulos para cada capa está en gradación.

265



266



267

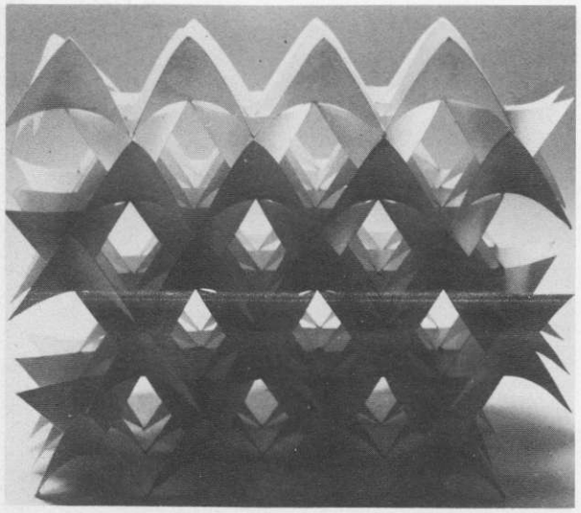
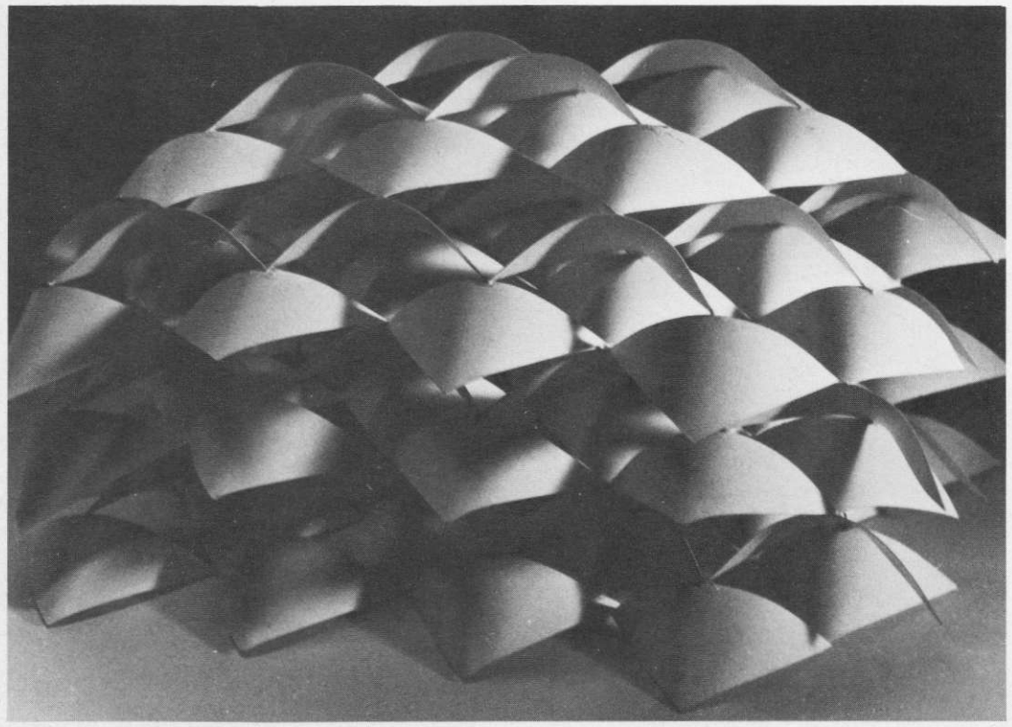


Figura 267. El módulo de este diseño es notablemente simple. Es una pieza triangular que ha sido ligeramente combada. La unión fue hecha por contacto vértice a vértice, o vértice a cara. La estructura puede ser bastante frágil, pero da al diseño un efecto atractivamente delicado.

Figura 268. Este es un ángulo diferente de la figura 267.

268



6. Estructuras poliédricas

Los sólidos platónicos

Los poliedros son figuras fascinantes, que pueden ser adoptadas como estructuras básicas en el diseño tri-dimensional. Entre ellos hay cinco sólidos geométricos, fundamentales y regulares, que son de primordial importancia. Como grupo se los conoce con el nombre de sólidos platónicos e incluyen el tetraedro (cuatro caras), el cubo (seis caras), el octaedro (ocho caras), el dodecaedro (doce caras) y el icosaedro (veinte caras). Cada uno de ellos está construido de caras regulares, todas iguales, y sus vértices son ángulos poliédricos regulares.

El tetraedro contiene cuatro caras, cuatro vértices y seis filos. Cada cara es un triángulo equilátero (fig. 269).

Si descansa sobre una de sus caras, la visión frontal es un triángulo equilátero. Si descansa sobre uno de sus filos, de una manera bastante inestable, su visión frontal es, inesperadamente, un cuadrado (fig. 270).

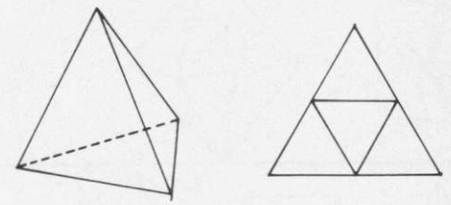
El tetraedro es el más simple de los sólidos platónicos, pero es la estructura más fuerte que puede construir el hombre.

El cubo es la figura más conocida entre los sólidos platónicos. Lo hemos mencionado frecuentemente, desde el comienzo de este libro. Contiene las tres direcciones primarias y es indispensable para establecer las tres visiones básicas (véase capítulo 1, segunda parte).

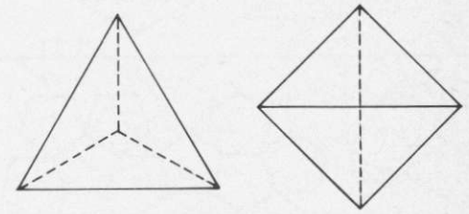
En un cubo hay seis caras, ocho vértices y doce filos. Cada cara es un cuadrado. Todos los ángulos son rectos (fig. 271).

Si descansa sobre una de sus bases, la visión frontal es la de un cuadrado. Si descansa sobre uno de sus vértices, la visión frontal es un hexágono regular (seis lados) (fig. 272).

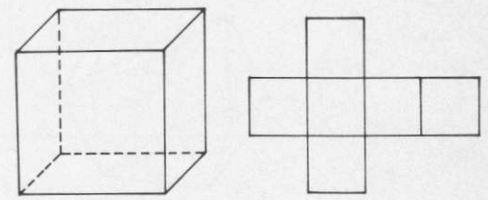
269



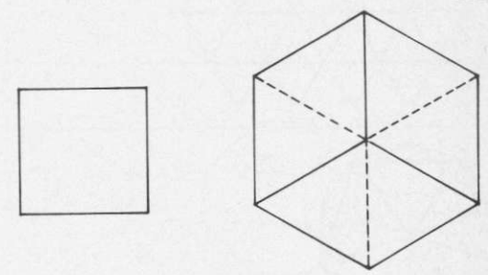
270



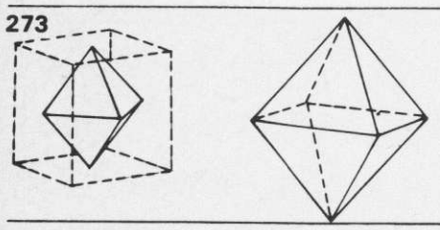
271



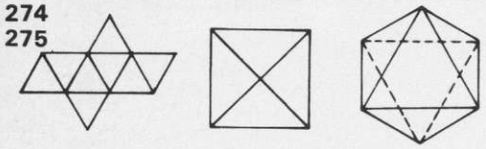
272



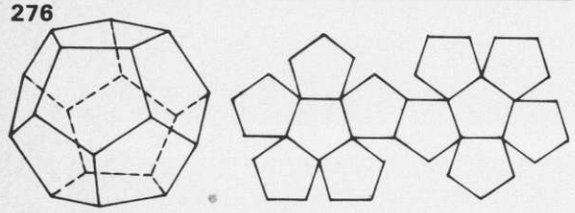
273



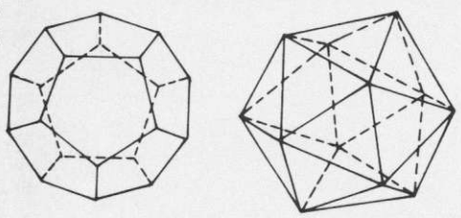
274
275



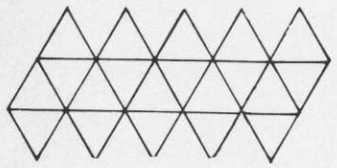
276



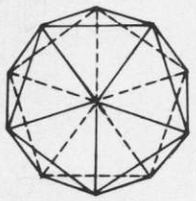
277
278



279



280



El octaedro es la duplicación de un cubo. Esto significa que para formar un octaedro, cada vértice del cubo es reemplazado por una cara del octaedro, y cada cara del cubo por un vértice del octaedro (fig. 273).

Un octaedro tiene ocho caras, seis vértices y doce filos. Cada cara es un triángulo equilátero (fig. 274).

Si descansa sobre uno de sus vértices, la visión frontal es la de un cuadrado. Si descansa sobre una de sus caras, la visión frontal es la de un hexágono (seis lados) (fig. 275).

El *dodecaedro* se compone de pentágonos regulares (de cinco lados). Tiene doce caras, veinte vértices y treinta filos (fig. 276).

Si descansa sobre una de sus caras, la visión plana es la de un decaedro regular (diez lados) (fig. 277).

El *icosaedro* es el duplicado del dodecaedro. Tiene veinte caras, doce vértices y treinta filos (fig. 278).

Cada cara es un triángulo equilátero, como ocurre con el tetraedro y el octaedro (fig. 279).

Si descansa sobre uno de sus vértices, la visión frontal es la de un decágono regular (diez lados) (fig. 280).

Los sólidos de Arquímedes

Además de los cinco sólidos platónicos, que son poliedros completamente regulares, hay una cantidad de poliedros irregulares que se conocen como sólidos de Arquímedes. Estos poliedros irregulares están construidos asimismo de polígonos regulares. La diferencia entre los sólidos platónicos y los de Arquímedes es que cada sólido platónico se compone de un solo tipo de polígono regular, mientras cada sólido de Arquímedes se compone de más de un tipo de polígono regular.

En total hay trece sólidos de Arquímedes, pero aquí sólo presentamos los más simples e interesantes.

El *cubo-octaedro* contiene catorce caras, doce vértices y veinticuatro filos (fig. 281).

De las catorce caras, ocho son triángulos equiláteros y seis son cuadrados (fig. 282).

Si descansa sobre una de las caras triangulares, la visión frontal es la de un hexágono (seis caras) (fig. 283).

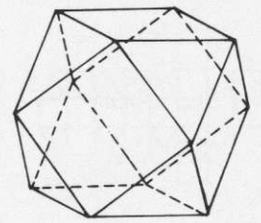
El *octaedro truncado* es el que contiene catorce caras, veinticuatro vértices y treinta y seis filos (fig. 284).

Se obtiene cortando los seis vértices de un octaedro y sustituyéndolos por seis caras cuadradas.

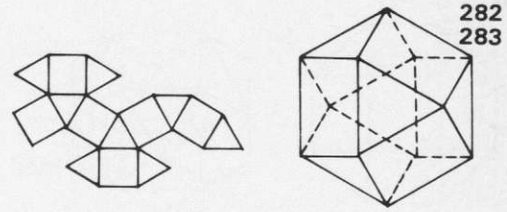
De las catorce caras, ocho son hexágonos regulares y seis son cuadrados (fig. 285).

Si descansa sobre una de las caras hexagonales, la visión plana es la de un dodecágono (doce lados) con lados adyacentes desiguales. Si descansa sobre una de las caras cuadradas, la visión plana es la de un octágono (ocho lados) con lados adyacentes desiguales (fig. 286).

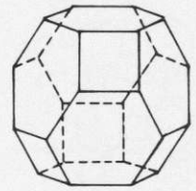
281



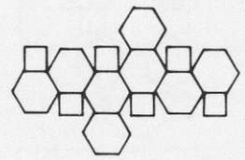
282
283



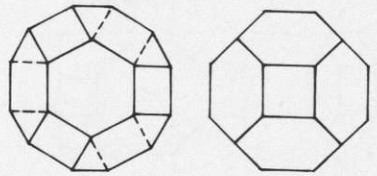
284



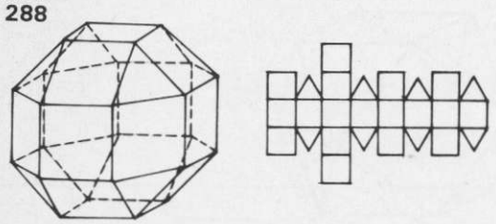
285



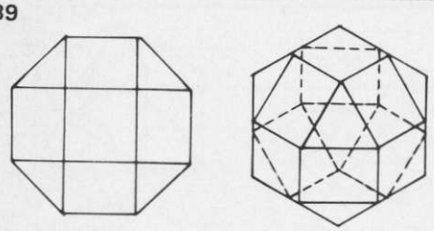
286



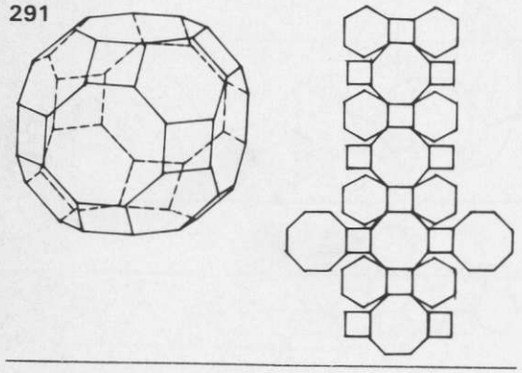
287
288



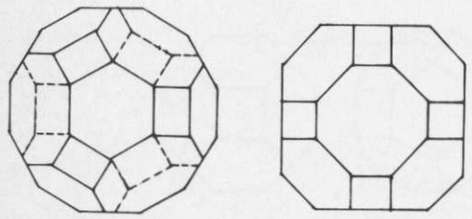
289



290
291



292



El *rombi-cubo-octaedro,* o pequeño rombicubo-octaedro, para distinguirlo del grande, que se describe después, es un sólido que contiene veintiséis caras, veinticuatro vértices y cuarenta y ocho filos (fig. 287).

De las veintiséis caras, ocho son triángulos equiláteros y dieciocho son cuadrados (fig. 288).

Si descansa sobre una de las caras cuadradas, la visión plana es un octágono regular (ocho lados). Si descansa sobre una de las caras triangulares, la visión plana es la de un hexágono regular (seis lados) (fig. 289).

El gran *rombi-cubo-octaedro* (o cubo-octaedro truncado) contiene veintiséis caras, cuarenta y ocho vértices y setenta y dos filos (fig. 290).

De las veintiséis caras, doce son cuadrados, ocho son hexágonos regulares (seis lados) y seis son octágonos regulares (ocho caras) (figura 291).

Si descansa sobre una de las caras hexagonales, la visión plana es la de un dodecágono regular (doce lados). Si descansa sobre una de las caras octogonales, la visión plana es la de un octágono (ocho lados), con lados adyacentes desiguales (fig. 292).

Se pueden desarrollar diseños interesantes a partir de cualquiera de los poliedros. Todos aportan la estructura básica para el tratamiento de las caras, el tratamiento de los filos y el tratamiento de los vértices.

Tratamiento de las caras

Si el poliedro ha sido construido hueco, el tratamiento más simple para las caras es agregar figuras negativas en algunas o todas las caras, revelando el espacio vacío interior (fig. 293).

Cada cara lisa completa del poliedro puede ser reemplazada por una figura piraminal invertida o proyectada, construida de planos unidos o trabados. De esta manera, la apariencia externa del poliedro puede ser transformada en una figura poliédrica estrellada (fig. 294).

Pueden agregarse figuras separadamente construidas a las caras del poliedro (fig. 295).

Tratamiento de los filos

A lo largo de los filos de un poliedro, pueden agregarse o sustraerse figuras. Cuando se sustraen, las caras quedan también afectadas, porque no podemos quitar nada de un filo sin quitar una parte de las caras adyacentes (fig. 296).

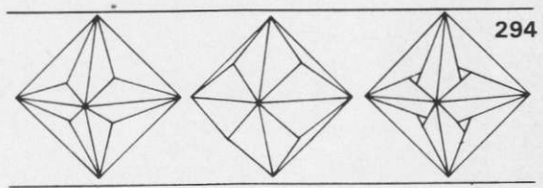
Los filos rectos de un poliedro pueden hacerse curvilíneos o torcidos. Esto provocará que las caras lisas se hagan convexas o cóncavas, de acuerdo con las nuevas figuras de los filos (fig. 297).

Cada filo de una sola línea puede ser reemplazado por filos dobles o de más líneas, y esto conducirá a la creación de nuevas caras (fig. 298).

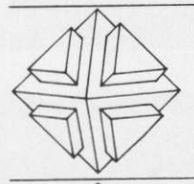
La trabazón de los planos de las caras a lo largo de los filos puede hacerse de variadas maneras (fig. 299).

293

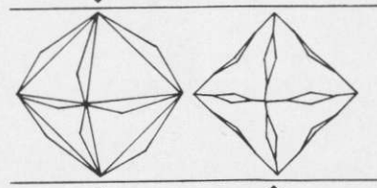
294



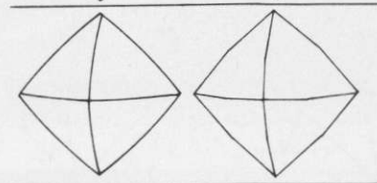
295



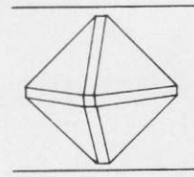
296



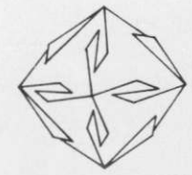
297



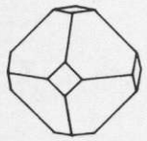
298



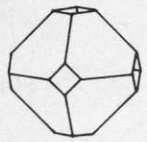
299



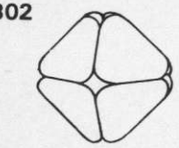
300



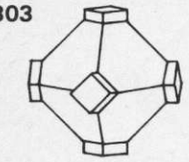
301



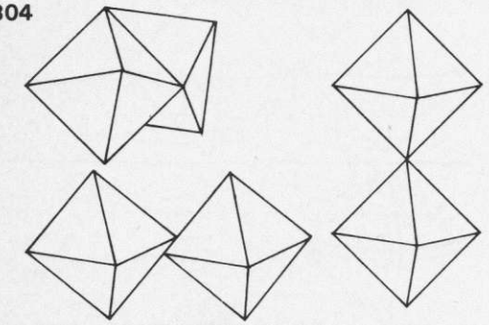
302



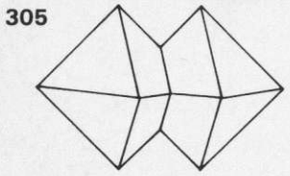
303



304



305



Tratamiento de los vértices

El tratamiento de los vértices afecta normalmente a todas las caras que se unen en el punto de ese vértice. Una forma de tratarlos es por truncamiento, lo que supone que los vértices son cortados y que se forman nuevas caras en las zonas cortadas. El truncamiento conduce habitualmente a la creación de una nueva figura poliédrica. Ya hemos descrito el octaedro truncado entre los sólidos de Arquímedes. Sin embargo, el poliedro que aquí se ilustra no es uno de los sólidos de Arquímedes, porque las caras triangulares no han sido transformadas por truncamiento en hexágonos regulares (fig. 301).

Si el poliedro es hueco, el truncamiento deja ver un agujero en cada vértice. Tales agujeros pueden ser especialmente truncados, para que sus bordes no sean simples líneas rectas (fig. 302).

Pueden formarse figuras adicionales en los vértices (fig. 303).

Unión de figuras poliédricas

Para una estructura más complicada, dos o más figuras poliédricas de igual o diferente diseño pueden ser unidas por contacto de cara, de filo o de vértice (fig. 304).

Para una mayor resistencia estructural, o por razones de diseño, los vértices pueden ser truncados al hacer contacto entre vértices, los filos pueden ser achatados para el contacto entre filos, o el volumen de una figura poliédrica puede ser penetrado al volumen de otra (fig. 305).

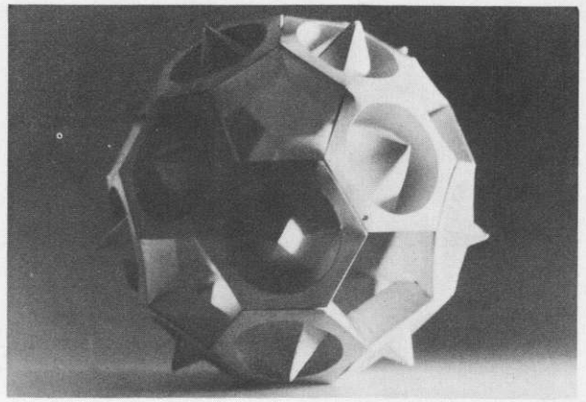
Las figuras 306 a 320 ilustran poliedros con diversos tratamientos de superficie. Algunos de los proyectos muestran el uso de poliedros como módulos.

Figura 306. La estructura es un icosaedro. Todos los vértices han sido truncados, y en lugar de ellos hay agujeros pentagonales. Cada una de las caras triangulares es ahora un hexágono regular, en el que se han construido un círculo hundido y una figura piramidal que surge.

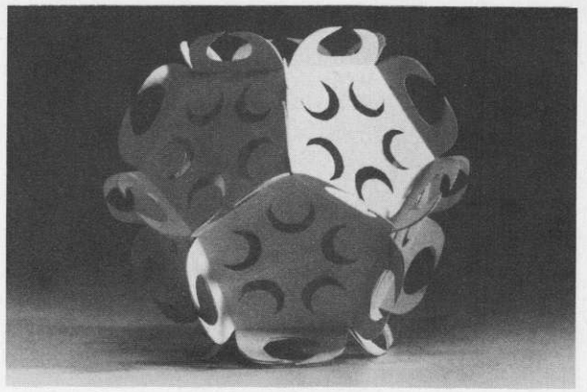
Figura 307. Este es un dodecaedro con tratamientos simples en filos y caras, que no transforman la figura original de la estructura.

Figura 308. Para este diseño se han utilizado ocho octaedros. A cada uno se le ha hecho un tratamiento de cara y de vértice. El tratamiento de las caras es simple: se han cortado círculos negativos en todas las caras. El de los vértices es complejo: se han invertido los ángulos de los vértices y así el octaedro parece truncado.

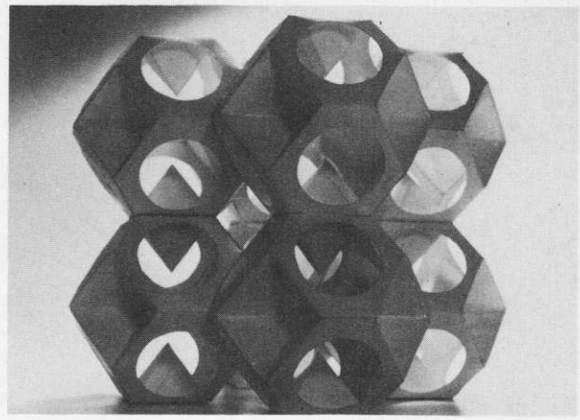
306



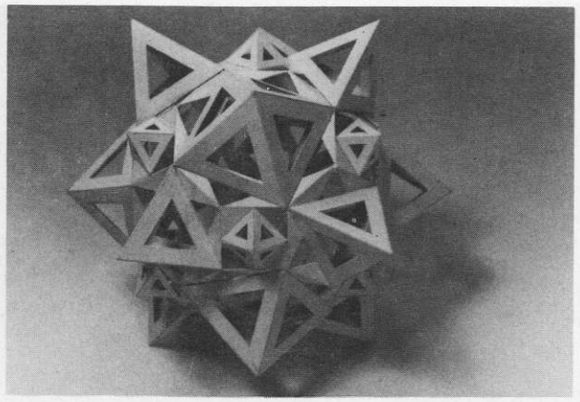
307



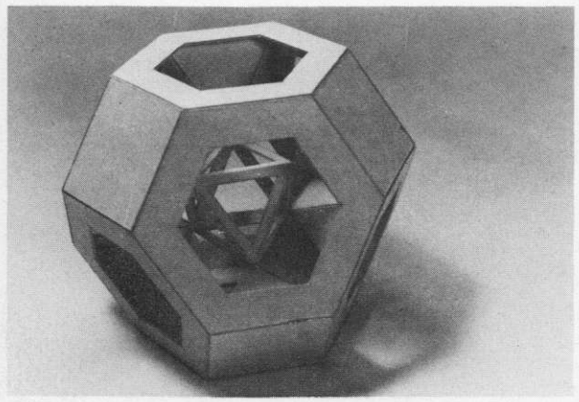
308



309



310



311

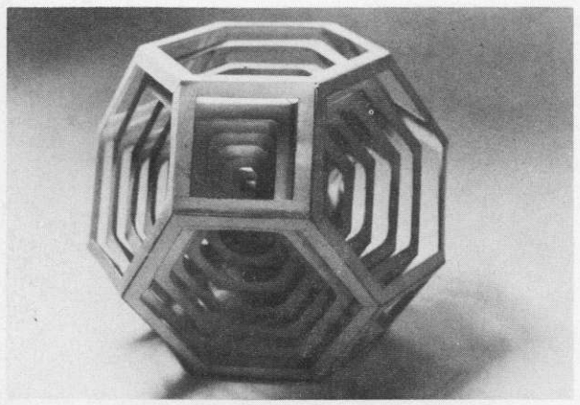


Figura 309. La estructura de este complicado diseño es la de un rombicubo-octaedro, que se compone de caras octogonales, hexagonales y cuadradas. Se han cortado figuras negativas en todas las caras y se han agregado figuras de tetraedro y semioctaedro.

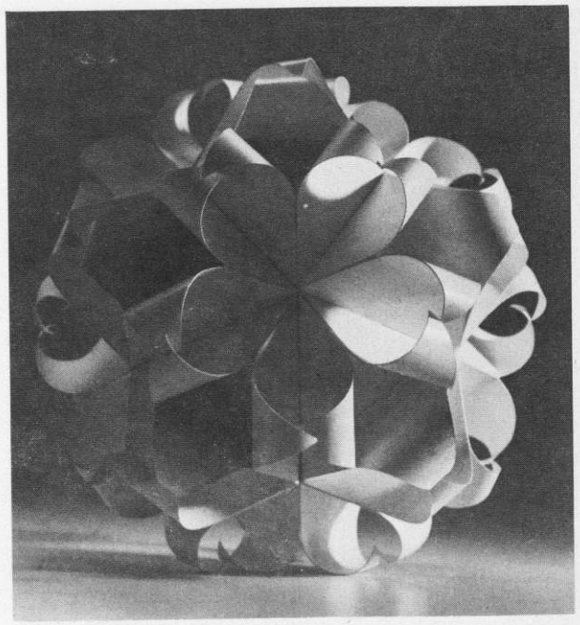
Figura 310. Se ha hecho una figura hexagonal negativa en cada una de las caras hexagonales de un octaedro truncado, y a través de ellas se puede ver una interesante figura interior poliédrica. Es un octaedro lineal, apoyado en la parte interior de las caras, con pirámides cuadradas y hexagonales que apuntan hacia adentro.

Figura 311. La estructura de este diseño es también el octaedro truncado. Todas las caras han sido recortadas junto a los filos, revelando dentro seis capas de la misma figura, con gradación de tamaño.

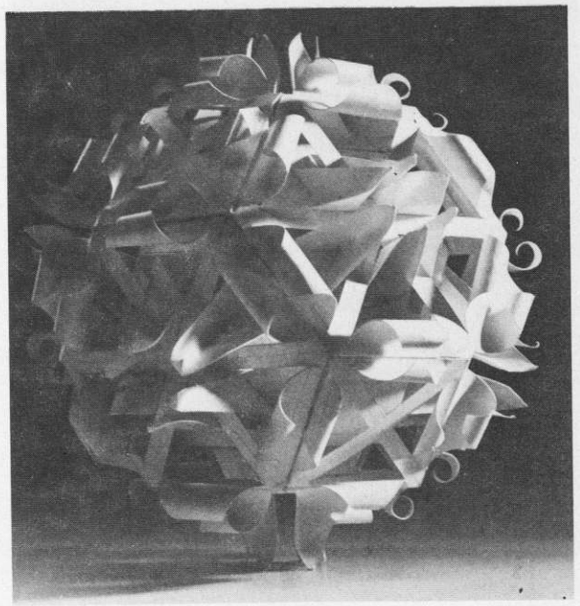
Figura 312. El tratamiento de las caras ha producido mucha transformación en este icosaedro. Cada cara ha sido reemplazada por un tetraedro saliente, cuyos vértices han sido abiertos, retorciendo los planos exteriores y revelando el espacio interior.

Figura 313. Igual que las figuras 310 y 311, este diseño sumamente complejo ha sido elaborado sobre un octaedro truncado. Cada cara hexagonal fue dividida en seis secciones triangulares y cada cara cuadrada en cuatro secciones triangulares, todas ellas con figuras cortadas y retorcidas. De las secciones de las caras hexagonales se proyectan otras figuras adicionales.

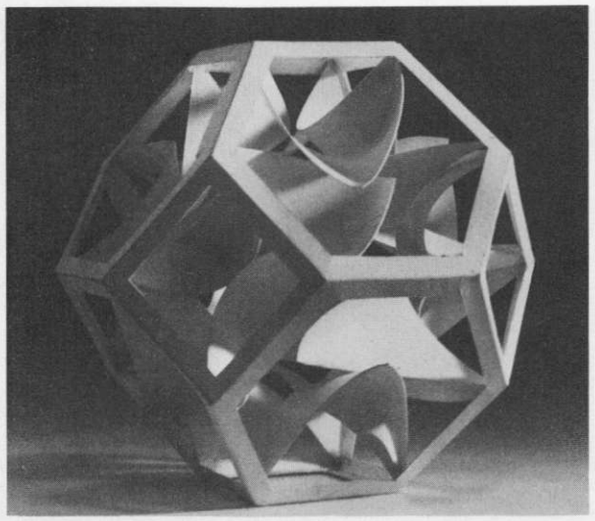
312



313



314



315

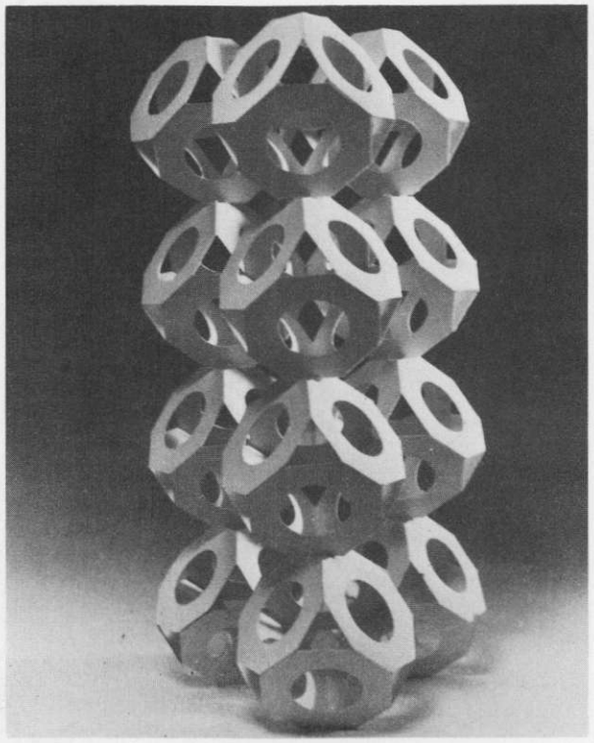


Figura 314. Ha sido cortada la mayor parte de las caras del octaedro truncado. La actividad mayor del diseño se sitúa dentro del marco poliédrico.

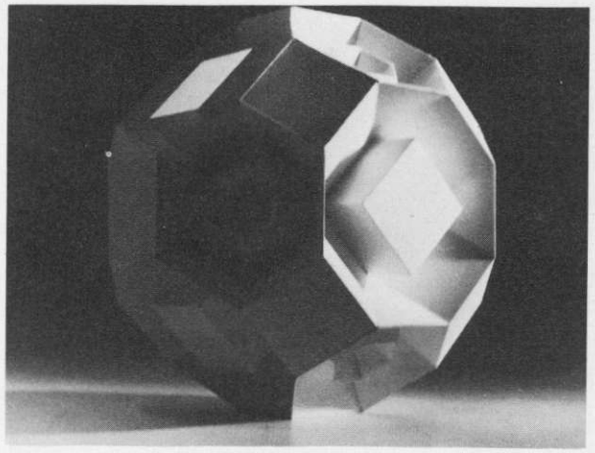
Figura 315. Se han usado doce cubos truncados para componer este diseño. Cada cara de los cubos contiene una figura circular negativa que contrasta visualmente con los agujeros triangulares que se forman en los vértices truncados.

Figura 316. Aquí las caras del gran rombo-cubo-octaedro han sido tratadas con figuras que se proyectan tanto hacia adentro como hacia afuera.

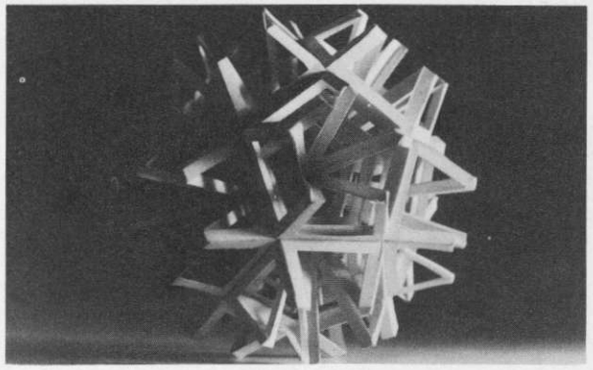
Figura 317. Un dodecaedro fue utilizado como estructura básica de este diseño. En cada una de las caras pentagonales se ha construido una pirámide pentagonal, pero todas las caras han sido recortadas hasta los filos. El vértice de la pirámide, en lugar de proyectarse hacia afuera, es empujado hacia adentro. El resultado es un complicado diseño, compuesto enteramente por elementos lineales.

Figura 318. Este diseño se compone de dos octaedros truncados, cada uno de los cuales muestra un juego de figuras negativas y de formas cóncavas y convexas.

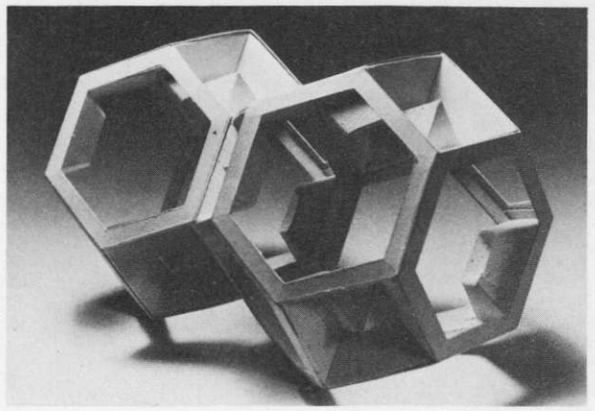
316



317



318



319

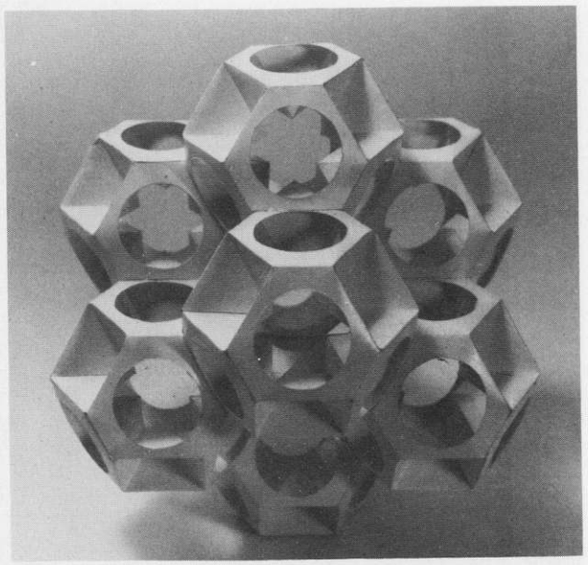


Figura 319. En este diseño hay ocho octaedros truncados. Cada uno contiene vértices invertidos y figuras negativas.

320

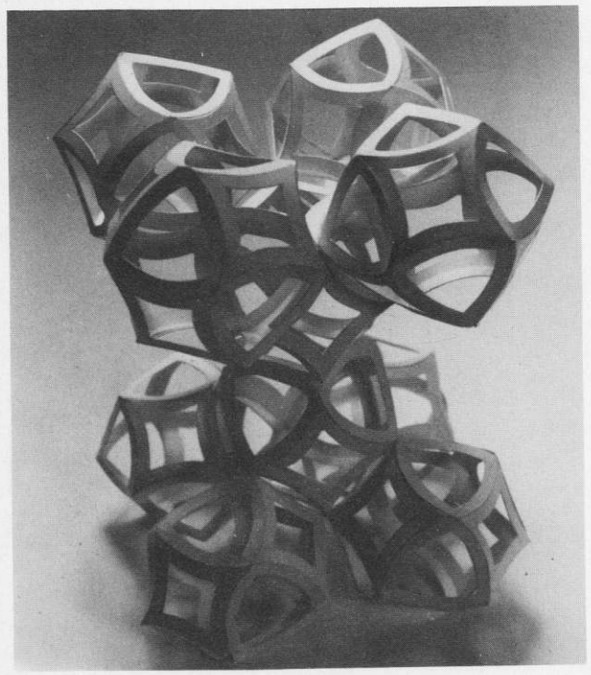


Figura 320. Esta se compone de diez cubo-octaedros, cada uno de ellos con filos curvos y caras abiertas. El efecto es muy similar al de una estructura lineal, sin ninguna línea recta.

7. Planos triangulares

En el capítulo anterior vimos que tres de los cinco sólidos platónicos, el tetraedro, el octaedro y el icosaedro, se componen de planos triangulares. Los planos triangulares son asimismo usados para la construcción de figuras piramidales, que se proyectan desde o penetran en las caras de cualquier poliedro. Por lo tanto, los planos triangulares son de considerable importancia en el diseño tri-dimensional y no pueden ser ignorados.

Triángulos equiláteros

Para explorar las posibilidades de construcción con planos triangulares, podemos utilizar una tira estrecha de cartón delgado y dividirla en una serie de triángulos equiláteros (fig. 322).

Cortando un triángulo de esa tira, tendremos un plano liso, con tres lados iguales y tres ángulos de sesenta grados (fig. 323).

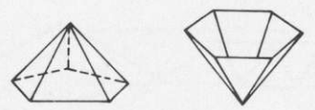
Dos triángulos reunidos pueden ser doblados en cualquier ángulo que se desee. Esto puede constituir una figura tri-dimensional que se sostiene erguida (fig. 324).

Con tres triángulos unidos se puede formar un tetraedro al cual faltaría una de sus caras (fig. 325).

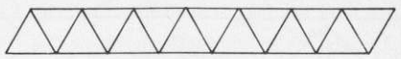
Con cuatro triángulos unidos se hace un tetraedro completo (fig. 326).

Con cinco triángulos unidos se hace un doble tetraedro al que le falta una cara (fig. 327).

321

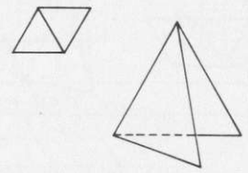


322

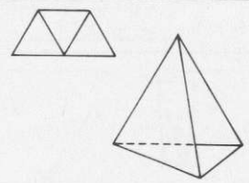


323

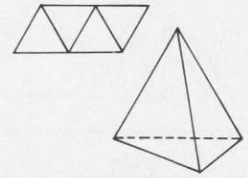
324



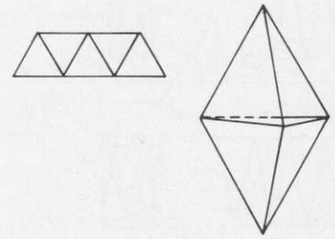
325



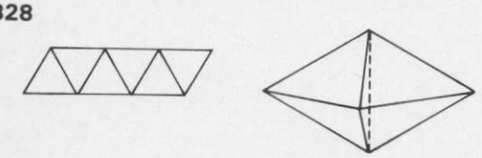
326



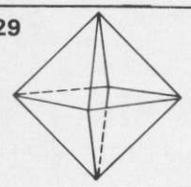
327



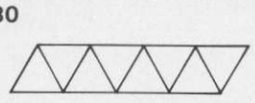
328

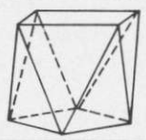


329



330

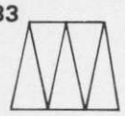




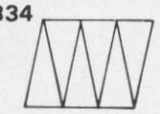
331

332

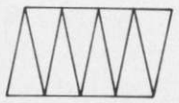
333



334



335



Con seis triángulos unidos se hace un doble tetraedro completo (fig. 328).

Con ellos se puede hacer también un octaedro al que faltan dos caras (fig. 329).

Ocho triángulos unidos pueden componer una figura prismática, con un cuadrado vacío arriba y un cuadrado vacío abajo. Los dos cuadrados vacíos son del mismo tamaño, pero de distintas direcciones (fig. 330).

Triángulos isósceles

Los triángulos equiláteros pueden ser alargados para formar triángulos estrechos y altos, en los que dos lados son iguales (fig. 331).

Cuatro de estos triángulos pueden unirse para formar un tetraedro muy distorsionado, que también puede ser descrito como un prisma con dos extremos en cuña (fig. 332).

Cinco triángulos unidos pueden componer un prisma con una figura triangular abierta en un extremo y una figura de cuña en la otra (fig. 333).

Seis triángulos unidos pueden componer un prisma con una figura triangular abierta en cada extremo (fig. 334).

Ocho triángulos unidos pueden componer un prisma con extremos cuadrados abiertos (fig. 335).

Otros ejemplos que utilizan los prismas formados por triángulos isósceles pueden ser vistos en el capítulo 4 de esta parte, donde la figura 226 contiene prismas hechos con cuatro triángulos reunidos y la figura 227 contiene prismas hechos con seis triángulos reunidos.

Triángulos irregulares

Tal como una tira estrecha de cartón delgado puede ser dividida en triángulos equiláteros o en isósceles, cabe dividirla en una cantidad de triángulos con lados desiguales (fig. 336).

Con seis u ocho triángulos irregulares, unidos entre sí, podemos construir prismas muy similares a los de figuras 334 y 335, si todos los ángulos de esos triángulos son agudos.

Los triángulos de lados desiguales, con diferentes figuras y tamaños, pueden ser utilizados para construir tetraedros u octaedros irregulares, que pueden convertirse en elementos interesantes de un diseño (fig. 337).

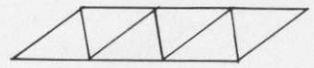
El sistema de octetos

Tal como los cuadrados pueden cubrir completamente un espacio bi-dimensional, sin intervalos entre sí, los cubos pueden hacerlo con un espacio tri-dimensional (fig. 338).

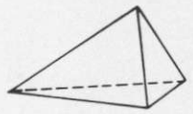
Los triángulos equiláteros pueden cubrir sin intervalos un espacio bi-dimensional, pero los tetraedros no pueden cubrir sin intervalos un espacio tri-dimensional. Con tres octaedros en posición de contacto por sus filos, descubrimos que el espacio que queda vacío acomoda exactamente a un tetraedro (fig. 339).

Por lo tanto, cuando los octaedros y los tetraedros son usados conjuntamente, pueden llenar sin intervalos un espacio tri-dimensional. Esto es conocido como sistema de octetos y puede producir estructuras de asombrosa resistencia que utilizan un mínimo de materiales (fig. 340).

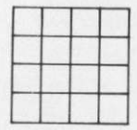
336

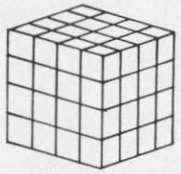


337

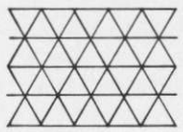


338

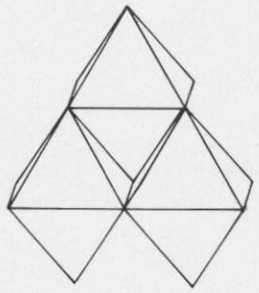


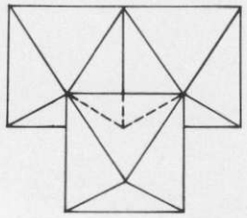


339

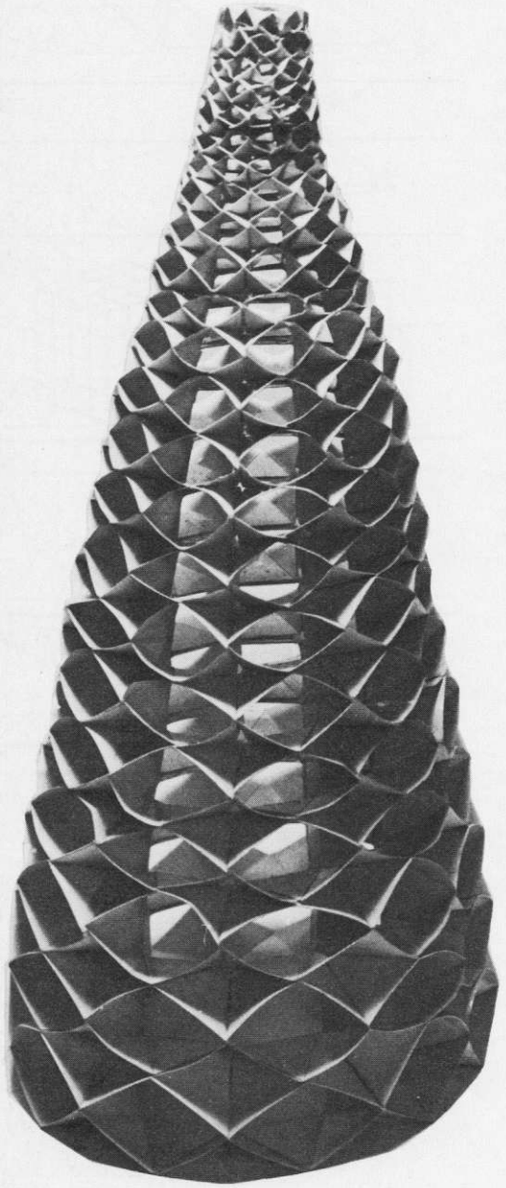


340





341



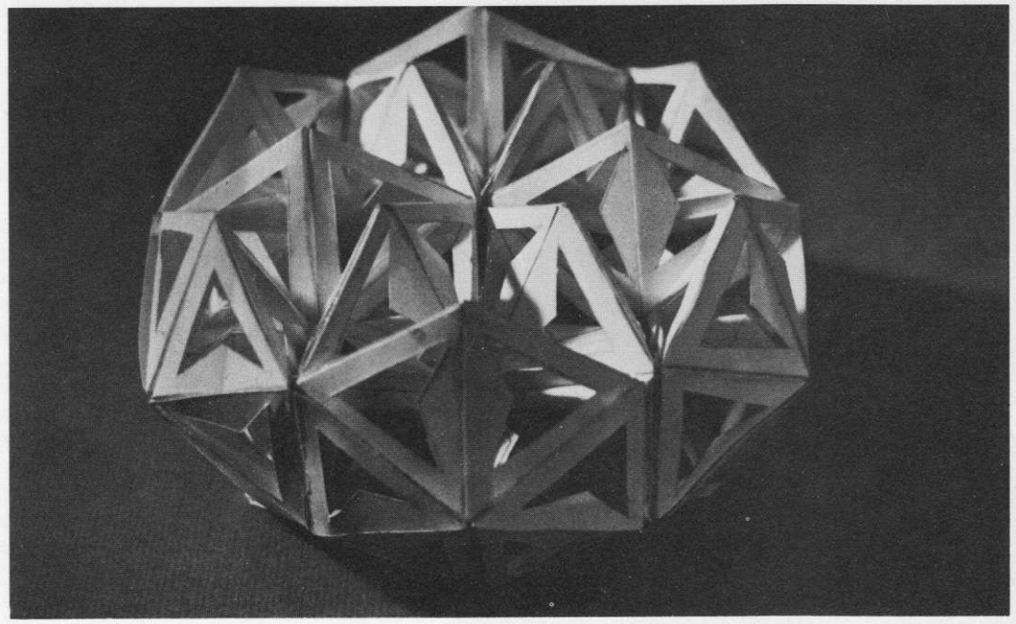
Los planos triangulares ofrecen posibilidades ilimitadas para el diseño. Los tetraedros y octaedros regulares o irregulares, más las figuras piramidales, pueden ser reunidos con efectos inesperados. Las figuras 341 a 349 demuestran algunas de las variadas construcciones que pueden ser creadas con planos triangulares.

Figura 341. Se han usado ocho triángulos unidos para construir un módulo, que es similar al de la figura 330. Con una cantidad de estos módulos se forma un anillo, que es una capa del diseño. Con capas de una misma construcción pero en tamaños que disminuyen se establece la estructura de este diseño.

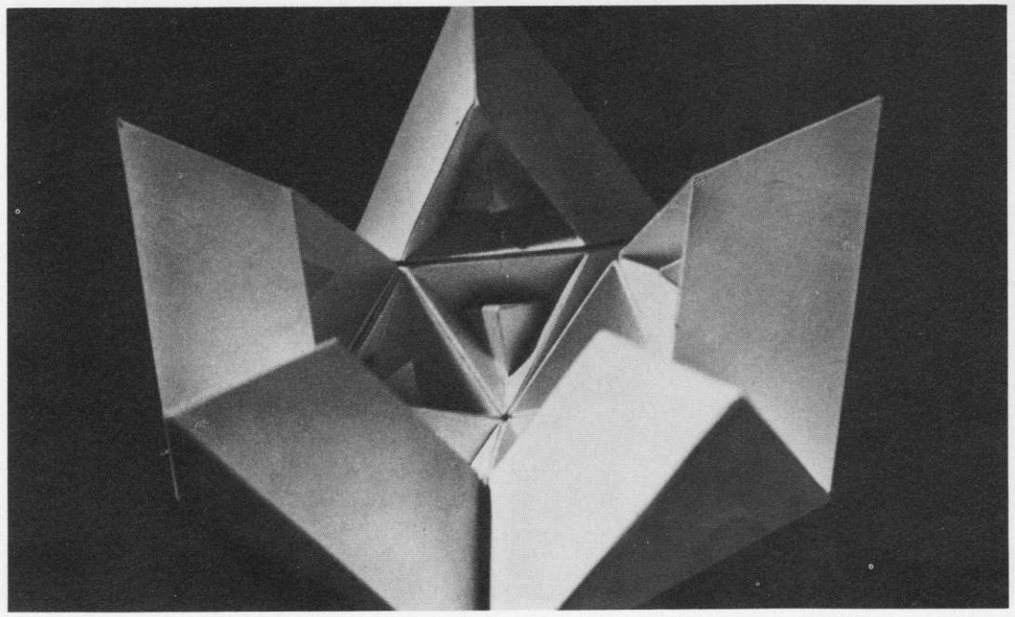
Figura 342. Todas las caras del tetraedro utilizado aquí han sido casi recortadas a los bordes. Seis grupos de ellos se han dispuesto en un efecto de radiación.

Figura 343. Se ha utilizado un total de diez tetraedros. Cada uno de ellos tiene sus vértices apuntados hacia adentro y luego hacia afuera, de manera interesante.

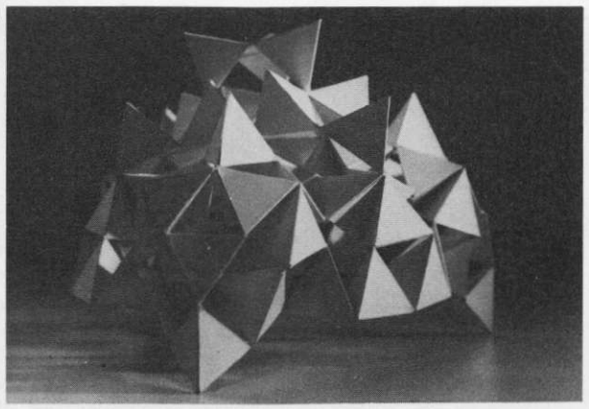
342



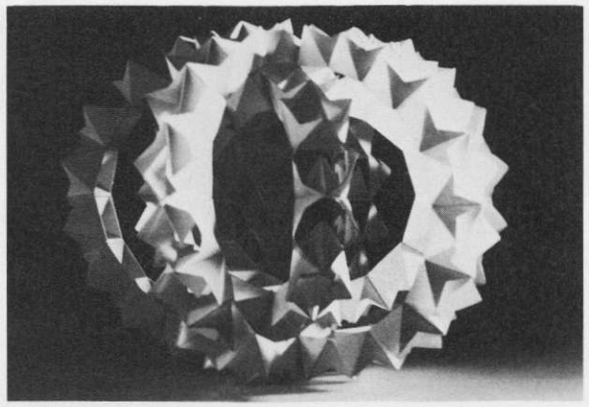
343



344



345



346

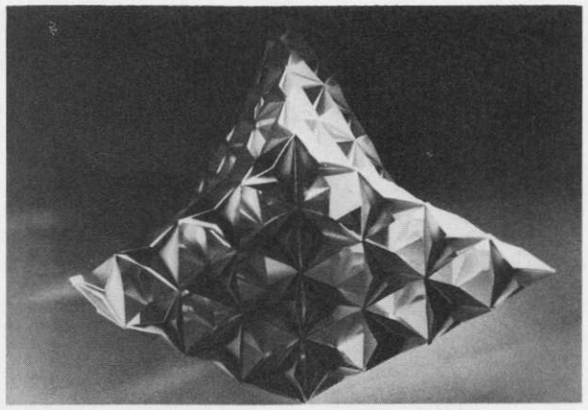


Figura 344. Una cantidad de tetraedros ha sido pegada conjuntamente, en un contacto por vértices. Estructuralmente, esto no es muy resistente, pero la forma da una sensación de apertura, aunque todas las caras de los tetraedros son sólidas.

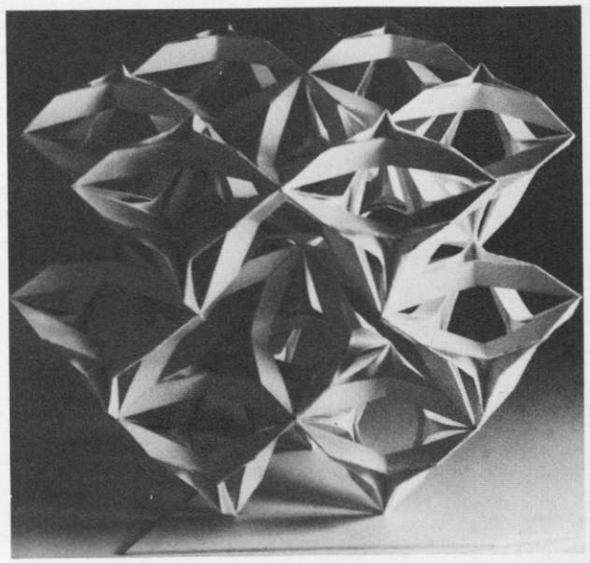
Figura 345. Cada módulo está hecho con diversos planos triangulares. Los módulos están pegados entre sí por contacto de caras, formando un anillo circular que es repetido varias veces en el diseño final.

Figura 346. Tres planos triangulares plegados han sido utilizados para construir cada módulo. Veinte módulos, con un contacto por vértices, componen un gran supermódulo tetraédrico, cuatro de los cuales son entonces reunidos en un diseño.

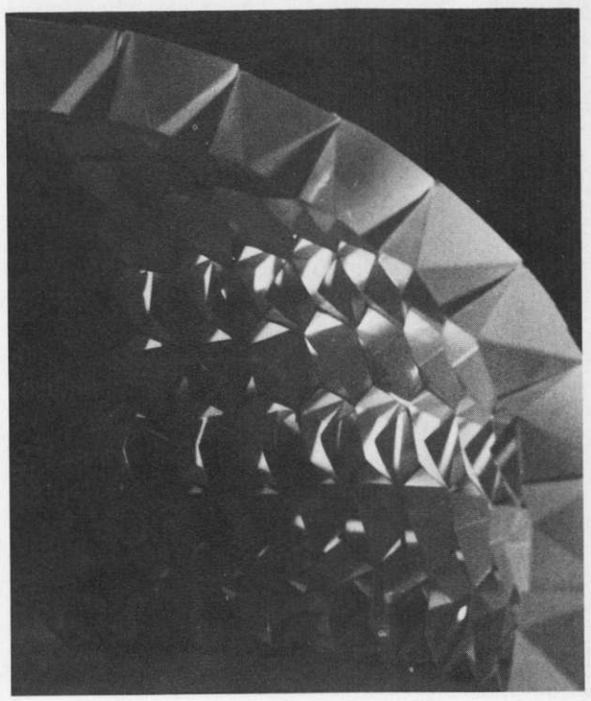
Figura 347. Un elemento del módulo está construido con tres planos triangulares unidos y plegados. Cuatro de estos elementos, en contacto por vértices, componen un módulo, y estos módulos en contacto por vértices forman el diseño.

Figura 348. Cada módulo está compuesto por nueve triángulos unidos, tres de los cuales son isósceles y seis son rectangulares. Esto deriva a una figura prismática, con una figura triangular en un extremo y una hexagonal en el otro. Un elemento adicional, compuesto también de triángulos unidos, es colocado dentro de la figura prismática. El módulo es repetido cincuenta y cinco veces en una estructura triangular de pared, que no es lisa sino curvada.

347



348



349

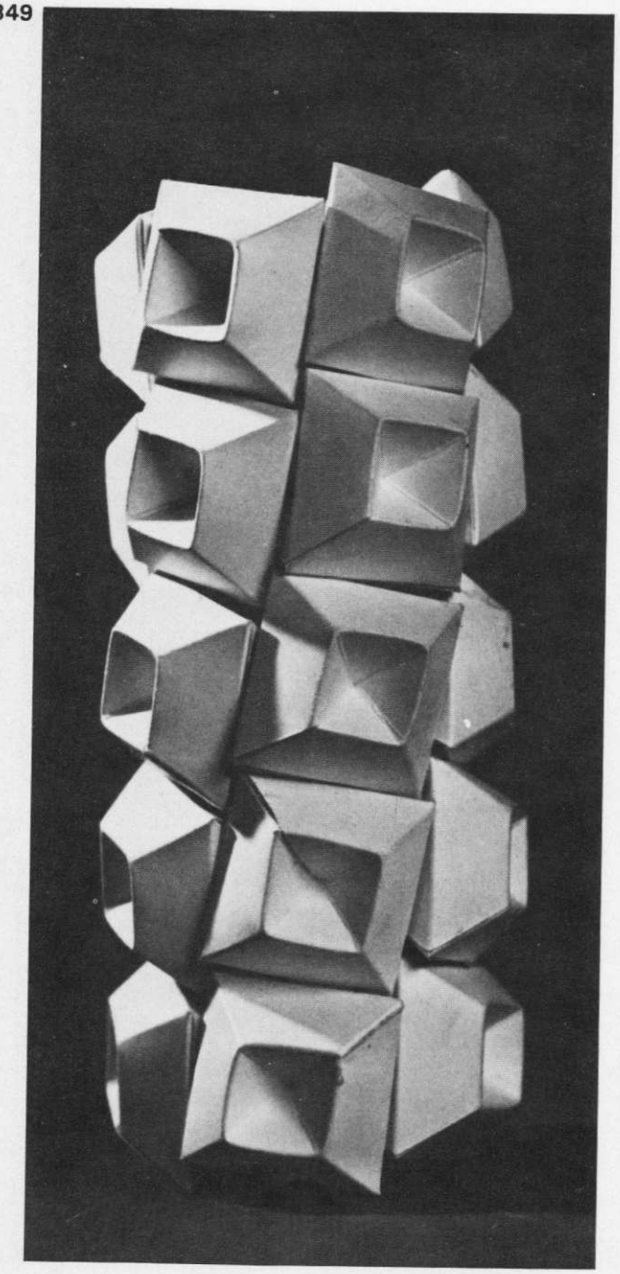


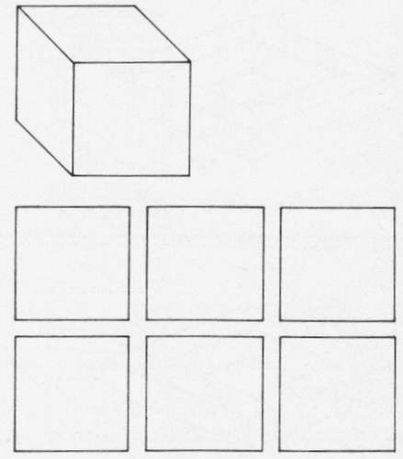
Figura 349. Hay veinticinco módulos en cinco capas o cinco columnas. Cada módulo es un octaedro con un vértice empujado hacia adentro. La estructura está construida por medio de contacto entre caras. Un aspecto interesante de este diseño es que cada columna no es perpendicular, sino inclinada con respecto a la base.

8. Estructura lineal

Hasta ahora hemos considerado formas tri-dimensionales, construidas por planos lisos de grosor parejo. Para construir cualquier forma geométrica sólida, que se componga de caras planas y de filos rectos, podemos cortar las figuras de las caras y pegarlas entre sí, con un refuerzo interno o sin él.

Por ejemplo, un cubo sólido se compone de seis caras cuadradas. Para construirlo se requieren seis planos cuadrados. El grosor de estos planos es visualmente insignificante, porque normalmente queda oculto (fig. 350).

350



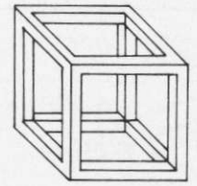
Construcción con líneas

Todas las formas geométricas con filos rectos pueden ser reducidas a una estructura lineal. Para construirla, cada filo es transformado en materiales lineales, que marcan los bordes de las caras y forman los vértices donde se unen.

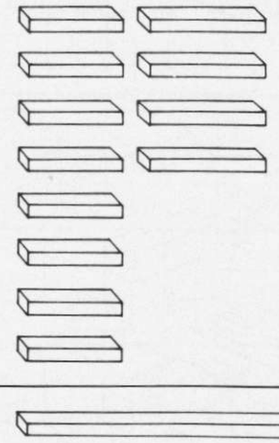
En toda forma geométrica hay siempre más filos que caras. Por lo tanto, la construcción con líneas es más complicada que la construcción con planos. Usando otra vez el cubo como ejemplo, hay sólo seis caras, pero hay doce filos, y los doce filos se convierten en doce varillas lineales que deben quedar conectadas para construir el marco lineal de un cubo (fig. 351).

En nuestra exploración de las relaciones lineales, los elementos pueden ser barras de madera, con extremos cuadrados. En realidad, las figura son primas alargados, con sus propias caras, filos y extremos (fig. 352).

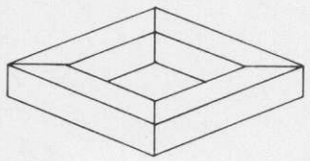
351



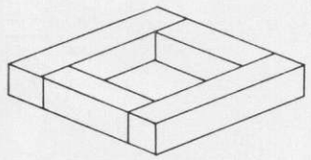
352



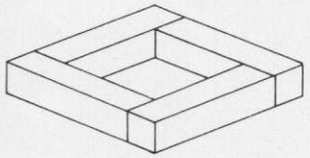
353



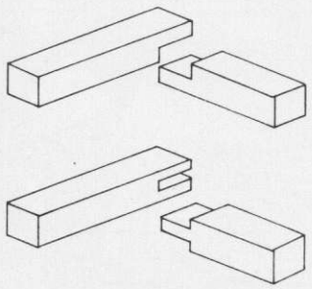
354



355



356



Uniones

Para usar varillas de madera en la construcción, necesitamos primero saber sobre sus uniones. Para construir un marco cuadrado chato, se pueden cortar en inglete cuatro varillas de madera de la misma longitud y pegarlas juntas. Tales uniones son nítidas y bastante fuertes (fig. 353).

Una forma más simple de hacer un marco cuadrado chato es utilizar dos varillas más largas y dos más cortas, con extremos cuadrados. Los extremos de las piezas más cortas son pegados a las caras laterales de las más largas. La longitud de las piezas más largas es igual a la medida externa del marco cuadrado, mientras la longitud de las más cortas es igual a la medida interna del marco (fig. 354).

Podemos usar asimismo cuatro varillas de madera, con extremos cuadrados y de la misma longitud. Esta es la forma más simple de hacer un marco cuadrado. La medida externa del marco final es la suma de la longitud y del ancho de cada varilla, y la medida interna es la diferencia entre la longitud y el ancho de esas varillas (fig. 355).

Las uniones hechas con extremos cuadrados no son tan fuertes como las hechas con extremos cortados en inglete. Pueden hacerse extremos más fuertes si el extremo de una varilla de madera se superpone al de la otra, cortando una porción de ambas. Esto se denomina unión de media-falda. Para una resistencia mayor, pueden hacerse uniones machihembradas, de mayor complicación. Pero ciertamente, para modelos pequeños, las uniones complicadas no son necesarias (fig. 356).

Componentes de la estructura lineal

Con un marco cuadrado por arriba y por debajo, sólo necesitamos cuatro varillas de madera para soporte, cortadas a la medida interna del marco cuadrado, y podremos erigir el cubo (fig. 357).

Las variaciones sobre la estructura lineal del cubo pueden hacerse de una o más de las siguientes maneras:

a) El marco superior o inferior puede ser ciertamente de una figura distinta al cuadrado (fig. 358)

b) El marco superior puede tener la misma figura y tamaño que el inferior, o puede ser de la misma figura pero distinto tamaño (fig. 359)

c) La dirección del marco superior puede ser igual o diferente a la del marco inferior (fig. 360)

d) El marco superior puede estar inclinado y no ser paralelo al plano del inferior (fig. 361)

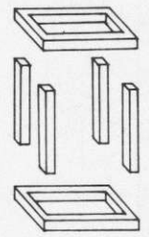
e) Las varillas de soporte pueden ser de una misma longitud o de distintas longitudes (fig. 362)

f) Las varillas de soporte pueden ser todas perpendiculares al marco inferior o formar un ángulo con él (fig. 363)

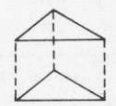
g) Las varillas de soporte pueden ser paralelas o no-paralelas entre sí (fig. 364)

h) Las varillas de soporte pueden ser rectas, quebradas o una combinación de ambos tipos (fig. 365).

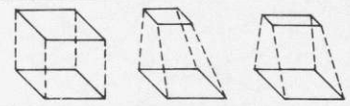
357



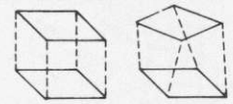
358



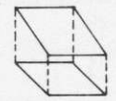
359



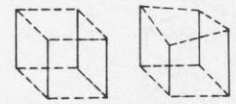
360



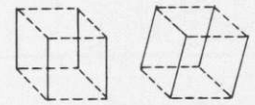
361



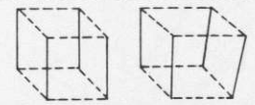
362



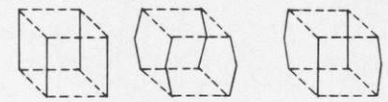
363



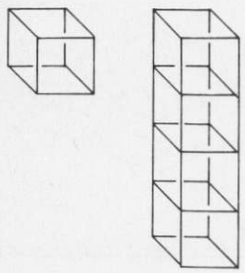
364



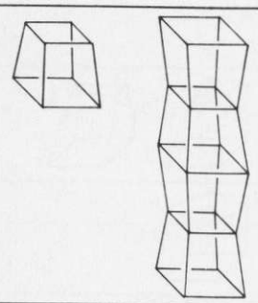
365



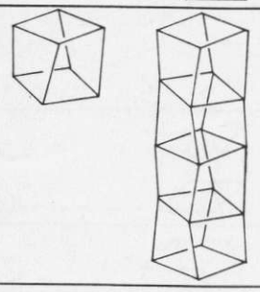
366



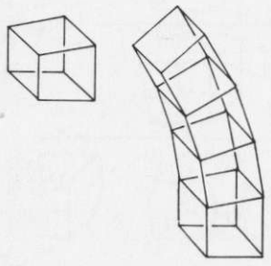
367



368



369



Repetición del marco lineal

Hasta ahora hemos visto cómo puede construirse un marco lineal simple. Para avanzar un poco más, podemos repetir la sección del marco, tantas veces como se desee, colocando una unidad sobre la otra. Cada sección puede ser considerada como un módulo.

Si cada módulo tiene marcos paralelos, arriba y abajo, de la misma figura, tamaño y dirección, con varillas paralelas de soporte de igual longitud, podemos obtener una estructura vertical de filos rectos, colocando un módulo sobre el otro (fig. 366).

Normalmente, el marco superior del módulo de abajo se convierte en el marco inferior del módulo de arriba.

Si cada módulo tiene marcos paralelos, arriba y abajo, de la misma dirección, pero no del mismo tamaño, eso supone que las varillas de soporte, aunque sean de una misma longitud, no pueden seguir siendo paralelas entre sí, y la estructura resultante tendrá filos en zigzag (fig. 367).

Si cada módulo tiene marcos paralelos, arriba y abajo, de la misma figura y tamaño, pero no en la misma dirección, esto supone que, también aquí, las varillas de soporte no pueden ser paralelas entre sí, y la estructura resultante tendrá un cuerpo retorcido (fig. 368).

Si cada módulo tiene marcos no-paralelos, arriba y abajo, de la misma figura y tamaño, esto supone que las varillas de soporte deberán tener longitudes desiguales, y la estructura resultante tendrá un cuerpo curvado o torcido (fig. 369).

Agrupamiento de módulos repetidos

Los módulos repetidos pueden ser agrupados para que la parte inferior del módulo de arriba no coincida exactamente con la parte superior del módulo de abajo. Los módulos pueden ser desplazados gradualmente en posición o en dirección (fig. 370).

La columna así creada puede ser colocada horizontalmente, sea porque no podría permanecer estable en posición vertical o sea por razones estéticas (fig. 371).

En estructuras más complejas pueden utilizarse columnas repetidas.

Agregado y sustracción

Dentro de los marcos superior e inferior, o entre las varillas de soporte, o dentro del espacio definido por el marco lineal, pueden colocarse figuras lineales adicionales, para reforzar la estructura o simplemente para hacerla más interesante (fig. 372).

Después de este soporte adicional, es posible que algunas o todas de las varillas de soporte originales, o parte de los marcos superior o inferior, puedan ser retiradas por razones estéticas u otras (fig. 373).

Las varillas que componen el marco superior o inferior, o que están entre los dos marcos, pueden exceder la longitud del cubo (fig. 374).

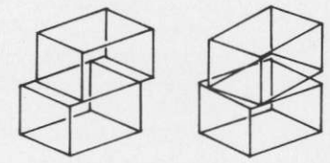
Pueden formarse marcos adicionales, fuera de la estructura lineal (fig. 375).

Interpenetración

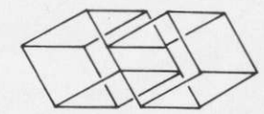
La interpenetración ocurre cuando una parte de una estructura lineal se sitúa dentro del espacio definido por otra estructura lineal (fig. 376).

Una estructura lineal más pequeña puede quedar suspendida dentro de otra mayor, con elementos adicionales para sostenerla o colgarla (fig. 377).

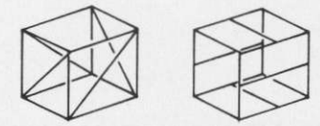
370



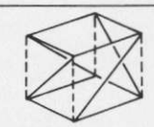
371



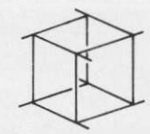
372



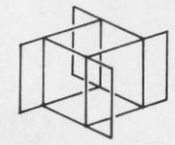
373



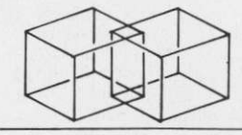
374



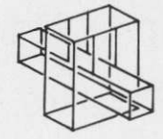
375



376



377

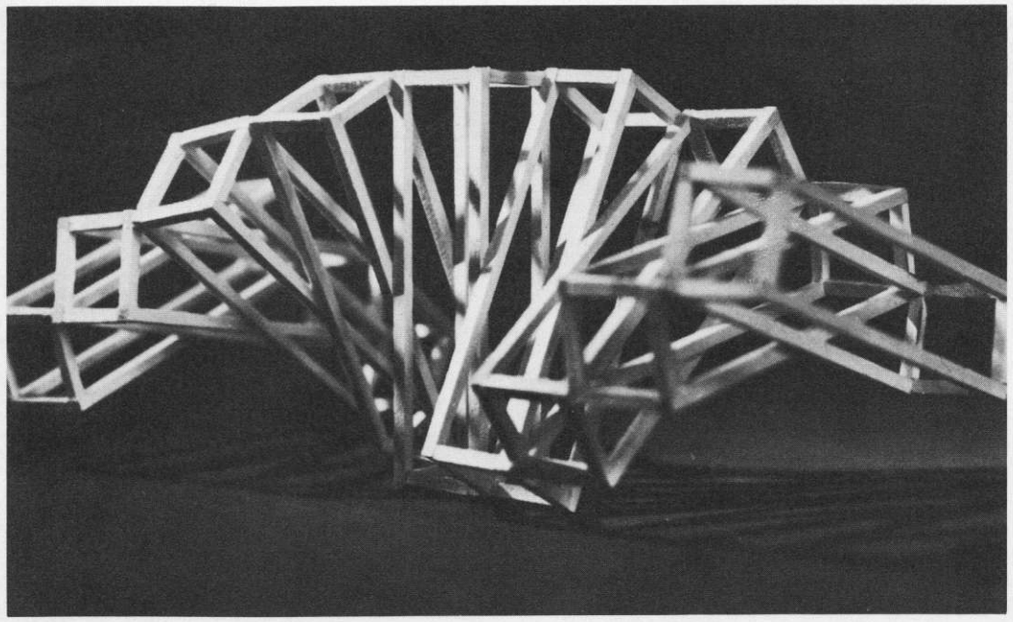


Las figuras 378 a 383 son proyectos en la construcción de enmarcados lineales. Algunos de los ejemplos en capítulos anteriores, hechos en cartón, pero con todas las caras recortadas hasta los filos, también pueden ser examinados como proyectos de este tipo. Son las figuras 261, 263, 265 y posiblemente 342.

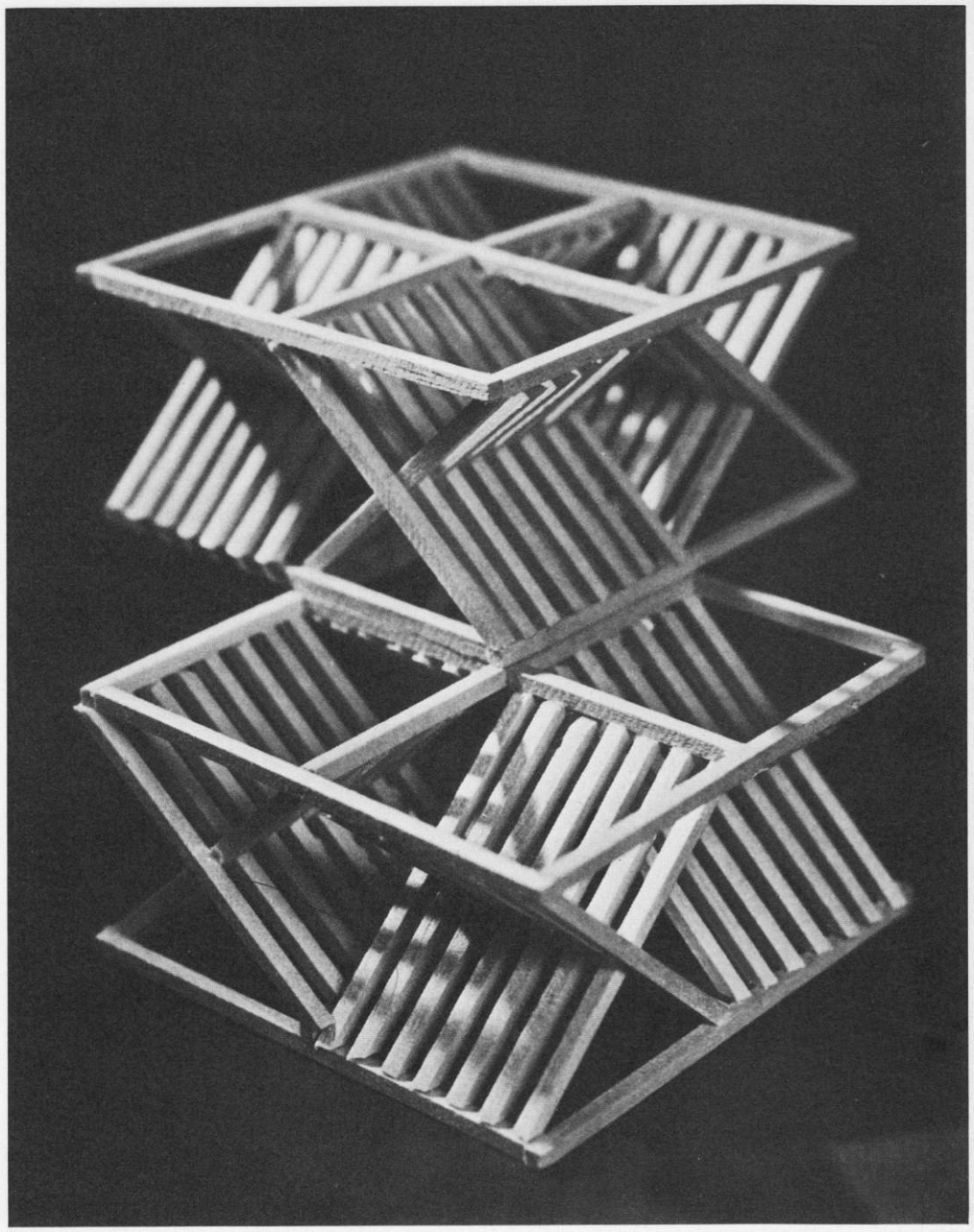
Figura 378. Aquí se han utilizado nueve módulos de enmarcado lineal. Cada módulo está construido con dos marcos cuadrados y cuatro varillas de soporte, de la misma longitud. Los módulos se unen entre sí en rotación de dirección.

Figura 379. Esta estructura se compone de dos módulos, cada uno de ellos dividido en cuatro secciones. Una sección del módulo de arriba se superpone a una sección del módulo inferior. Se han trazado líneas diagonales dentro de los módulos, reemplazando a todas las varillas verticales de soporte.

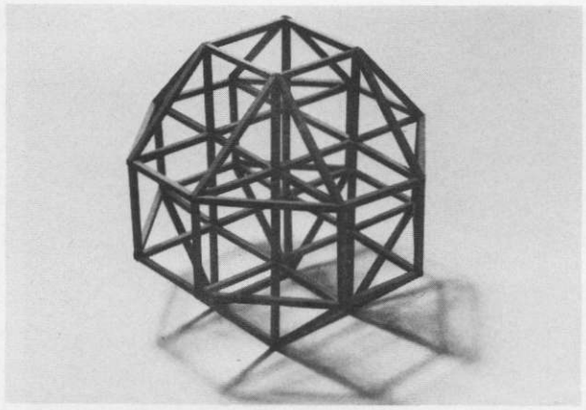
378



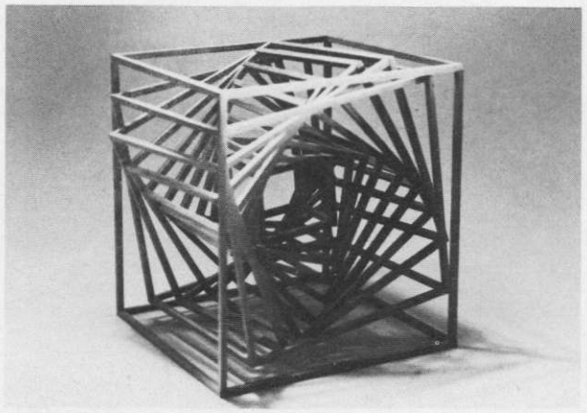
379



380



381



382

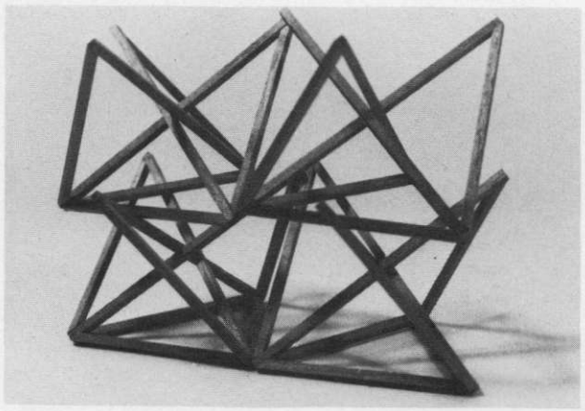


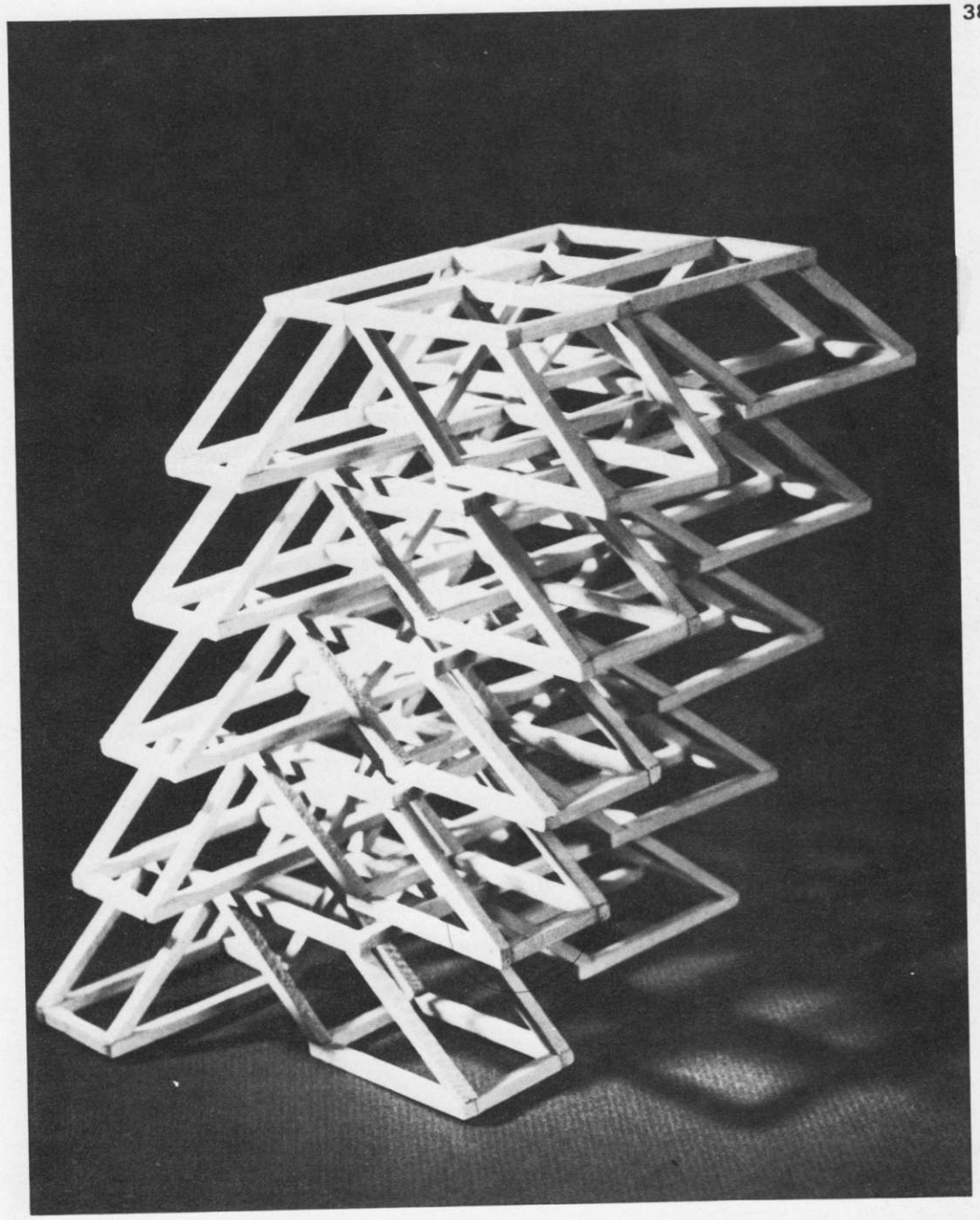
Figura 380. La estructura es un rombo-cubo-octaedro, dentro del cual se han desarrollado elementos lineales adicionales que unen a los vértices.

Figura 381. Aquí cada módulo es la estructura de un cubo y los módulos están dispuestos en gradación de tamaño y de dirección, uno dentro de otro.

Figura 382. Hay cuatro módulos en este diseño. Cada módulo era originalmente la estructura de un cubo, pero casi todos sus elementos verticales y horizontales han sido quitados, tras agregar elementos diagonales a la estructura.

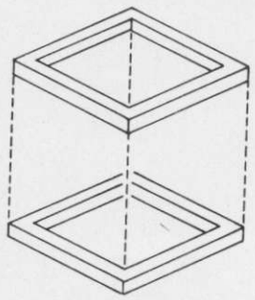
Figura 383. La estructura contiene cinco capas, con cuatro módulos en cada capa. Cada módulo es una figura prismática inclinada.

383

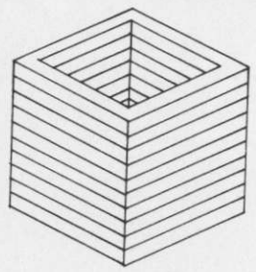


9. Capas lineales

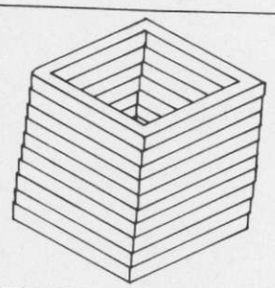
384



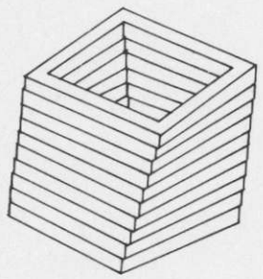
385



386



387



Construcción de capas lineales

En el último capítulo vimos cómo pueden ser construidas las estructuras lineales. Si retiramos las varillas de soporte de una estructura lineal, nos quedan un marco superior y uno inferior, que pueden ser considerados como dos capas: una capa superior y una inferior (fig. 384).

Entre estas dos capas pueden agregarse una cantidad de capas intermedias, y la figura así erigida será la misma de la estructura lineal de origen. Por ejemplo, si la estructura tiene la figura de un cubo, las cuatro varillas de apoyo pueden ser reemplazadas por capas de marcos cuadrados, de la misma figura y tamaño que los marcos superior e inferior. La figura resultante tiene planos laterales sólidos, pero planos superior e inferior huecos (fig. 385).

Ahora, si se desea, podemos desplazar las posiciones de las capas para conseguir un prisma inclinado (fig. 386).

O podemos rotar gradualmente cada capa (fig. 387).

Variaciones y posibilidades

Para simplificar nuestra idea, podemos utilizar una sola varilla de madera por cada capa, y ver qué variaciones y posibilidades podemos tener.

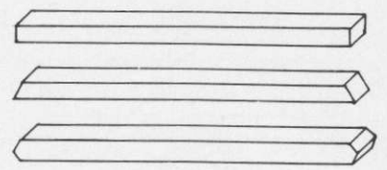
Ante todo, los dos extremos de la varilla pueden ser cortados en la forma que se crea deseable (fig. 388).

Al construir las capas, las varillas pueden ser todas de una misma longitud o de longitudes variables (fig. 389).

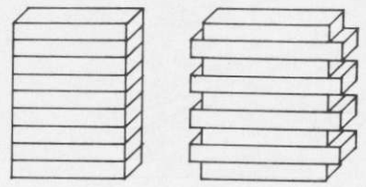
Podemos colocar una varilla directamente encima de otra, pero también podemos disponerlas en gradación de posición o de dirección (fig. 390).

El cuerpo de la varilla puede ser tratado de alguna manera especial (fig. 391).

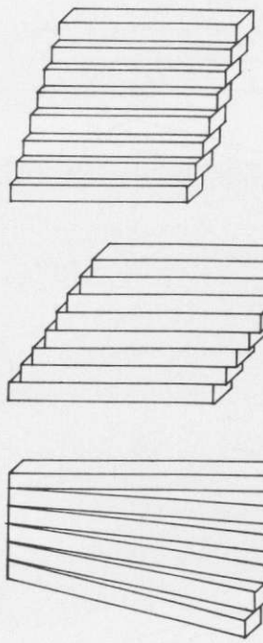
388



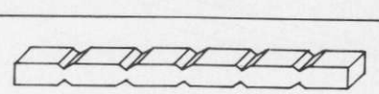
389



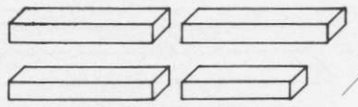
390



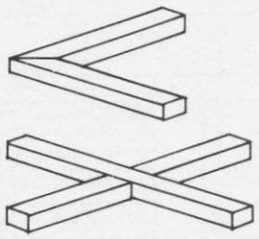
391



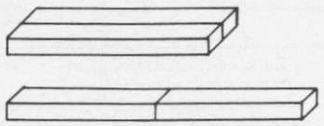
392



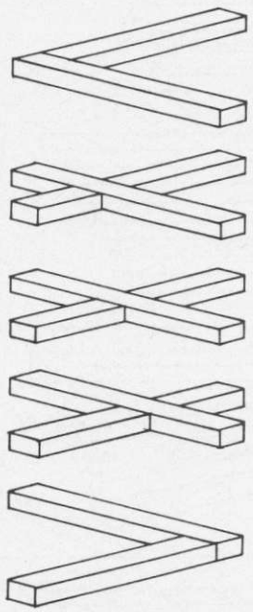
393



394



395



Gradación de figura en construcción por capas

Las posibilidades en gradación de figura pueden ser exploradas cuando tenemos más de una varilla de madera en cada capa. Supongamos que tenemos dos varillas en cada capa de nuestra construcción. Las dos varillas pueden ser de la misma o de diferente longitud (figura 392).

Pueden ser unidas en un extremo, para formar una figura en V, o pueden cruzarse entre sí para formar una figura en X. El ángulo de unión o de cruce puede variar de una capa a la siguiente (fig. 393).

Ambas pueden ser adheridas en forma lateral o longitudinal (fig. 394).

Observemos el siguiente ejemplo en la construcción por capas. La capa superior es una figura en V, con la unión apuntada hacia la izquierda. En las capas inmediatamente inferiores, las dos varillas comienzan a superponerse gradualmente entre sí, en una unión de media falda, formando una figura en X. La capa central es una figura en X, con la intersección en el medio exacto. En las capas inmediatamente inferiores, la intersección de la figura en X se mueve gradualmente hacia la derecha. Finalmente se convierte en una figura en V, con la unión apuntada hacia la derecha, que marca la capa inferior (fig. 395).

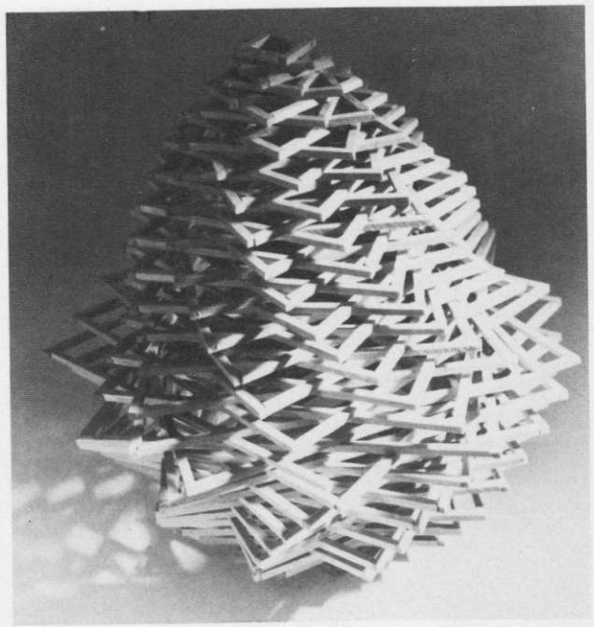
Con más varillas para cada capa, y con variaciones de posición y de dirección, pueden obtenerse fácilmente efectos más complicados.

Las figuras 396 a 403 muestran el uso de capas lineales en estructuras tri-dimensionales.

Figura 396. Cada capa es un simple cuadrado en esta construcción aparentemente compleja. El marco cuadrado ha sido dispuesto en gradación de tamaño y también de dirección.

Figura 397. Aquí hay cuatro grupos de capas lineales. En cada grupo, las varillas de madera rotan y se hacen cada vez más largas. Los cuatro grupos están reunidos en una estructura con figura de X.

396



397

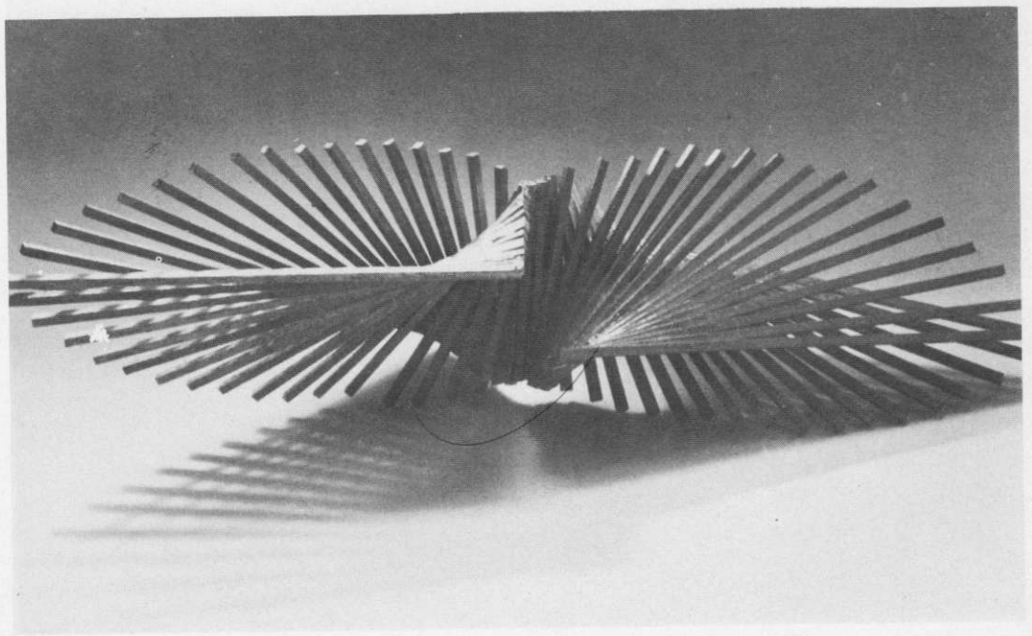
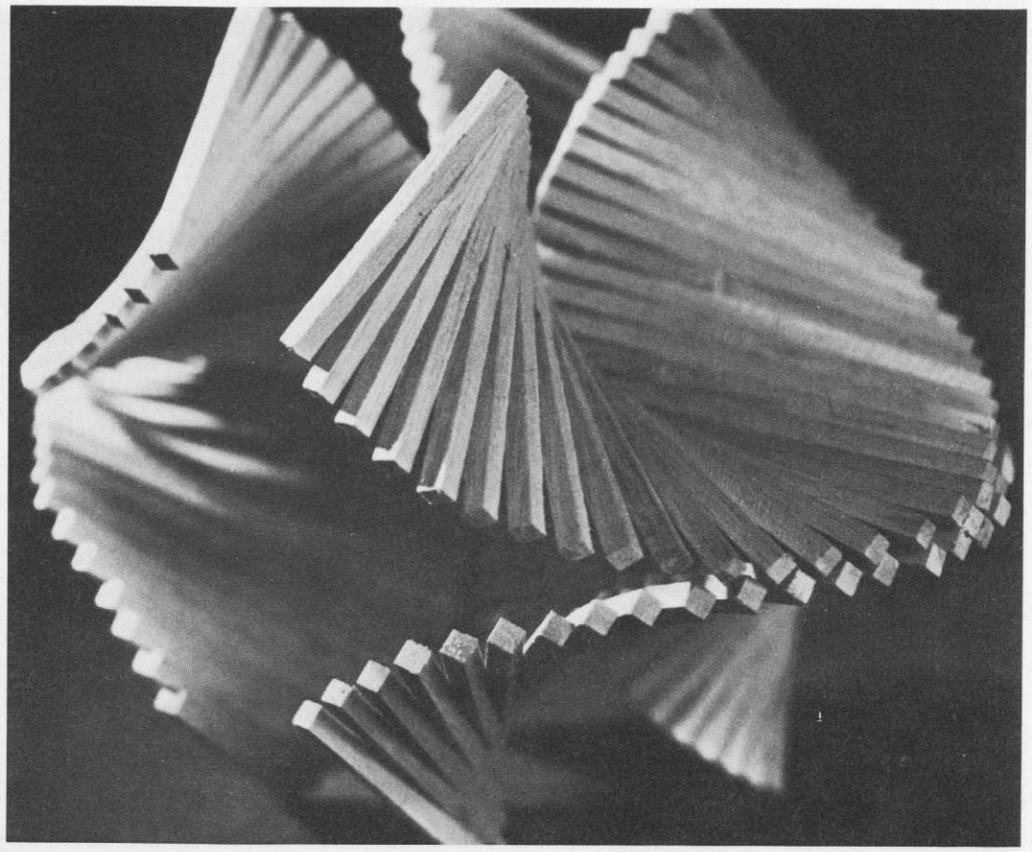


Figura 398. Similar a la 397. Aquí encontramos varillas que rotan formando planos curvos, cuatro de los cuales se reúnen en el diseño.

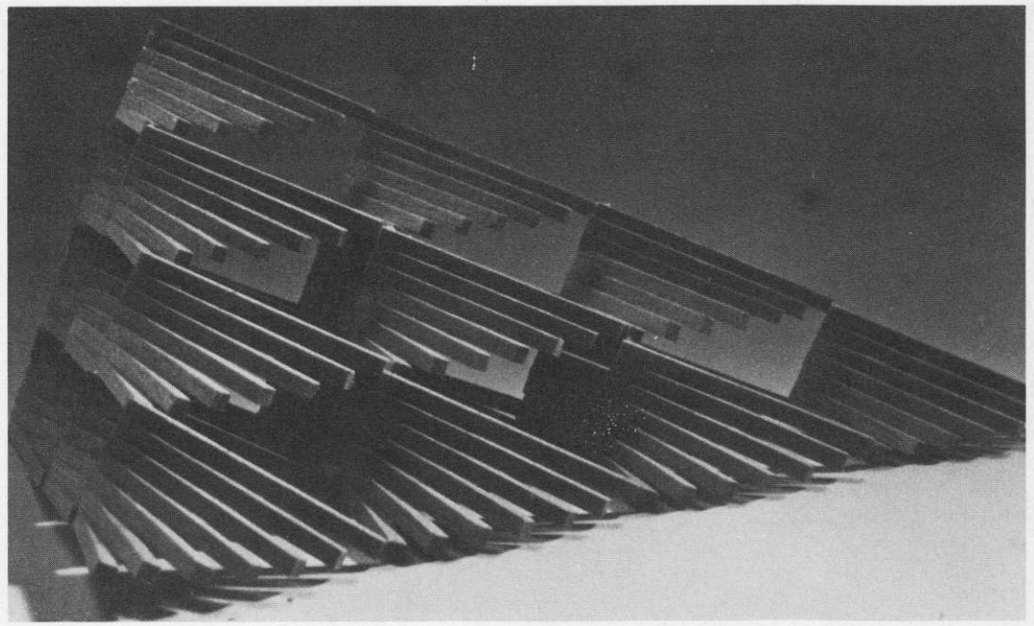
Figura 399. Esta contiene un total de veinte grupos, cada uno de los cuales se compone de seis varillas en rotación, con longitudes en gradación. La figura general del diseño es un tetraedro irregular.

Figura 400. En este diseño hay sólo dos grupos de varillas en rotación. Todas las varillas tienen una misma longitud.

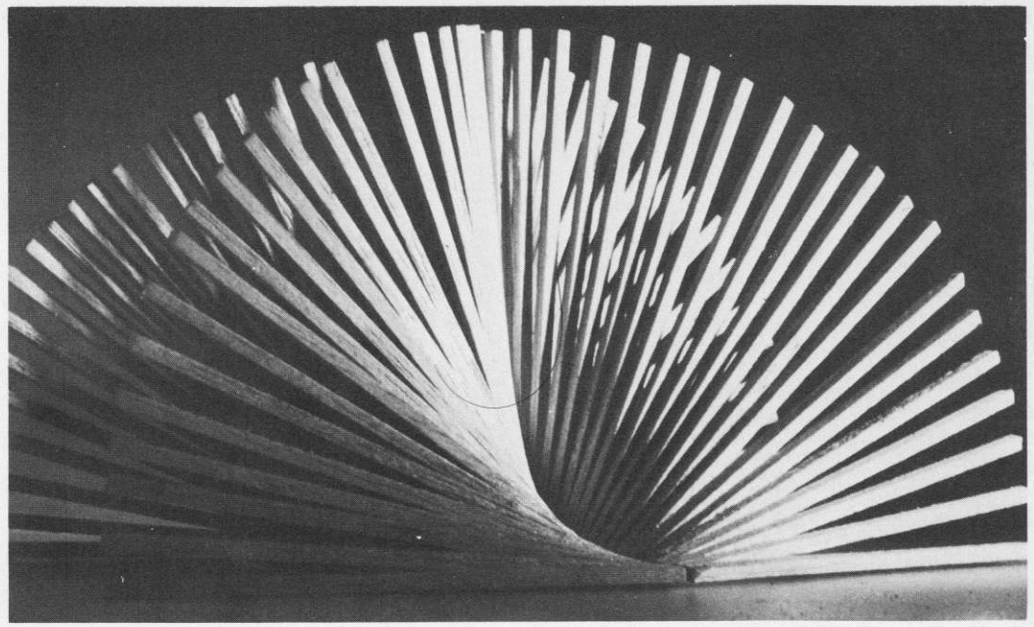
398



399



400



401

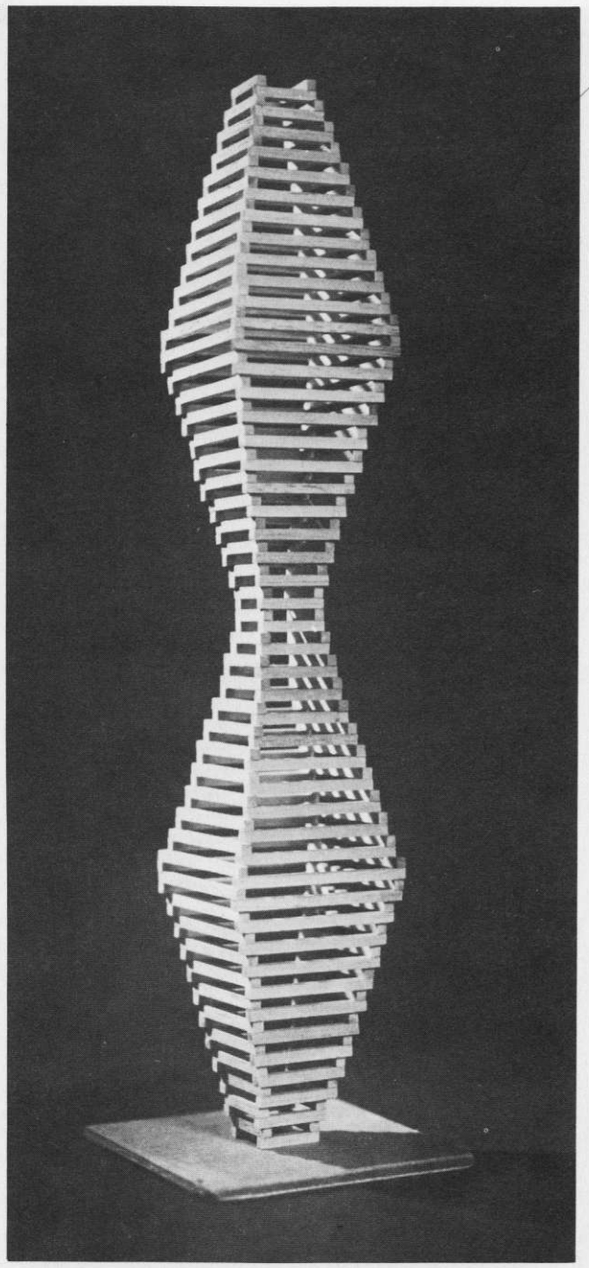
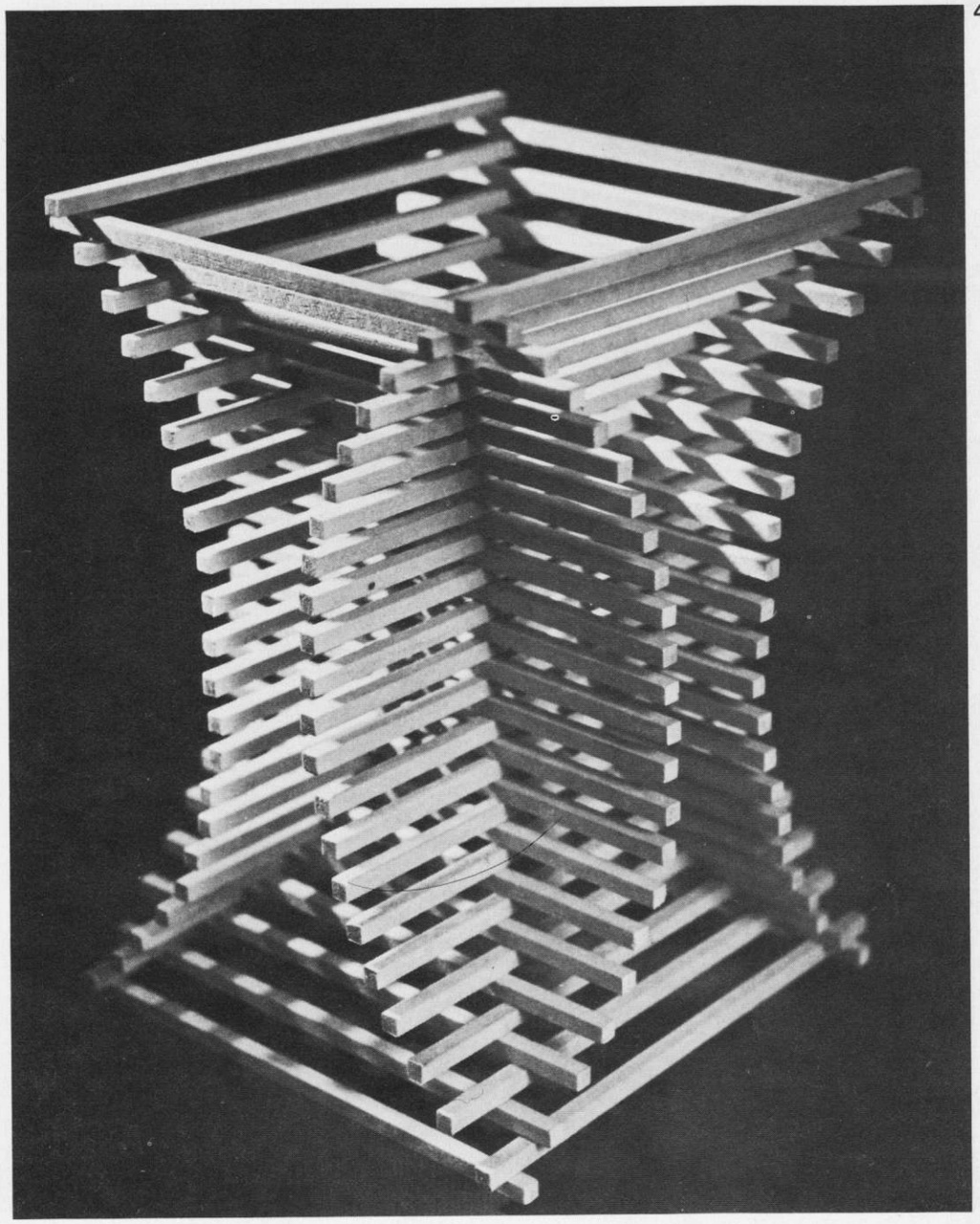


Figura 401. Aquí cada marco cuadrado está separado en dos capas: una con dos varillas orientadas hacia atrás y hacia adelante, y la siguiente con varillas orientadas hacia los costados. La gradación en el tamaño de los marcos cuadrados, creada por la gradación en las longitudes de las varillas, ha convertido el conjunto en una interesante figura de torre.

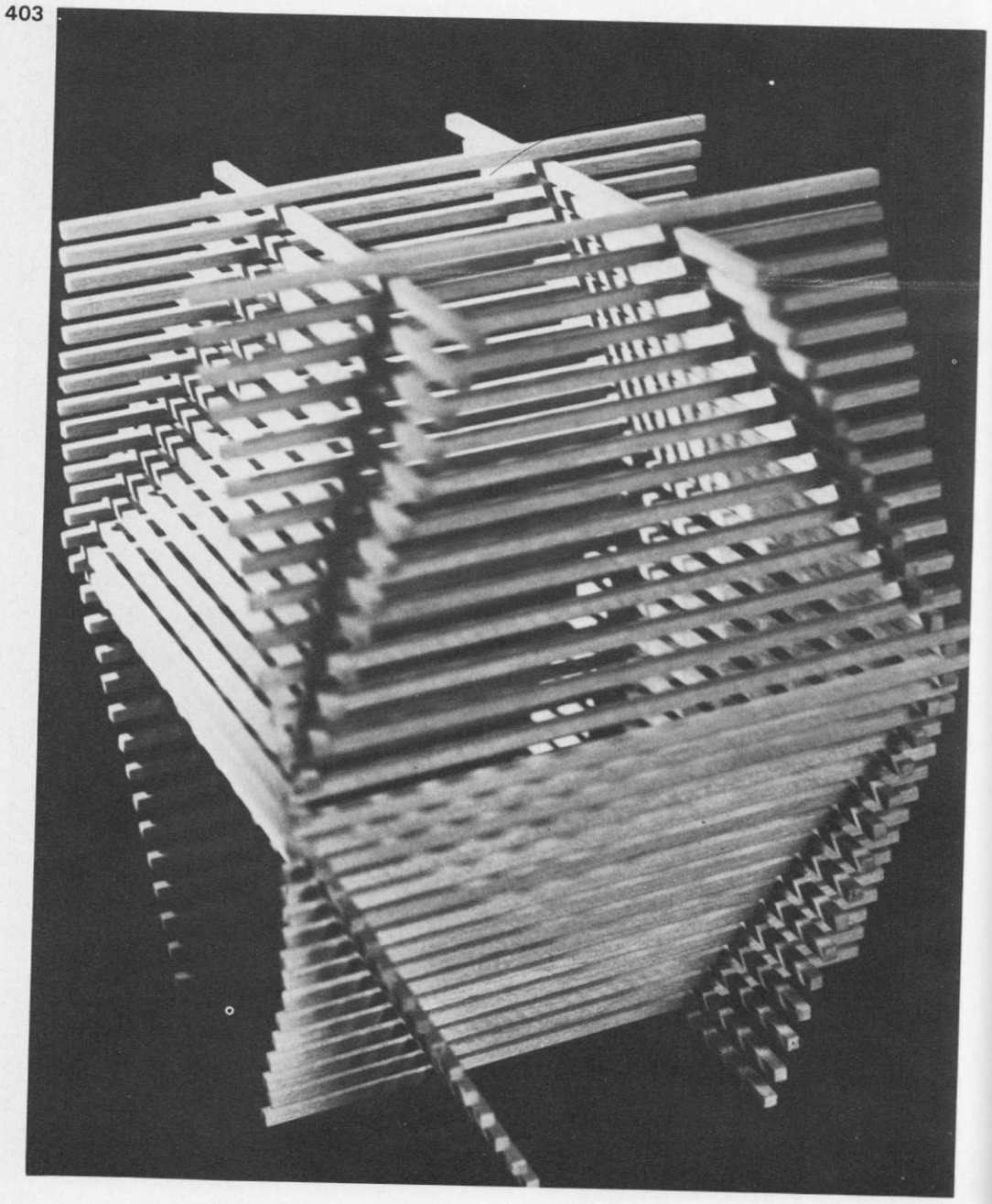
Figura 402. De manera similar a la 401, tenemos aquí varillas que apuntan a diferentes direcciones en capas alternadas. Las longitudes de las varillas permanecen incambiadas, pero en cada capa la distancia entre varillas paralelas se estrecha y después amplía gradualmente.

Figura 403. Ha sido construida aproximadamente con el mismo principio de la 402.

402



403



10. Líneas enlazadas

Líneas enlazadas sobre un plano

Sobre un plano dibujemos dos líneas rectas de la misma longitud y en cada una de ellas marquemos siete puntos, espaciados a la misma distancia (fig. 404).

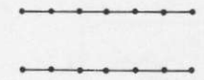
Pueden crearse las líneas enlazadas, uniendo los puntos de una línea recta con los de la otra. Si las dos línea rectas son paralelas y unimos los puntos en el orden de su posición, se produce un esquema de líneas enlazadas paralelas. Si unimos los puntos en el orden inverso a su posición, las líneas enlazadas habrán de cruzarse entre sí en un nuevo punto, que está a mitad de camino entre ambas líneas rectas (fig. 405).

Si las dos líneas rectas no son paralelas, las líneas enlazadas pueden ser paralelas, o en gradación de dirección, o en intersección en muchos puntos nuevos. En el último caso se produce un filo curvo, aunque todas las líneas de enlace sean rectas (fig. 406).

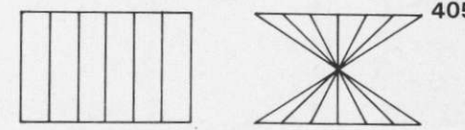
Si las dos líneas rectas están unidas entre sí en un ángulo, las líneas de enlace pueden ser todas paralelas o pueden cruzarse en muchos puntos nuevos. En el último caso también se produce un filo curvo (fig. 407).

Si los puntos regularmente espaciados no están marcados sobre líneas rectas sino a lo largo de un arco de círculo, las líneas de enlace entre tales puntos podrán ser paralelas o podrán cruzarse en muchos puntos nuevos, produciendo un filo curvo, como en los ejemplos anteriores (fig. 408).

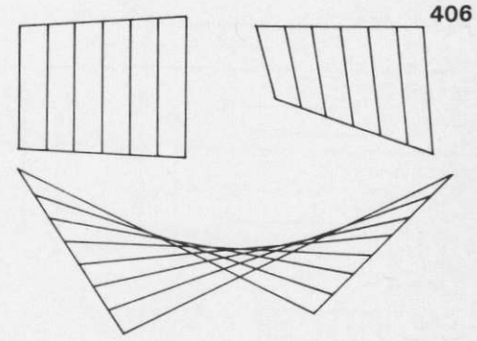
404



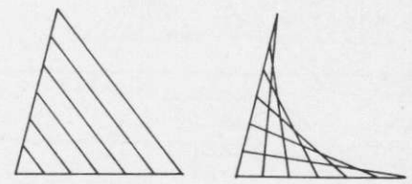
405



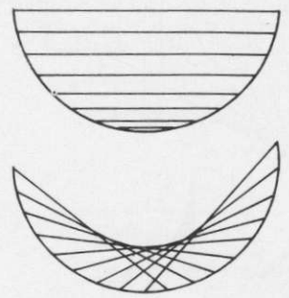
406



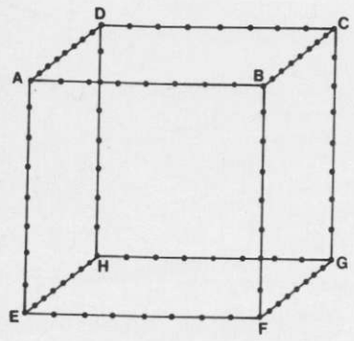
407



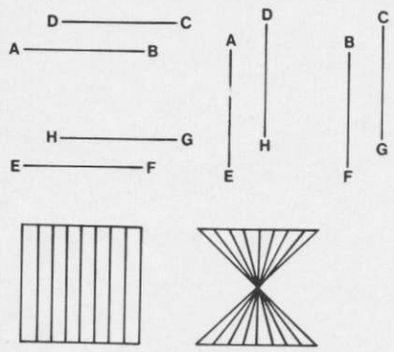
408



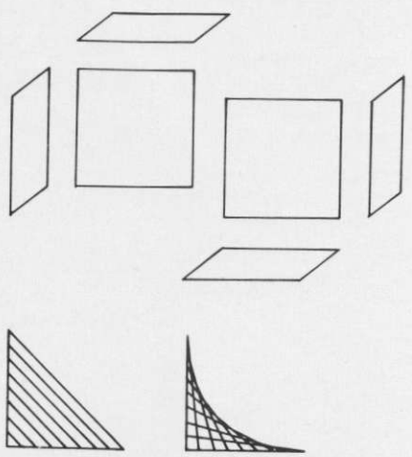
409



410



411



Líneas enlazadas en el espacio

Para explorar las posibilidades del enlace de líneas en el espacio, podemos utilizar una estructura lineal, con forma de cubo, cuyos vértices serán A, B, C, D, E, F, G y H. Sobre cada uno de los filos, representados por varillas, se marcan siete puntos de un vértice a otro y a distancias iguales (fig. 409).

AB, CD, EF y GH son varillas paralelas. También lo son AE, BF, CG, y DH. Las líneas de enlace señaladas entre varillas paralelas producen resultados iguales a los de los planos que vimos en figura 405. Esto supone que son paralelas o bien que se cruzan en un punto nuevo (fig. 410).

AB, BC, CD y DA son varillas situadas en un mismo plano. También lo están las varillas DA, AE, HE y DH, las varillas AB, BF, EF y AE, o las varillas CD, DH, GH y CG, o las varillas EF, FG, GH y HE, o las varillas BC, CG, FG y BF. Cualesquiera dos varillas adyacentes de los grupos mencionados pueden producir líneas de enlace similares a las ilustradas en la figura 407 (fig. 411).

Como hemos visto, las varillas paralelas entre sí, o que están en un mismo plano, producen líneas de enlace que son básicamente de naturaleza bi-dimensional. Los efectos tri-dimensionales pueden obtenerse solamente si las varillas no son paralelas y están sobre planos diferentes.

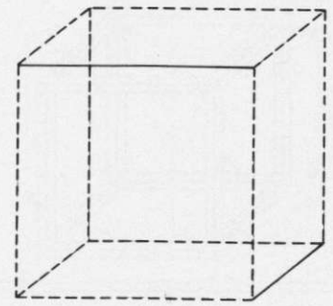
Por ejemplo, las varillas AB y FG en la figura 409 no son paralelas y están en planos distintos. Para desarrollar líneas de enlace podemos conectar A con F, y B con G, o conectar A con G y B con F (fig. 412).

Si conectamos A con F y B con G, las líneas de enlace formarán una superficie que está ligeramente curvada (fig. 413).

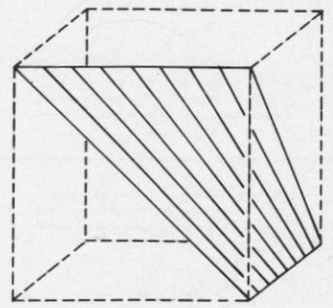
Si conectamos A con G y B con F, la superficie curvada formada por las líneas de enlace es aún más prominente. Es no sólo curvada sino retorcida (fig. 414).

Otros pares de varillas que pueden producir efectos similares son AB y HE, AB y DH, AB y CG; BC y EF, BC y GH, BC y AE, BC y DH; CD y HE, CD y FG, CD y AE, CD y BF; DA y BF, DA y CG, DA y EF, DA y GH.

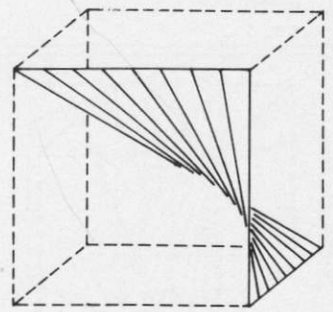
412



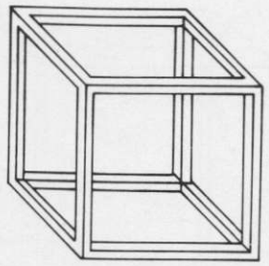
413



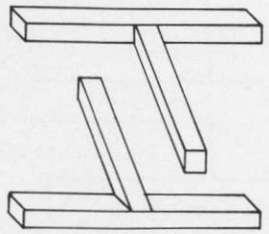
414



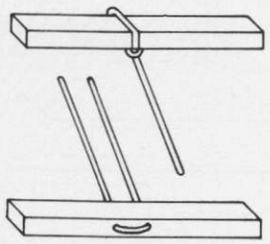
415



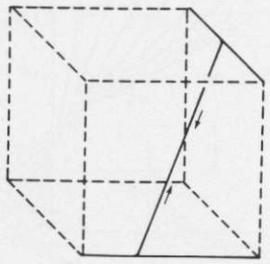
416



417



418



Materiales y construcción

La estructura lineal debe ser hecha con materiales rígidos, como varillas de madera, a fin de que permanezcan firmes y aporten un fuerte apoyo a las líneas enlazadas (fig. 415).

Con una estructura lineal rígida, las líneas de enlace podrán ser de material rígido o blando. Las líneas de enlace rígido pueden simplemente ser pegadas a las caras de los elementos de la estructura, y sus extremos son normalmente tallados para facilitar la adhesión con un máximo contacto de superficie (fig. 416).

Si las líneas de enlace son de material blando, como el hilo de algodón, de nylon u otras substancias, pueden ser atadas o fijadas por otros medios a los elementos de la estructura (fig. 417).

Las líneas blandas de enlace deben ser estiradas entre los dos puntos de fijación, y al hacerlo así se crea una tensión. La estructura debe ser lo bastante resistente como para tolerar esa fuerza (fig. 418).

Construcción plana para líneas enlazadas

Si no se usa una estructura lineal, podemos usar figuras planas simples en una construcción para el desarrollo de líneas de enlace. La construcción plana puede ser más resistente que la estructura lineal si se usa un material de rigidez y grosor adecuados.

Las hojas de acrílico claro son ideales para este propósito, ya que la transparencia del material permite una completa exhibición de las complicaciones en las líneas entrelazadas.

Líneas entrelazadas dentro de un cubo transparente

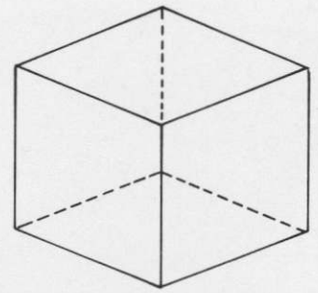
Para explorar, con tan poca interferencia de la estructura como sea posible, el efecto de superficies curvadas que se forma con líneas entrelazadas, podemos utilizar seis hojas cuadradas de acrílico para construir un cubo (fig. 419). Sobre el plano superior, pueden perforarse una cantidad de orificios a intervalos regulares, formando una figura circular. Lo mismo puede hacerse en el plano inferior (fig. 420).

Ahora podemos construir líneas entrelazadas con hilo de nylon o de algodón entre los planos superior e inferior.

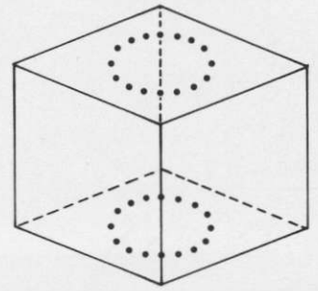
Si las líneas enlazadas son todas paralelas entre sí y perpendiculares a los planos de arriba y de abajo, el resultado es una figura cilíndrica (fig. 421).

Si las líneas entrelazadas están inclinadas y no son paralelas entre sí, el resultado es un hiperboloide con una superficie curvada continua (fig. 422).

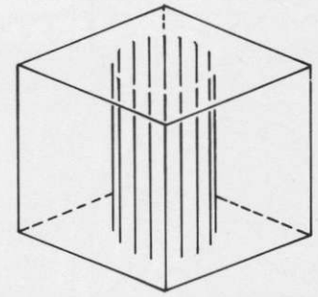
419



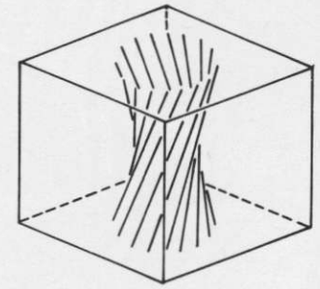
420



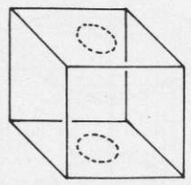
421



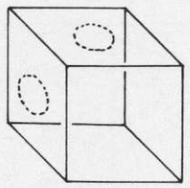
422



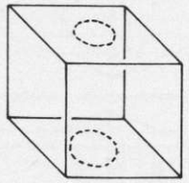
423



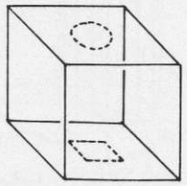
424



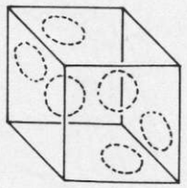
425



426



427



Pueden obtenerse resultados más complicados e interesantes si se varía el diseño descrito, de una o más de las siguientes maneras:

a) La posición de las figuras circulares puede ser trasladada del centro hacia los filos o las esquinas de los planos superior e inferior (fig. 423)

b) Una de las figuras circulares, o ambas, puede ser llevada a los planos laterales del cubo (fig. 424)

c) El tamaño de ambas figuras puede ser diferente (fig. 425)

d) Una de ambas figuras puede ser diferente a la otra; ambas pueden no ser circulares si así se lo desea (fig. 426)

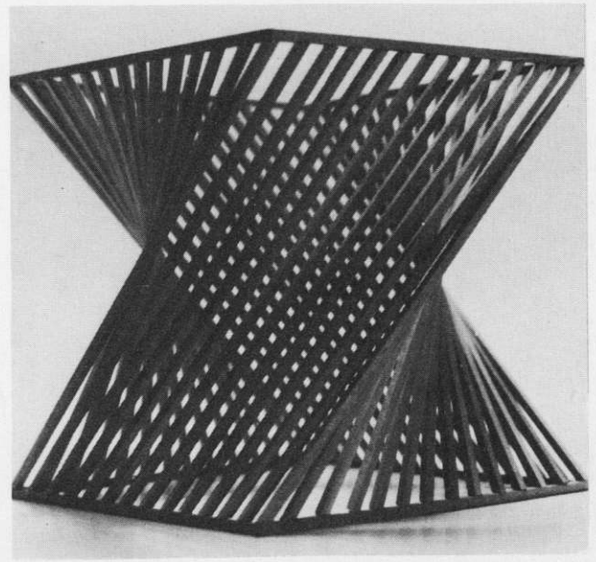
e) Varios juegos de líneas entrecruzadas pueden ser construidos dentro del mismo cubo transparente (fig. 427).

Las figuras 428 a 433 ilustran proyectos donde se utilizan varillas rígidas de madera para la construcción de líneas enlazadas. Las figuras 434 a 439 fueron hechas con líneas enlazadas hechas de materiales blandos.

Figura 428. Las líneas enlazadas rígidas están construidas dentro de la estructura de un cubo. Las cuatro varillas verticales de soporte fueron después retiradas.

Figura 429. Aquí se construye una figura de espiral, partiendo de un plano liso. La figura asciende y desciende, apoyada por las líneas enlazadas.

428



429

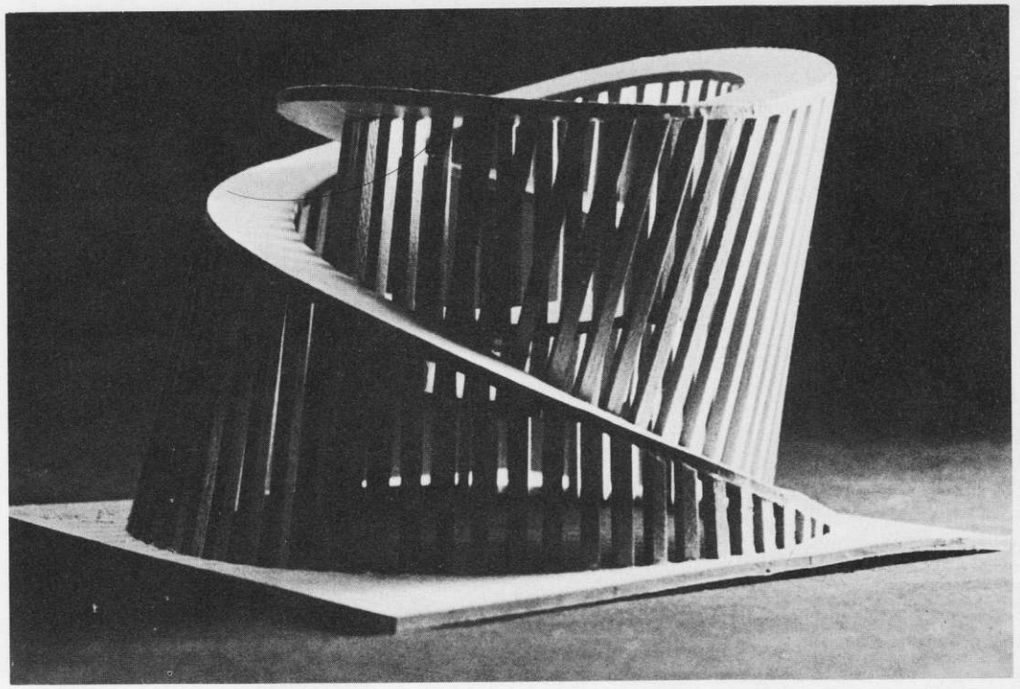


Figura 430. La estructura es resistente, compuesta de elementos verticales, horizontales y diagonales. Todas las líneas enlazadas son paralelas al plano de la base, pero aparecen en gradación de dirección, firmando superficies suavemente curvadas.

430

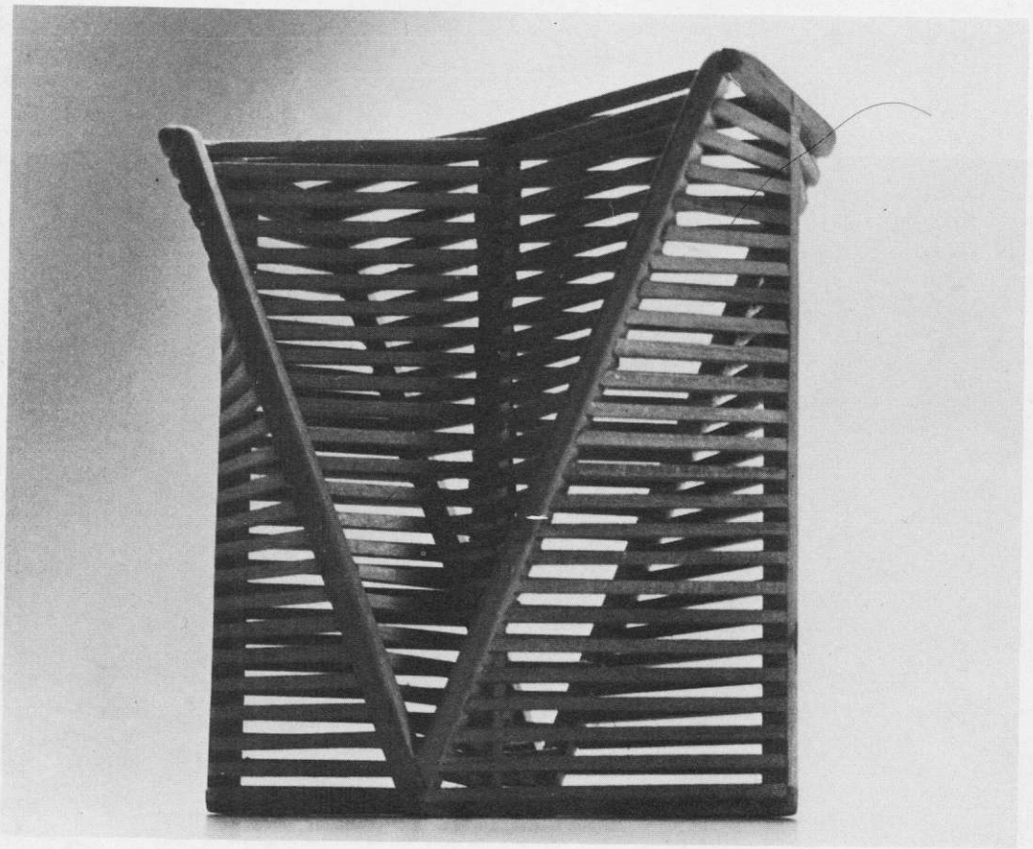
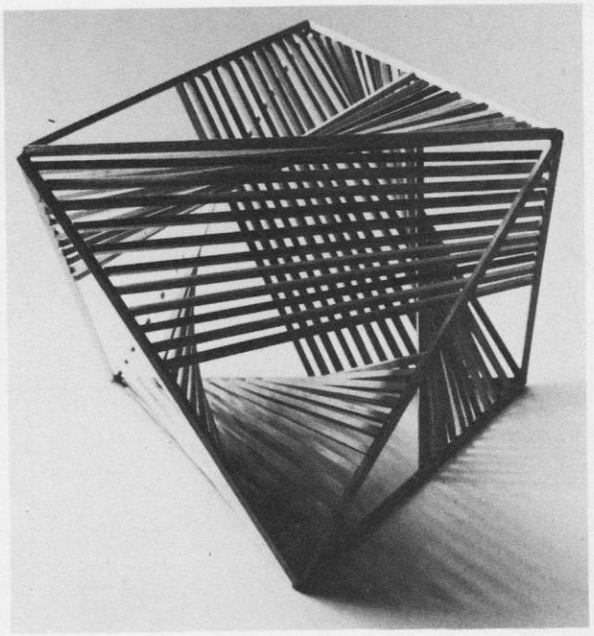


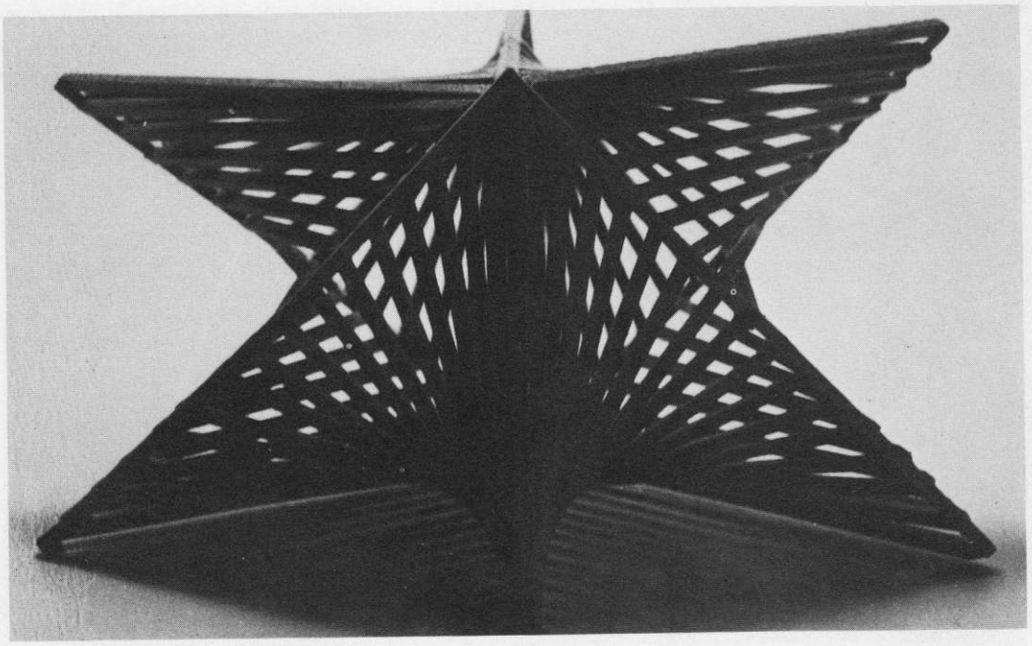
Figura 431. El enmarcado es un octaedro. Se han desarrollado seis grupos de líneas enlazadas, cerca de los seis vértices.

Figura 432. La estructura está compuesta por seis marcos triangulares, que rotan alrededor de un eje común. Toda la estructura está reforzada por líneas enlazadas, que encierran con superficies curvadas el espacio interior.

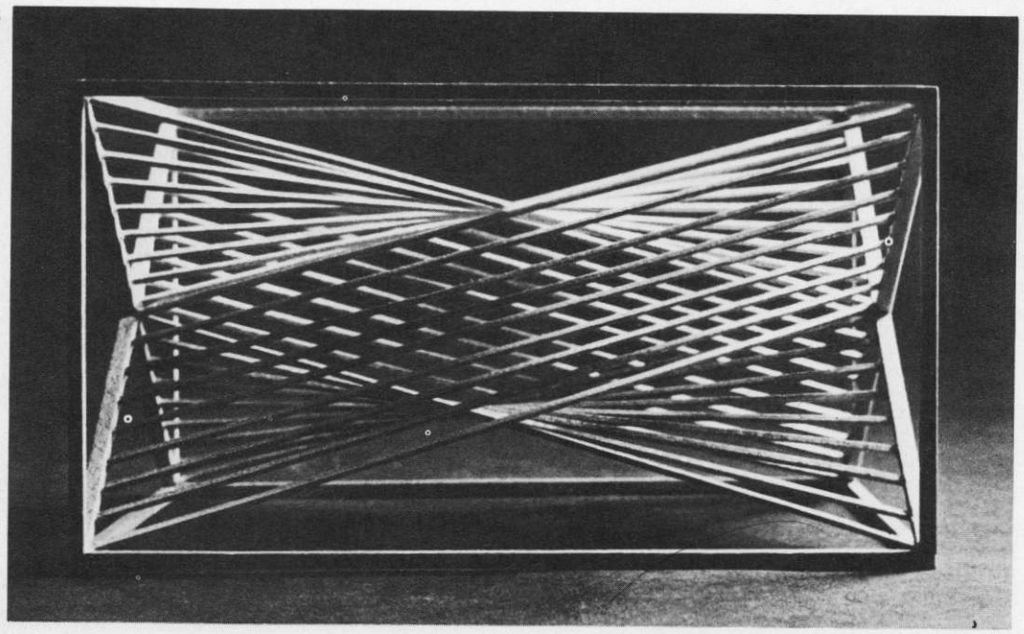
431



432



433



434

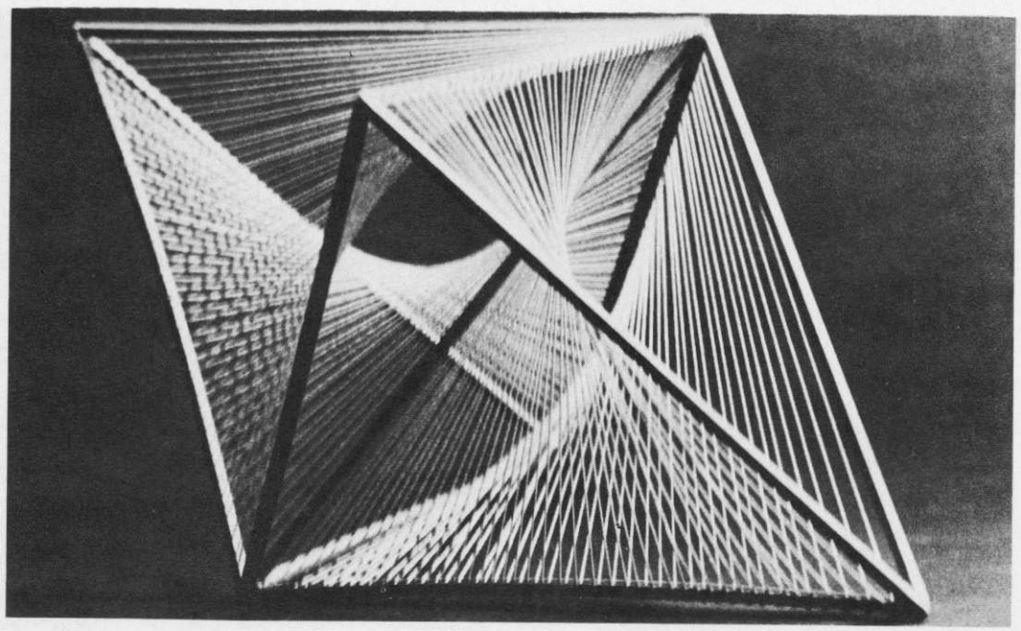


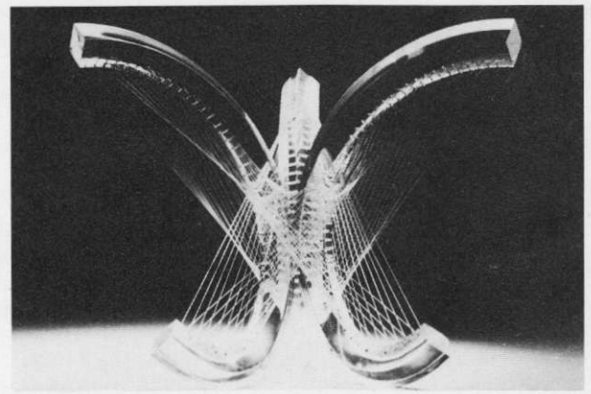
Figura 433. Aquí la estructura ha sido construida con dos marcos cuadrados y cuatro varillas paralelas de conexión, todas del mismo tamaño, perpendiculares a los cuadrados. Dentro de cada figura cuadrada se ha hecho una figura en X, y las líneas enlazadas se desarrollan entre ambas figuras en X.

Figura 434. Se han utilizado ocho marcos en triángulo isósceles para esta estructura octaédrica. Se ha agregado una varilla interna entre los dos vértices opuestos, pero se han quitado dos varillas de la estructura exterior. Para las líneas enlazadas se usó hilo de algodón.

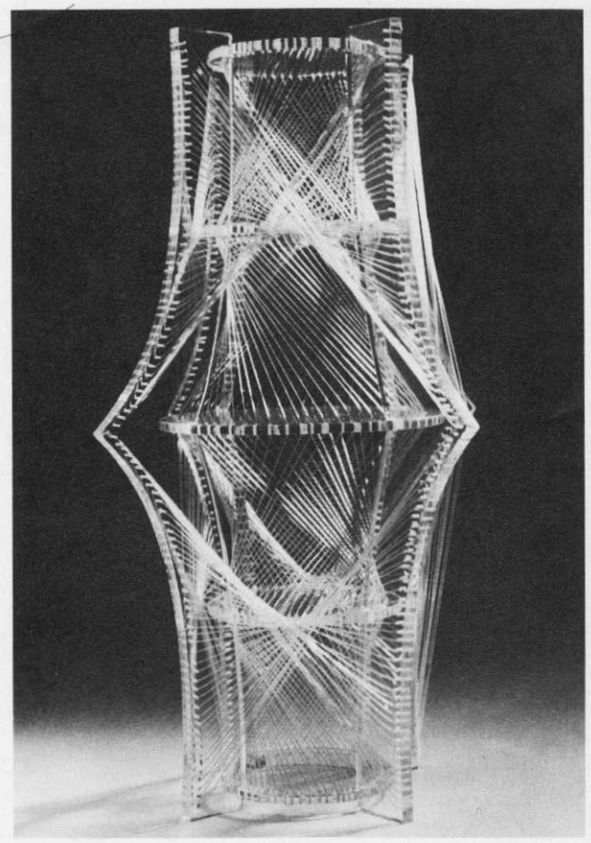
Figura 435. La estructura se compone de tres varillas curvilíneas de material plástico. El hilo de nylon está tejido hacia arriba y hacia abajo, formando una interesante red entre las curvas.

Figura 436. En esta estructura se han combinado cuatro figuras planas, de igual dibujo y tamaño, con cinco discos circulares de diversas medidas, todo ello con hojas de acrílico claro. Las líneas enlazadas en hilo de nylon se desarrollan entre los discos circulares, así como entre ellos y las figuras exteriores de soporte.

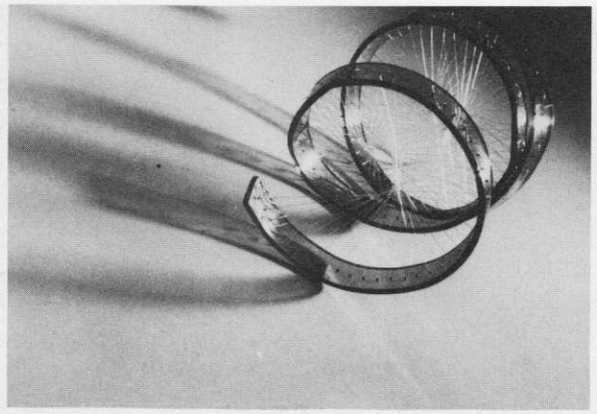
435



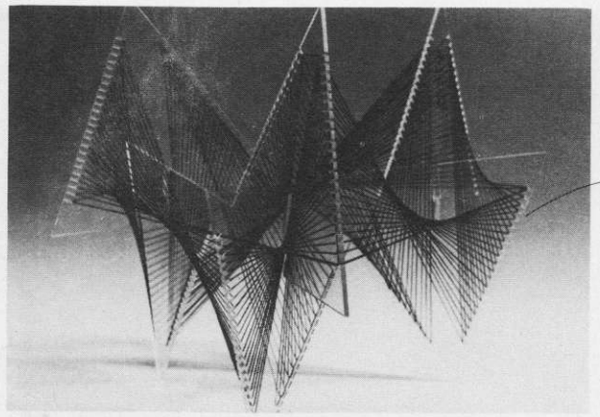
436



437



438



439

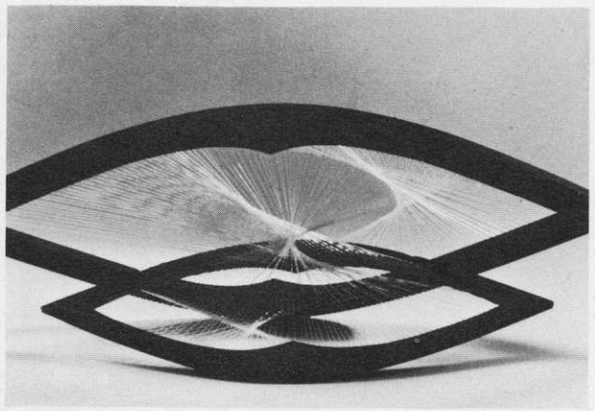


Figura 437. Aquí una banda de material plástico en espiral ha sido utilizada para el desarrollo de líneas enlazadas.

Figura 438. Diversas figuras triangulares, hechas con hojas de acrílico claro, componen esta estructura. El mayor interés del diseño está en las líneas enlazadas, que se destacan notoriamente entre los planos transparentes debido al color oscuro del hilo de algodón.

Figura 439. En este diseño, las figuras planas, hechas de hojas de acrílico opaco con color oscuro, son más prominentes que las líneas enlazadas de nylon, las que son transparentes e incoloras. El efecto es el opuesto al de la figura 438.

Colección GG DISEÑO

Otl Aicher Martin Krampen	**Sistemas de signos en la comunicación visual** Manual para diseñadores, arquitectos, planificadores y analistas de sistemas
Adrian Frutijer	**Signos. Símbolos. Marcas. Señales** Elementos. Morfología. Representación. Significación
Karl Gerstner	**Diseñar programas**
J. Chistopher Jones	**Métodos de diseño**
Harald Küppers	**Fundamentos de la teoría de los colores**
Bernd Löbach	**Diseño industrial** Bases para la configuración de los productos industriales
Jordi Llovet	**Ideología y metodología del diseño** Una introducción crítica a la teoría proyectual
Ernest J. McCormick	**Ergonomía** Factores humanos en Ingeniería y Diseño
Ray Murray	**Manual de técnicas para directores artísticos y diseñadores**
Wucius Wong	**Fundamentos del diseño bi- y tri-dimensional**