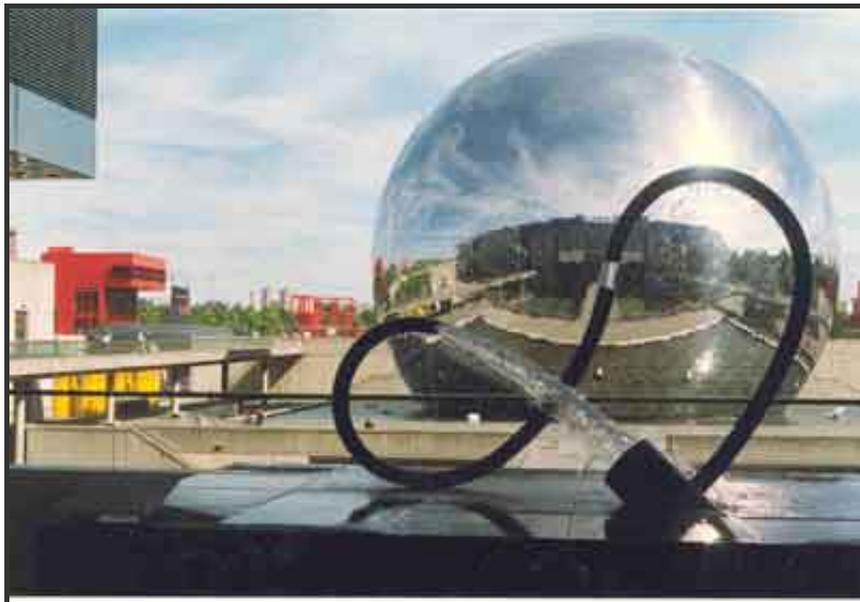


CUPULAS GEODESICAS

Una Estructura Espacial Bella y Eficiente

Arq. Rodrigo Amorós Figueroa



La Géode, Cité des Sciences et de L'Industrie – Paris
Fotografía del autor

Los espacios arquitectónicos coronados por grandes cúpulas, nos acompañan desde hace siglos. Este espacio tan sobrecogedor es fácil de lograr, aprovechando las bondades, facilidad constructiva, economía y extrema belleza geométrica de una estructura realizable casi con cualquier material; nos referimos a las estructuras geodésicas, cuyo origen, evolución, geometría y construcción se intenta difundir con el presente artículo.

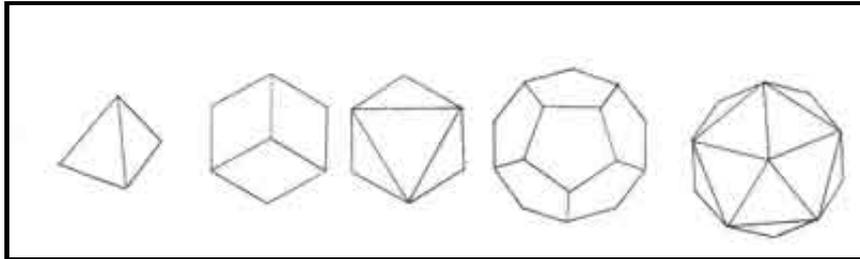
Génesis de las Geodésicas

Tomemos como punto de partida las mallas espaciales, que comprenden entre varios sistemas estructurales, a Las Geodésicas. Como es fácil deducir por simple observación, las mallas espaciales son sistemas estructurales formados por un gran número de barras, de longitud pequeña comparada con la de toda la estructura, las barras se unen entre sí a través de sus extremos dando lugar a una red tridimensional. Esta red tridimensional funciona por la acción concertada de cada una de sus piezas: las barras unidas en los llamados “nudos” se organizan formando modelos tetraédricos, cúbicos, etc. que al repetirse logran el conjunto espacial, dirigiendo las fuerzas y transmitiendo las cargas.

Este concepto de “malla espacial” en su acepción más primitiva o sencilla también la encontramos en edificaciones de nuestra selva, aquí las barras son de madera o caña y los nudos actúan convirtiendo a las largas varas en tramos estructuralmente pequeños. Estas construcciones presentan plantas

circulares o elípticas; la malla espacial se logra por la subdivisión de los paños formados por las varas principales, mediante varas cada vez más apretadas y pequeñas, logrando la concertación de todos los elementos estructurales y funcionando como una unidad. La triangulación también está presente en estas edificaciones, rigidizando las barras que forman las paredes.

Las Geodésicas se derivan de las Estructuras de Generación Poliédrica, generadas mediante la subdivisión geométrica de un poliedro o porción de éste. El universo y posibilidades formales que se pueden obtener a partir de los poliedros y sus derivaciones y truncamientos son infinitos, como ejemplo resaltaremos que son 18 los sólidos clásicos, cinco regulares o de Platón y 13 semiregulares o de Arquímedes. Los sólidos clásicos se determinan por sólo una dimensión, es decir que conociendo la longitud de una de sus aristas se genera todo el poliedro. Los vértices de este poliedro tocan la superficie de una esfera imaginaria que lo circunscribe.



Los 5 Poliedros de Platón: Tetraedro, Hexaedro, Octaedro, Dodecaedro e Icosaedro

El último sólido de Platón es el icosaedro (20 triángulos) a partir del cual se generan la mayor parte de las cúpulas geodésicas. Como recordarán todos estos sólidos se inscriben en una esfera, tocando sus vértices la superficie de ésta, si proyectamos sus aristas hacia la superficie de la esfera, lograremos poliedros esféricos, base para la construcción geométrica de las geodésicas.

Un poco de Historia

Si bien es cierto que las estructuras geodésicas se derivan de formas geométricas regulares y por ende presentes en la naturaleza, es difícil afirmar que fueron un invento. Es claro que fue su sistematización y desarrollo, lo que las llevó al estado actual de avance tecnológico que conocemos; sin embargo esto no fue siempre así y a continuación daremos un vistazo a través de su evolución.

Quizás la primera cúpula geodésica se construyó en 1922 en la azotea de los talleres Carl Zeiss en Jena, Alemania. Walter Bauersfeld partió del icosaedro subdividiéndolo según la frecuencia 16, la estructura constó de 3480 barras y se cubrió con ferrocemento, en su interior se desarrolló un planetario conocido como "la maravilla de Jena". Rápidamente se construyeron más de estos planetarios, inaugurando en 1930 el primero de ellos en EEUU, en Chicago. A partir de este momento la evolución de las cúpulas geodésicas está muy ligada a R. Buckminster Fuller, norteamericano nacido en 1895.

La primera realización industrial a gran escala tuvo lugar en 1953 cuando la Ford Motor Co. Coronó su edificio Rotonda con una geodésica de 28.3mt de diámetro, hecha de aluminio y cubierta de plástico, con 8.5Tn. de peso, contra las 160Tn. que hubiera pesado una cúpula convencional de acero.

Buckminster Fuller diseñó cúpulas para EEUU debido a que las carpas eran lentas para armar y no satisfacían las necesidades de la Marina. Fueron 47 tipos de refugio que iban desde una cúpula de 110mt. de diámetro para aviones, hasta un refugio de cartón de 4.26mt. de diámetro, desechable apodado "Kleenex".

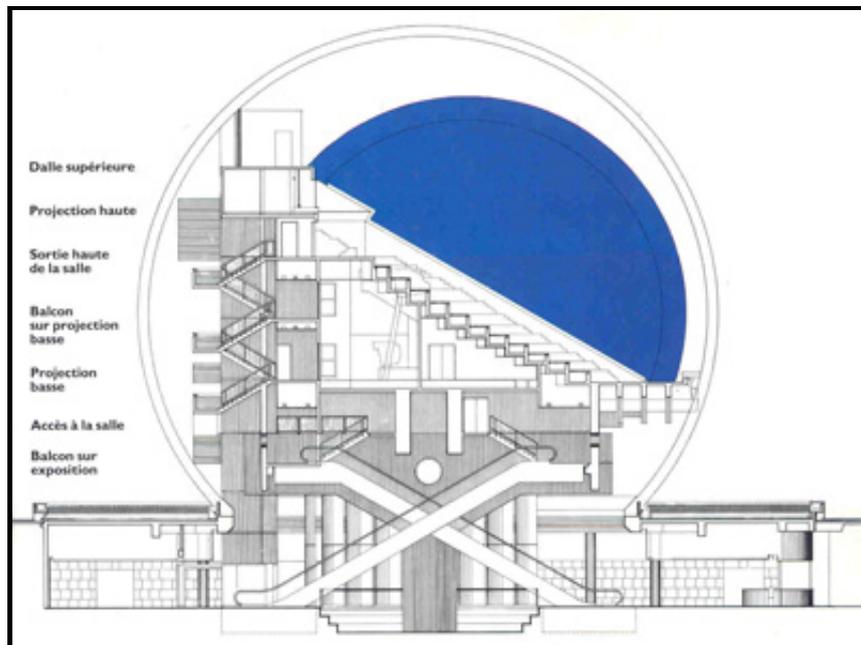
En 1954, una cúpula de cartón ondulado Kraft, en donde figuraban impresas las instrucciones para su armado, obtuvo el primer premio en la Trienal de Milán. Tenía 10.9mt de diámetro. Posteriormente se experimentó con estructuras para soportar vientos de 250Km/h, temperaturas bajo cero y que fueron transportadas al Círculo Polar Artico.

Como vemos en la década del 60 las cúpulas fueron de gran difusión destacando grandes proyectos como la cúpula de la feria de Kabul con sus 30mt. de diámetro, fabricada en 6 semanas y armada en 48 horas, o la construida en Moscú por los EE.UU. en 1959 con 60 mt. de diámetro. Es así que hasta la década del 70 se construyeron más de 2000 cúpulas geodésicas en 40 países del mundo, desde las más pequeñas de 6mt. de diámetro hasta grandes complejos estructurales de 115mt. de diámetro.

Por estos años (1972), en nuestro medio, no dejaré de nombrar las investigaciones del Arq. Roberto Chang sobre estructuras Geodésicas de Integridad Tensional.

Si bien es cierto que se experimentó con muchos materiales industriales y fabricación en serie, a finales de los 60, estas estructuras tuvieron gran difusión en las comunidades hippies norteamericanas. Lo interesante es que los hippies asocian estas estructuras a la contra cultura, a la vida en comunidad, a hacer más con menos y por supuesto a la ecología; en lugar de pensar en una construcción industrializada y con elementos estructurales seriados, las adaptaron y con material de desecho o reciclado construyeron grandes hogares multifamiliares, en donde el gran espacio que brinda la forma semiesférica acogía a un gran núcleo familiar.

En nuestro medio no han tenido mucha difusión, principalmente debido al desconocimiento de su geometría y proceso constructivo, que como veremos es bastante sencillo y económico.



Corte lateral de La Géode. Cine Omnimax
Madec Philippe, Hiéblot James
La Cité des Sciences et de L'Industrie

Finalmente no dejaré de citar de La Géode de la Cité des Sciences et de l'Industrie en París, la cual alberga un cine Omnimax, que proyecta una imagen a 180 grados (sobrepasando el campo de visión humano de 120 grados).

Este ejemplo de altísima tecnología esta compuesta por 2 capas, la primera formada por una trama estructural de 1600 triángulos y la segunda por 6433 placas triangulares curvas de acero, perfectamente pulidas y producidas con una exactitud del orden de décimos de milímetro. Con sus 36mt. de diámetro alberga a 370 espectadores.

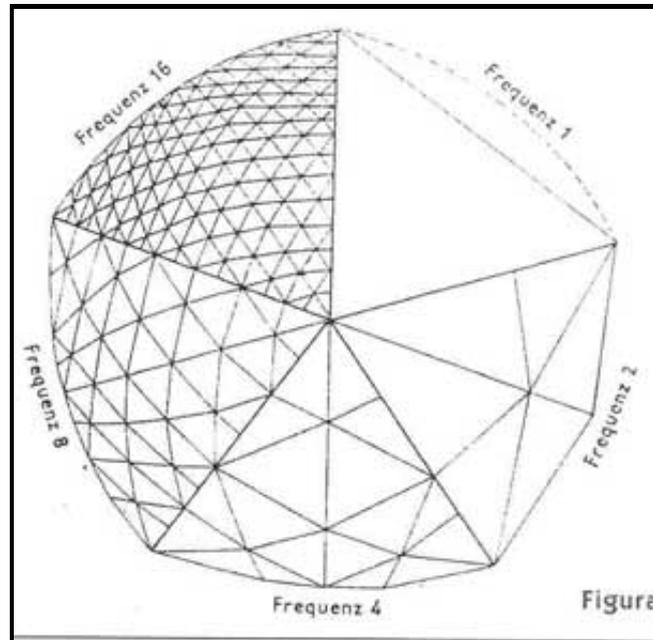
Conociendo las Geodésicas

“El adjetivo “geodésico” fue empleado por primera vez por Hertz, el descubridor de las ondas electromagnéticas. Lo emplearon en matemáticas Einstein y Ryman, Fuller define la geodésica como la relación más económica entre una pluralidad de puntos o sucesos”

Como se dijo al principio es muy fácil generar estructuras geodésicas mediante la subdivisión geométrica de un poliedro, generalmente se utiliza el icosaedro proyectando sus aristas hacia la esfera imaginaria que lo circunscribe, obteniendo un icosaedro esférico. Las barras y los nudos mediante los cuales se articulan, conforman los dos componentes principales de estas estructuras. Las barras se organizan subdividiendo los triángulos que conforman el icosaedro esférico; subdivisión que puede tomar también otras formas geométricas tales como hexágonos o rombos. Es mediante esta subdivisión que se va logrando la malla espacial, subdivisión que lleva el nombre de frecuencia y que

corresponde al número de partes en que está dividido cada lado del triángulo esférico básico que forma el icosaedro esférico. Obviamente a mayor frecuencia nos acercaremos más a la forma esférica, la cual se puede definir como una geodésica de frecuencia infinita.

Debido a que se parte de un poliedro regular la longitud de las barras se repite, teniendo por ejemplo para una cúpula geodésica (1/2 esfera) de frecuencia 4, 250 barras pero de sólo 5 tamaños diferentes.



División del Icosaedro según diversas frecuencias

Construyendo una Geodésica

Se trata de una estructura de fabricación bastante sencilla aunque ingeniosa. Las barras están constituidas por tubos de PVC para agua fría de $\frac{1}{2}$ ", mientras que los nudos, elementos difíciles de fabricar por la precisión que requieren, se han solucionado de una manera no muy exacta, pero que es suficiente para este ejemplo. Simplemente se han achatado los extremos de los tubos y mediante una perforación y un perno pasante se logra unir todas las barras. Geométricamente es una cúpula geodésica de frecuencia 4, trama triangular y diámetro de 6mt. Las 250 barras componentes varían entre 0.76mt y 0.97mt de longitud y son de 5 tamaños diferentes. Es importante resaltar que con elementos cortos, de longitud no mayor a 1mt, esbeltos y de poca resistencia, se cubre un área de 28mt² y un volumen de 113mt³.



Arq. Cecilia Vega y el autor con la Cúpula Geodésica terminada

Finalmente no dejaré de resaltar la extrema belleza de estas estructuras, las especiales características y sensaciones que nos brinda su espacio curvo y envolvente, en donde el orden geométrico de sus barras constituye de por sí una composición sumamente estimulante a nuestros sentidos. Por otro lado destacan sus múltiples ventajas y posibilidades que nos ofrecen en el campo arquitectónico,

brindándonos su forma curva y envolvente un espacio bello y sugestivo.

Arq. Rodrigo Amorós Figueroa
Escuela de Arquitectura

[INICIO](#)

[OTROS BOLETINES](#)

[FIA-DATA](#)

INFOFIA@USMP.EDU.PE

[USMP](#)