

Todo cuerpo, cualquiera que sea su situación, se encuentra sometido a distintos esfuerzos: de origen interno unos, otros causados por solicitaciones externas.

Las fuerzas intermoleculares, que varían con la temperatura, determinan el estado gaseoso, líquido y sólido de la materia, son, en último término, lo que en los cuerpos sólidos origina su cohesión y su indeformabilidad. Es decir, la capacidad para mantener su forma, resistiendo esfuerzos externos que se oponen a ella.

La temperatura ambiente determina el estado sólido de una serie de materias. En ellas la capacidad para resistir esfuerzos externos, manteniendo su forma, es variable.

La capacidad de resistencia de los materiales se mide y clasifica respecto a los distintos tipos de esfuerzos. Nos sirve para clasificarlos según sus características mecánicas.

En un cuerpo sobre la tierra es solicitación externa permanente la fuerza de atracción que la masa terrestre ejerce sobre la masa del cuerpo. Esta fuerza actúa sobre cada una de sus moléculas y tiende a disgregarlas, modelando al máximo contra ella la masa del cuerpo, como en un líquido.

La condición de cuerpo sólido se opone a esta disgregación. Las fuerzas intermoleculares mantienen la disposición relativa de sus partículas y, por tanto, su forma.

Estas fuerzas, al oponerse al peso individual de cada partícula, evitando la disgregación del conjunto y manteniendo su forma, repercuten de molécula a molécula y producen tensiones internas que se transmiten a todo el cuerpo. Su distribución depende del tamaño, forma y puntos de apoyo del cuerpo.

Estas influencias mutuas de las moléculas pueden distinguirse y clasificarse. En unos puntos serán de acercamiento o presión; en otros, de distanciamiento o separación, y en otros, de resbalamiento o cortadura.

Naturalmente que en un punto determinado, al tiempo que efectos de presión en una determinada dirección y con respecto a una determinada molécula, los habrá de resbalamiento y alejamiento respecto de otras que le serán contiguas en otras direcciones.

Podemos así fijar en cada punto unas direcciones efectivas, en las que se producen tensiones de compresión, de tracción y de cortadura. Estas tensiones intermoleculares dependen únicamente del campo de fuerzas exteriores que actúa sobre el cuerpo y de la forma de éste.

Clasificadas así las tensiones en cada punto, podemos seguir, de punto a punto, los itinerarios que estas direcciones de tensión nos marcan. Tendremos de esta forma unas trayectorias de compresión, tracción y cortadura. La tangente en cada punto de estas trayectorias nos marca la "dirección principal" del esfuerzo correspondiente en ese punto.

Un sistema de fuerzas aplicadas localmente en zonas externas del cuerpo transmiten sus efectos de molécula a molécula, originando las trayectorias de tensión características de ese sistema en ese cuerpo.

A lo largo de una trayectoria las tensiones son de igual signo, pero de intensidad variable. En ellas hay unos puntos de tensión máxima. Trazando por esos puntos la superficie perpendicular a las trayectorias de tensión, obtendremos la "superficie de fractura"; por ella se producirá la rotura cuando por efecto de la inten-

sidad del sistema de fuerzas exteriores las tensiones en esta superficie rebasen las posibilidades resistentes del material.

Hemos visto cómo las tensiones internas que se producen en un cuerpo (y por tanto las trayectorias de tensión) dependen del sistema de fuerzas que actúa sobre el cuerpo y de la forma de éste.

Supuesto fijo un sistema de fuerzas exteriores actuando sobre un cuerpo, al variar la forma de éste varían sus tensiones internas y trayectorias de éstas. Si hemos de evitar su rotura, y dado que los materiales distintos tienen cualidades resistentes muy diferentes, resulta premisa inicial la necesidad de adaptar y hermanar en lazo insoluble la forma y el material.

En el caso de que el sistema de fuerzas externas sea la gravedad, la intensidad del campo de fuerzas es proporcional a la densidad del material, y si los cuerpos sometidos a sus efectos no son otros que las construcciones, reducimos el problema a determinar dos variables: la forma y el material. La forma ha de estudiarse para conseguir la más adecuada distribución de tensiones. En el material serán sus cualidades mecánicas y su densidad, en concordancia con la forma elegida y las tensiones que en ella se produzcan, lo que nos fijará su elección.

La estructura en la forma es lo que hace posible su subsistencia como tal. En el concepto primero estructura y forma se identifican. Recubrimiento, aislamiento, decoración, son conceptos posteriores. Son el " acondicionamiento " para desarrollar una función vital.

La caverna, la roca salediza, son la estructura primera natural que el hombre emplea. En ellas recubre, aísla y decora su vivienda.

Interesante resulta señalar que son sus necesidades espirituales las que hacen a aquellos gigantes de la primera época crear las primeras estructuras producto del propio ingenio del hombre. Con el dolmen y su derivación inmediata, el sepulcro de corredor, aparece la estructura adintelada, tan primitiva como actual.

Con los materiales pétreos el hombre construye sus tumbas y templos; con ellos desarrolla, sucesiva y escalonadamente, aquellas formas que, dando cabida a sus necesidades espirituales, determinan esfuerzos que la piedra es capaz de resistir. Así, tras de los dinteles, aparecen el arco, la bóveda y la cúpula; y pronto sienta las bases sobre las que ha de moverse miles de años después la arquitectura pétrea.

La choza y el palafito, más de acuerdo con su propia provisionalidad sobre la tierra, marcan el comienzo de la arquitectura carpinteril, desarrollando a su vez las formas más adecuadas a ésta. Es en el cruce e interferencia del material y la forma, con la inadaptación en su empleo, cuando aparece lo monstruoso, que si en alguna ocasión llega a prevalecer es sólo para mostrarnos, como en la cubierta del templo de Carnak, el elevado tributo que en ello se ha de pagar.

En el palacio de Stesifonte, con sus casi 26 metros de luz en su vestíbulo abovedado; en la cúpula del Panteón de Roma, o en la basílica de Constantinopla, estamos en el límite de lo que es posible hacer con los materiales empleados.

La cúpula de Santa Sofía, construida con ánforas, muestra cómo sus constructores, conscientes de que el mantenimiento de la forma determina el mantenimiento de la distribución de tensiones, y necesitando disminuir la intensidad de las tensiones máximas, debido a que las ventanas de la base de la cúpula re-

ducían enormemente la sección de trabajo en su arranque, no encuentran otra solución que disminuir el sistema de fuerzas que sobre ella origina la gravedad, lo cual sólo pueden lograr disminuyendo la densidad del material a emplear.

El acero y las aleaciones ligeras, con su enorme resistencia a todo tipo de esfuerzos, marcan la liberación de la forma.

Su enorme resistencia unitaria hace de estos metales el material idóneo para el trabajo a tracción.

El aprovechamiento de su capacidad de resistencia a compresión, igualmente grande, se ve limitado por el efecto de pandeo. Secciones más que suficientes respecto de su resistencia unitaria resultan insuficientes, ya que conducen a formas excesivamente esbeltas. Resulta imprescindible modificar la forma, aumentando los momentos de inercia de las secciones para evitar este efecto. Pero este aumento ocasiona un gran incremento del costo y del peso muerto.

Como solución y síntesis de este problema surgen las estructuras reticulares. Con ellas se modifica la forma y, por tanto, las tensiones y trayectorias internas, sin aumentar las secciones efectivas de trabajo.

Las barras periféricas nos determinan la forma ideal dentro de la cual hemos de considerar las trayectorias efectivas de tensión, que se concentran y canalizan sobre las barras de triangulación interna.

Las estructuras reticulares se han clasificado impropia y erróneamente en planas y tridimensionales; realmente todas son tridimensionales, concebidas como realmente son en su conjunto. Los clásicos cuchillos de armadura o las vigas planas son realmente parte integrante de una estructura tridimensional. El considerar y descomponer la estructura en elementos planos facilita el cálculo y la construcción. Caso similar lo constituyen las estructuras tridimensionales, integradas por vigas de sección triangular que son de fácil cálculo, y una vez unidas aparecen como un entramado tridimensional continuo. La clasificación de estas estructuras en planas y tridimensionales es puramente conceptual y subjetiva.

La concepción y realización de una estructura reticular es el resultado de una actitud mental ante la naturaleza, que se descompone, analiza y condensa nuevamente en un típico producto manufacturado por la mente del hombre.

En su génesis pueden concebirse y desarrollarse de dos formas:

- a) Como canalización de las tensiones internas originadas por el sistema de fuerzas exteriores actuantes en la forma previamente determinada.
- b) Como conducción de los esfuerzos exteriores hasta los apoyos.

En el primer caso la retícula aparece como esqueleto de la forma general, que se supone determinada y fijada previamente. La barra es una condensación de masa en la línea de fuerza y los huecos son una supresión de masa inerte.

En el segundo caso la barra tiene personalidad propia; la forma inicial no existe. La retícula se construirá por equilibrio sucesivo de puntos en el espacio, siguiendo líneas funiculares de las fuerzas a equilibrar. La forma surge al final, determinada por la estructura.

Es el primer método el más adecuado en la mayoría de los casos, pues se parte de formas adecuadas a la función que hemos de desempeñar. La retícula interior deberá adaptarse a las direcciones de las trayectorias de tensión producidas por el sistema exterior en la forma elegida.

Aunque de esta forma los esfuerzos en las barras son mínimos, es posible (y necesario casi siempre) apartarse con las barras de las trayectorias teóricas de tensión. Y aquí radica el verdadero milagro de las estructuras reticulares, pues con ellas logramos no sólo reducir la masa general y separar exactamente los esfuerzos

de tracción, compresión y cortadura, sino también conducir estos esfuerzos por cauces prefijados.

Las estructuras reticulares pueden ya considerarse como formas rígidas autónomas, con las cuales podrá operarse independientemente de su génesis conceptual.

El segundo método, aparentemente más exacto, choca inmediatamente con el primer inconveniente, que es la variedad y variabilidad de los esfuerzos externos que actúan sobre una estructura. Baste señalar la actuación del viento, que en muchos casos llega a tener una importancia predominante.

La fijación de la forma general previamente, que sin duda es el método más adecuado, requiere un concienzudo análisis de fuerzas actuantes, recintos y volúmenes requeridos, pues "fijación previa de la forma" en modo alguno significa que dicha fijación sea arbitraria.

En la concepción, proyecto y ejecución de una estructura reticular aparecen las siguientes fases:

- 1.^a Determinación de la forma general del conjunto.
- 2.^a Determinación de la retícula, disposición y longitud de las barras. Esto puede llamarse "cálculo geométrico" de la estructura.
- 3.^a Cálculo mecánico y dimensionamiento de las barras.
- 4.^a Resolución constructiva de la conexión de las distintas barras.
- 5.^a Formación efectiva de la estructura en su emplazamiento con el montaje de sus elementos.

Cada una de estas cinco fases puede tomar una importancia preponderante, según los casos, quedando las restantes aparentemente en un plano secundario; pero siempre es preciso cuidar muy concienzudamente cada una de ellas.

La determinación de la forma general de la estructura es preciso realizarla con sumo cuidado. La configuración de la planta y sus dimensiones, el volumen interior que se precisa, el aspecto externo y, fundamentalmente, los esfuerzos a que haya de estar sometida son los factores con los que habrá de intuirse la forma, ponderando cuidadosamente ventajas e inconvenientes hasta centrarse en el límite común de todas las exigencias y condicionamientos.

La determinación de la retícula interna, o "micro-forma", deberá estar inspirada, como ya hemos dicho, en las trayectorias de tensión que en la forma general, o "macro-forma", produzca el sistema de cargas exteriores. Sin perder nunca de vista esta distribución de trayectorias de tensiones internas, habrá que buscar la mayor continuidad y armonía en la distribución de las barras, tratando a su vez de lograr que el mayor número posible de ellas sean iguales entre sí, a fin de simplificar su ejecución. El efecto estético del conjunto será siempre muy importante, y a él hay que atender con mucho cuidado, no sólo porque estas estructuras suelen tomarse como elemento decorativo de primer orden, sino porque las estructuras mecánicamente mejor resueltas suelen ser también las más bellas.

El cálculo y dimensionamiento de las barras, salvo en determinados casos simplificables (de las cuales son elementales las denominadas planas), es de graves inconvenientes teóricos, haciéndose preciso el ensayo en modelos a escala.

La resolución constructiva de la conexión de las distintas barras es problema de tal importancia que por sí solo distingue la totalidad de los sistemas existentes, que suelen ser objeto de patente por sus creadores.

Por último, el sistema de montaje tiene una importancia económico-práctica decisiva, y está íntimamente ligado con el anterior. El es, en definitiva, el que hace malo o bueno un sistema. El que no se precise andamiaje y que la parte prefabricada en taller sea lo mayor posible es fundamental.

En el caso de cubiertas para grandes luces, es preciso condicionar todo el proyecto a la forma de la estructura. Dejando al margen las formas colgantes y alabeadas como típicas de otros procedimientos (aunque su solución reticular, sobre todo en combinación con otras formas, es también del mayor interés), es la cúpula la forma y solución reina de este problema.

Con las cúpulas reticulares se logran espacios internos extraordinariamente limpios y diáfanos; no existen problemas de anclajes ni de empujes; son formas absolutamente autónomas, y su instalación, que no precisa de andamiaje, puede llegar a ser fundamentalmente rápida.

En la realización de una cúpula reticular cobran especialísimo relieve y dificultad cada una de las cinco fases que hemos señalado como fundamentales en el proyecto y ejecución de una estructura reticular.

Referente a la forma general, son datos característicos:

- a) Superficie geométrica a que pertenece la cúpula.
- b) Manera de apoyarla. Ya sea en puntos aislados o a lo largo de un paralelo. Los esfuerzos son totalmente distintos al variar los apoyos.
- c) Relación entre la flecha y el diámetro de la cúpula. De ello depende la distribución de tensiones, sobre todo por influencia del viento. Esta relación debe cuidarse muy bien en cúpulas de gran tamaño.
- d) Espesor de la cúpula y conveniencia de que sea de dos o una sola capa de barras. Esto depende del tamaño de la cúpula, de su curvatura, de la "frecuencia" o relación entre la longitud de la barra y el radio de curvatura y del sistema de unión de las barras en los nudos.

Entre las cúpulas de dos capas tienen particular interés las que incorporan las planchas de cubrición como elemento resistente, constituyendo con ellas una de las capas resistentes.

Particular dificultad cobra en las cúpulas la determinación de la retícula y longitud de las barras. Primeramente fijaremos la frecuencia o tamaño relativo de la retícula; seguidamente, tomando como base la superficie geométrica directriz de la cúpula, realizaremos la triangulación que servirá de base a dicha retícula.

La triangulación de la superficie directriz puede realizarse por varios procedimientos; en cada uno de ellos se atiende a mantener la mayor uniformidad posible entre las longitudes obtenidas, condicionándose en cada caso a que las que tienen una determinada relación sean iguales entre sí. Cuanto menor número de dimensiones distintas existan tanto más económica será la realización de la cúpula.

Cuando la proporción flecha/diámetro es menor de $1/3$, resulta conveniente calcular la triangulación atendiendo solamente al casquete de la cúpula, ya que así se obtienen triangulaciones de gran uniformidad y armonía.

Cuando se trata de cúpulas esféricas y la relación flecha/diámetro se acerca o sobrepasa el valor de $1/3$, puede recurrirse a una triangulación poliédrica de la esfera. Elegido un poliedro esférico regular, triangularemos una de sus caras, y ésta se repite en las demás. Este sistema permite llegar, como es lógico, a la triangulación total de la esfera sin aumentar el número de barras distintas. Estética y mecánicamente deja bastante que desear, pues en los vértices del poliedro se pierden triángulos, apareciendo claramente la falta de continuidad de unas a otras caras.

Una vez fijada y calculada la triangulación básica de la cúpula, ha de pasarse a la determinación de las longitudes reales que forman la retícula.

Tras este "cálculo geométrico" es preciso realizar el cálculo mecánico, determinando las secciones y uniones de las barras. De la complejidad de este problema baste señalar que una cúpula de doble capa, de frecuencia no muy elevada, tiene más de tres mil barras. Los ensayos en modelos a escala resultan imprescindibles.

La resolución adecuada de la conexión de las barras es, en definitiva, lo que hará económicamente posible la construcción de la cúpula. Fundamentalmente hay tres maneras de "hacer la cúpula":

I) Diseñando un nudo en el que puedan conectarse las barras con ángulos variables. Así: se fabricarán los nudos, se fabricarán las barras con sus longitudes y conexiones, realizándose el montaje *in situ*. Esta modalidad de barras y nudos independientes permite tres variantes:

- a) Que las barras vayan de nudo a nudo, en cuyo caso en él hay que conectar los extremos de las barras que allí concurren. Sistema seguido por Fuller.
- b) Que una de las barras atraviese el nudo enteriza, en cuyo caso el nudo se forma sobre dicha barra.
- c) Que varias o todas las barras atraviesen enterizas el nudo, en cuyo caso éste se reduce a una pieza que las aprisiona superpuestas.

II) Considerando la cúpula subdividida en piezas integradas por conjuntos de barras previamente unidos. Estos conjuntos deberán conectarse entre sí, lo cual implica un nuevo concepto de nudo. En el proyecto de estos conjuntos es preciso tener muy en cuenta el transporte a que hayan de someterse.

III) Soluciones desplegables. La cúpula podrá prefabricarse en su totalidad o subdividida en fragmentos de gran tamaño. Posteriormente se transporta y despliega, realizándose la instalación muy rápidamente.

Una vez construida y transportada a su lugar de emplazamiento, es preciso instalar la cúpula. Según sea el sistema que se haya empleado para su construcción, sus dimensiones y su perfil, el sistema adecuado para su instalación será distinto.

I) El montaje por anillos sucesivos, partiendo de la base, que es el más generalizado, puede adoptar las siguientes modalidades:

- a) Si la cúpula es de barras y nudos totalmente independientes, resultará conveniente montar previamente fragmentos capaces de automantenerse al ir formando con ellos la cúpula. Como elementos de elevación se precisarán grúas de brazo giratorio. Para los obreros la propia estructura es el mejor andamio, completándose con torres desplazables o cestas colgantes si las dimensiones de la cúpula lo requieren.
- b) Cuando las barras atraviesen enterizas los nudos, no suele resultar factible el previo montaje de fragmentos, pues las barras van tejiéndose sucesivamente. Entonces resulta preciso apuntalar determinados puntos durante el montaje. Puede esto realizarse con puntales telescópicos o auténticas torres si las dimensiones son muy grandes.
- c) Cuando la estructura está constituida por fragmentos prefabricados, éstos deben precisamente diseñarse para facilitar el montaje y hacer innecesario el uso de cualquier tipo de andamiaje o apuntalamiento. Es preciso entonces elegir el tipo de grúa más conveniente y que haga posible la totalidad de la instalación.

Cuando la relación flecha/diámetro es inferior a $1/3$, resulta siempre preciso apuntalar las primeras vueltas de la cúpula, hasta llegar a formar un anillo lo suficientemente rígido para autosostenerse.

Inconveniente de todos los montajes por vueltas, partiendo de la base, es la posibilidad de encontrar dificultades al ajustar las últimas vueltas. No hemos de perder nunca de vista que una cúpula reticular se calcula partiendo de una superficie geométrica perfecta. Las dimensiones de sus barras y las conexiones en los nudos han de calcularse y construirse con aproximación hasta la décima de milímetro. La nivelación y replanteo de la base de apoyo

debe mantener, asimismo, gran exactitud. Pequeños errores en estas operaciones ocasionan una deformación inicial cuando la cúpula sólo tiene unas vueltas, ya que en este momento el conjunto es deformable. Conforme se va cerrando, va llegándose a una forma rígida, y si ésta no corresponde a la forma ideal calculada exactamente, por vicio inicial en el apoyo, llegará un momento que las sucesivas barras o piezas no encajarán debidamente. Para seguir el montaje es necesario corregir esta deformación general. Esto puede lograrse empleando elementos de tracción y levantamiento, que distribuidos estratégicamente en la cúpula, nos vayan haciendo posible la sucesiva colocación de las piezas restantes. Así ellas mismas van obligando a la cúpula a adoptar su verdadera forma. Esta operación provoca, al mismo tiempo, corrimientos en la base que corrigen los iniciales errores. En cúpulas de grandes dimensiones el intento de realizar esta operación puede producir roturas locales en los puntos en que se aplican las solicitaciones.

Si la corrección resulta imposible puede hacerse necesario, incluso, desmontar la cúpula, comenzando de nuevo.

El llegar a modificar las piezas de terminación, adaptándolas a la nueva forma adoptada por la cúpula, sería verdaderamente una chapuza inaceptable. Los inconvenientes que por estas causas llegan a producirse pueden ser tan graves que, en ocasiones, aconsejan invertir el procedimiento de montaje.

II) Montaje por anillos sucesivos partiendo de la clave. Consiste simplemente en invertir el procedimiento anterior. Se arranca del suelo colocando vueltas sucesivas alrededor de la clave. A cada vuelta es preciso elevar el conjunto ya montado. Disponiendo de elementos de elevación adecuados y suficientes el montaje resulta de gran sencillez y vistosidad; las piezas sucesivas de la periferia van superponiéndose y ajustando perfectamente. Al final, la estructura, como una gran tapadera rígida, nos marca la posición exacta de los apoyos.

III) Montaje por gajos. Este sistema es adecuado cuando la cúpula puede descomponerse en fragmentos rígidos de este tipo, lo cual ocurre casi exclusivamente cuando el diseño y el cálculo se han hecho atendiendo precisamente a esta subdivisión. Una vez dispuestos radialmente los distintos gajos, se procede a su erección y conexión mediante un elevador central.

IV) Montaje en las estructuras desplegables. Poder prefabricar totalmente o subdividida en grandes trozos una cúpula es característica fundamental de estas estructuras. Cúpulas de más de 30 metros de diámetro y relación flecha/diámetro igual a 1/3, es posible, prefabricadas totalmente, transportarlas en un camión o un helicóptero.

Su despliegue e instalación puede realizarse desde el propio camión si éste dispone de una plataforma o torre capaz de elevar la clave hasta su posición definitiva. La "rigidización" de la estructura, una vez desplegada, ya sea manual o automática, es muy rápida.

Particularmente simple es el despliegue desde un helicóptero cuando éste es el medio de transporte. La estructura plegada y suspendida de seis nudos inferiores se despliega automáticamente al soltar el cinturón que la mantiene plegada; si la rigidización es automática, queda inmediatamente instalada.

Independientemente del transporte, puede realizarse el despliegue e instalación en el suelo, valiéndose de ruedas y elementos auxiliares de elevación.

Estas estructuras pueden dotarse de dispositivos automáticos de despliegue y fijación, en cuyo caso basta liberar el paquete inicial para que desde el aire o sobre la tierra se produzca su autodespliegue, creciendo como un auténtico ser vivo. Su fijación, igualmente automática, determina la total instalación de la estructura con sus propios elementos. Una cúpula de este tipo, lanzada y depositada sobre la superficie de la luna, se autoinstalaría sin intervención de la mano del hombre.

Cuando la cúpula se compone de varios fragmentos desplegables, se procede al montaje de cada uno de estos fragmentos, procediéndose después a su conexión como si de estructuras desmontables se tratara. En este caso se ha de proyectar la subdi-

visión de la cúpula precisamente atendiendo a facilitar posteriormente el montaje de los fragmentos desplegables.

Las estructuras desplegables, con cuyo estudio inicié mi interés por las estructuras reticulares, en el año 1961, precisan una consideración aparte no sólo por esta cualidad que permite su prefabricación integral, sino además por su actuación como armadura resistente al margen de su montaje.

Fundamentalmente están constituidas por un conjunto articulado de barras rígidas, totalmente deformable; capaz de plegarse hasta formar un apretado haz con todas ellas y susceptible de extenderse adoptando la forma plana o curva deseada. Este conjunto no pasa a ser estructura rígida, capaz de aguantar todo tipo de esfuerzos, hasta que no se conectan unos cables o barras que completan la triangulación de la estructura.

La estructura resultante mantiene una condición singular: las barras a compresión son el conjunto primero desplegable. Las barras a tracción son las que se conectan para la fijación. Esto siempre es así, cualquiera que sea el sistema de fuerzas externas que sobre ella actúa. Son estructuras "estrictas" cuyo peso es mínimo.

Su forma de trabajo se asemeja al cuerpo de un vertebrado. Las barras a compresión forman un esqueleto, una auténtica columna vertebral. Las barras de rigidización actúan como el sistema muscular que envuelve y mantiene el esqueleto.

Cualquier carga exterior, al tiempo que las hace variar ligeramente de forma adaptándose a la más conveniente posición de trabajo, origina el que determinadas barras a tracción actúen inmediatamente. Ocurre exactamente lo que al cargar el lomo de un gato.

El cedimiento o movimiento de un apoyo produce, asimismo, una readaptación de trabajo en la estructura. Es sencillamente una estructura viva.

Pero cuando esta denominación, de "estructura viva", queda plenamente justificada y adquiere todo su valor es cuando las barras desenganchables de rigidización son dotadas de dispositivos adecuados que realizan, desde dentro de la propia estructura, los esfuerzos precisos para el despliegue y bloqueo, una vez enganchadas, de todas las barras.

El paquete inicial, una vez liberado de sus amarras, se expande, crece y se levanta, produciéndose una increíble metamorfosis a expensas de sus propias tensiones internas.

Se presentan a continuación algunas estructuras y maquetas proyectadas, ensayadas y realizadas por mí desde el año 1961. Todas ellas tienen el carácter de "prototipos", incluso las cúpulas de más de 34 metros de diámetro y 18 de altura, que he construido con finalidad práctica, se han realizado como "modelos a escala" de otras mucho mayores.

Los sistemas empleados para la realización de estas estructuras tienen los siguientes títulos de patentes oficialmente concedidas:

Pat. inv. núm.

Alemania	1.245.574
U.S.A.	3.185.164
Gran Bretaña	1.009.371
Canadá	707.069
Japón	421.485
Suiza	402.374
Italia	660.025
Francia	1.304.770
Bélgica	609.761
Israel	16.263
Argentina	151.486
Brasil	133.967
Méjico	72.513
Venezuela	12.879
Portugal	38.875
España	266.801
	283.204
	311.901