

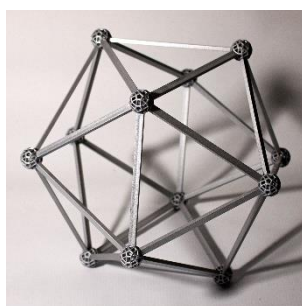
El nuevo poliedro SELFEROID 32s SIM

*El uso de herramientas incardinadas en el diseño disruptivo ha permitido la creación del nuevo poliedro S32, generado en mi estudio **a+i+d** (art, investigation & development, Badajoz y Cádiz, España), formulado dentro de la colección de formas esferoidales SELF, aproximadas a utópicos deltaedros de más de 20 caras. Una sorprendente solución de inmediata aplicación a numerosos ámbitos, en especial al universo constructivo de domos y esferas geodésicas, sin duda la tipología constructiva más característica -por atractiva- desde la mitad del siglo XX a la actualidad.*

Alfonso Doncel

Cuando el físico JJ Thomson nos dejó el 30 agosto de 1940, legó al conocimiento humano el denominado "problema de Thomson", actualmente sin resolver. Descubridor del electrón, Thomson recibió, en 1906, el premio Nóbel.

Descrito ese año, se refiere en realidad al estudio de la geometría de la configuración de energía mínima, aunque una de sus derivaciones, precisamente la que interesa a los geómetras, es la imposibilidad de construir poliedros regulares integrados únicamente por caras triangulares equiláteras en un número superior a 20; precisamente esa es la figura denominada "icosaedro"; a estas figuras se les denomina "deltaedros".



Esta circunstancia es bien conocida en mi estudio **a+i+d** (art, investigation & development), ya que trabajamos desde hace años en el diseño de formas esferoidales y/o geodésicas resueltas por triangulación. Además, en la actualidad nos encontramos ultimando el proyecto creativo SELF (más que evidencias), un ensayo estético y conceptual sobre la identidad; parte del proyecto refiere una incursión en la formulación de geometrías emergentes -algo verdaderamente utópico en este momento del conocimiento humano- con el objetivo de obtener esculturas translúcidas.

Las esculturas de la colección SELF están resueltas con una estructura alámbrica portante de acero inoxidable, en la que se encastran vidrios translúcidos de diferentes tipos. De suerte que, al iluminar las esculturas, se producen reflejos y proyecciones en su entorno próximo. Las obras finales son duales: la propia escultura y su proyección.

Diseñar y construir estas esculturas translúcidas es el verdadero objetivo de nuestro desempeño, que realizamos con alguna de estas tres estrategias:

- Construyendo espontáneamente las figuras, a pie de mesa de soldeo, intentando formular piezas con forma esférica;
- Desarrollo de la estructura partiendo de formas conocidas, como el icosaedro -una estrategia clásica- por deformación, deconstrucción o fractalización. Esta estrategia es habitualmente utilizada en construcción geodésica;

- Estableciendo nuevas premisas proyectuales, acudiendo para ello a las técnicas de **diseño disruptivo**: si modificamos los parámetros de partida podremos aspirar a formas desconocidas.

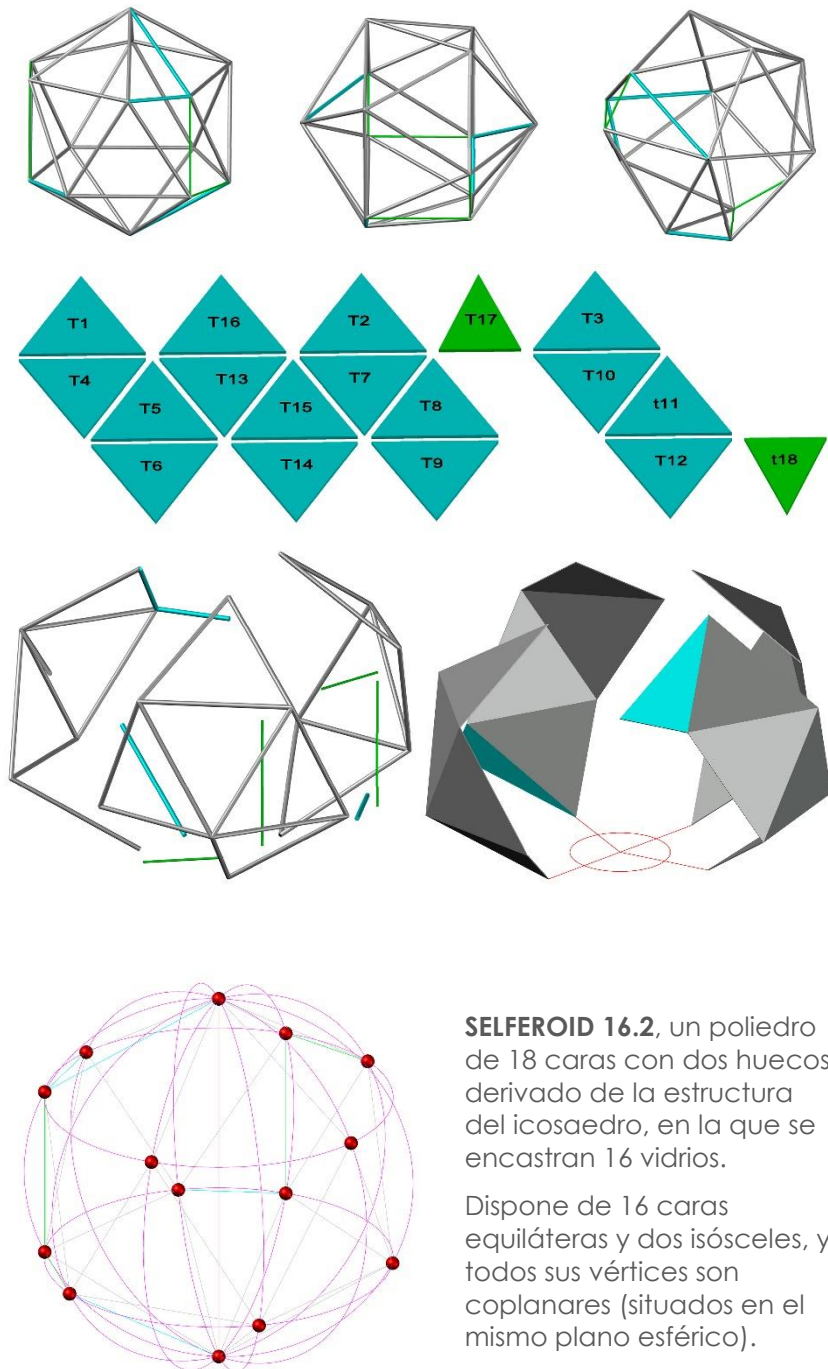
Para cualquiera de esas tres estrategias, hemos definido ciertas premisas, en especial para algunas series escultóricas de esta colección (serie BOX, IRIDIUM y CELL), integrada por esferoides contruidos de forma racionalizada:

- Se trata de lograr formas esféricas en las que encastrar vidrios, por lo debemos construir poliedros convexos, es decir: dos de sus puntos internos siempre se unen mediante un segmento de recta que se mantiene en su interior, y los ángulos diedros entre sus caras deben ser superiores a 90°.
- Los vértices del poliedro deben situarse en un único plano superficial esférico, es decir, a la misma distancia del centro geométrico de la figura, de forma que se ubiquen en la superficie de la misma esfera circunscrita -virtual- que los contiene: este es un magnífico criterio de esfericidad;
- Interesa que las caras sean triángulos equiláteros, o al menos, muy aproximados a su forma. Como sabemos que es difícil, aspiro al menos a caras "quasiequiláteras", es decir, que sus formas poligonales se asemejen a las de un triángulo equilátero. Usamos estos triángulos por motivos estrictos de eficiencia constructiva: su fabricación, el corte de vidrios y su encastrado es más sencillo, trazable, rápido y económico;
- Conviene que todas las caras en las que se encastran vidrios sean iguales, es decir, de la misma forma (triangular) y tamaño, para sistematizar su fábrica;
- Aunque convexo, el poliedro debe ser abierto: ha de disponer de huecos libres que permitan acceder a su interior, para así poder procesar la pieza final, soldar pestañas de encastrado de vidrios y posteriormente instalarlos;
- Interesa que el número de caras se encuentre entre 25 y 40, para lograr un aspecto suficientemente esférico sin excesiva complejidad, siempre en un número de caras superior a las del icosaedro (20), aunque no se encastran vidrios en todas;
- El diseño debe disponer de una sistemática de construcción material asequible, que contemple las características y limitaciones del trabajo metalúrgico y de los procedimientos constructivos que habitualmente empleamos (triangulación secuencial y modelado mediante soldeo);

- El peso y tamaño importan. Como algunas esferas se presentan suspendidas y el límite de peso que soportan nuestros motores de giro automático (lento) es de 3 a 8 Kg, su peso debe estar dentro de esos parámetros; igual ocurre con el tamaño, ya que se someterán a iluminación con focos de baja apertura (spot), por lo que el tamaño límite de los poliedros es de aproximadamente 50 cm de diámetro.

Con estos criterios previos, hemos explorado algunas soluciones poliédricas; una de ellas se muestra a continuación, de forma resumida y como descripción constructiva esquemática.

Por ejemplo, de este poliedro (SELFEROID 16.2) hemos obtenido una estirpe de esculturas, encuadradas en la serie BOX.



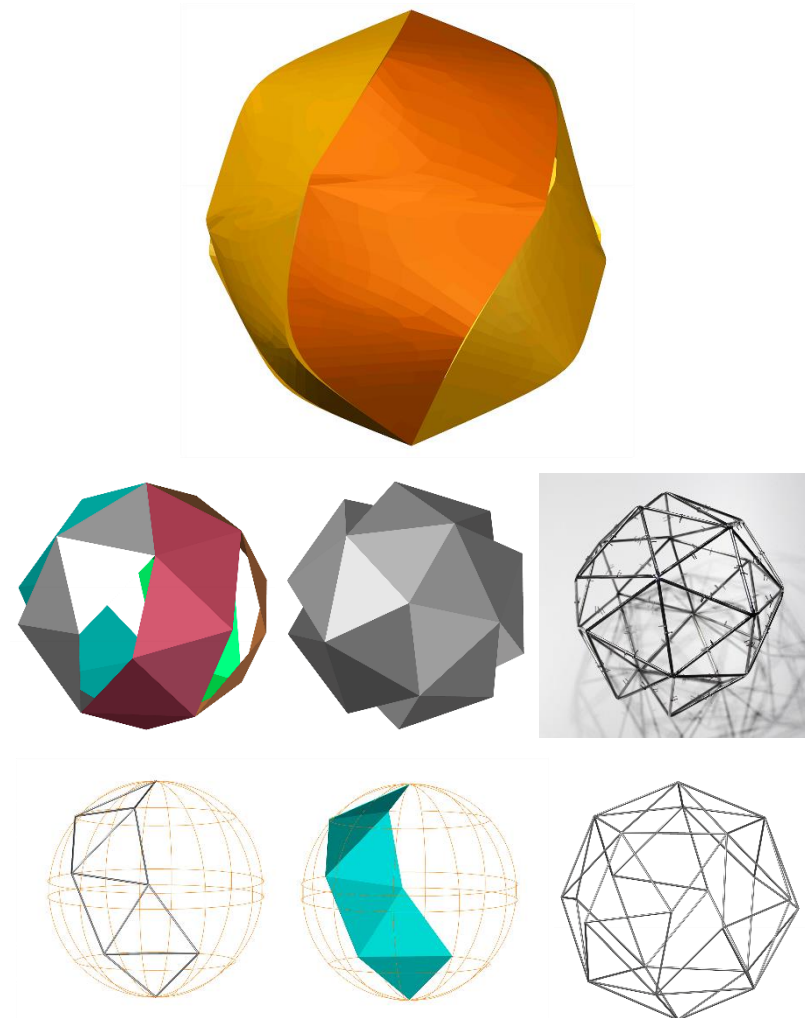
SELFEROID 16.2, un poliedro de 18 caras con dos huecos, derivado de la estructura del icosaedro, en la que se encastran 16 vidrios.

Dispone de 16 caras equiláteras y dos isósceles, y todos sus vértices son coplanares (situados en el mismo plano esférico).

SELFEROID 30: triángulos “quasiequiláteros”

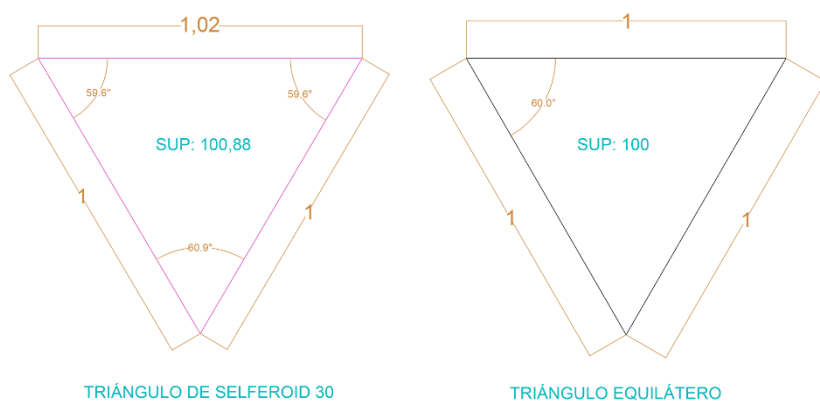
Nuestra exploración nos condujo a incrementar el número de caras del poliedro y con ello de superficie vidriada, para lo que comenzamos a trabajar mediante aproximación de la forma de las caras hacia triángulos ligeramente deformados respecto a la forma equilátera; de esa exploración surge el poliedro SELFEROID 30, construido con 7 piezas presoldadas -integradas por varillas- que conforman formas triangulares.

En lugar de utilizar el esquema de distorsión de formas icosaédricas, acudimos a una estrategia disruptiva: “*mondar la esfera en piezas con formas triangulares...*”



La estrategia seguida para construir este poliedro, con 30 caras triangulares y 5 huecos de dos triángulos isósceles cada uno, es disponer en la superficie de una esfera y de modo envolvente, cinco tiras de seis triángulos, que confluyen en dos polos.

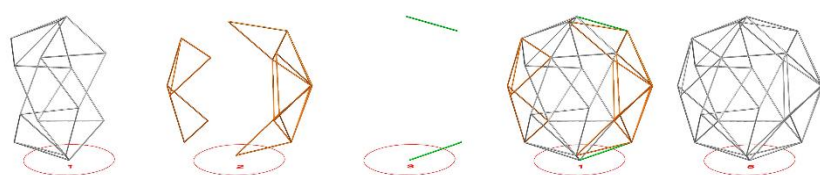
Efectivamente, conseguimos la equiplanaridad de todos los vértices, aunque para construirlo hemos tenido que modificar los triángulos hasta llevarlos a lo que denomino “quasiequilateralidad”.



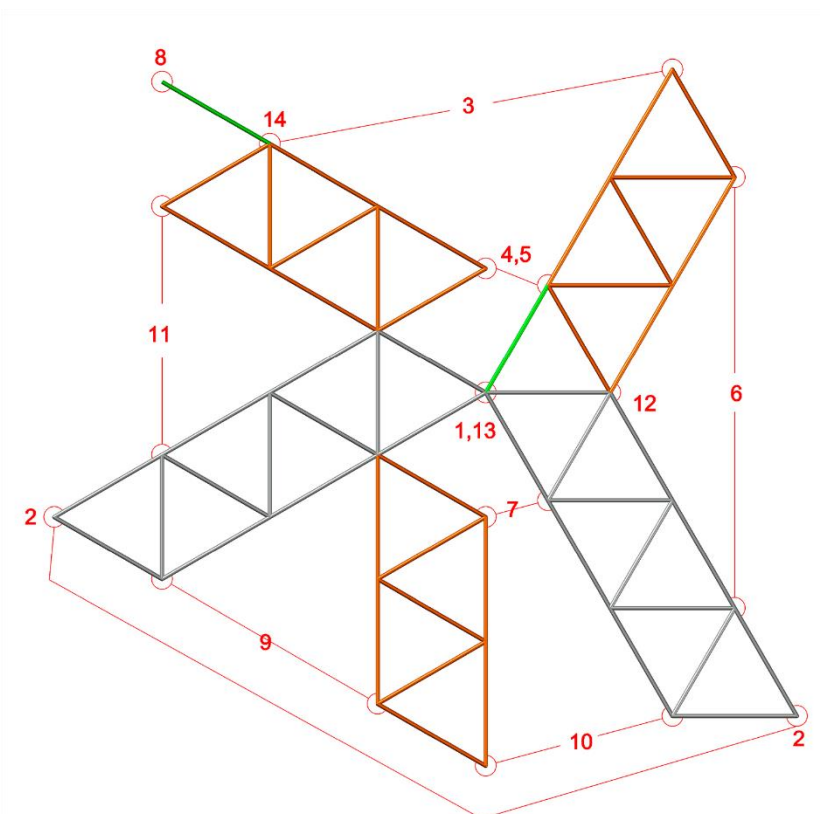
TRIÁNGULO DE SELFEROID 30

TRIÁNGULO EQUILÁTERO

triángulos "quasiequiláteros" de SELFEROID 30



secuencia constructiva seguida en su ensamblaje

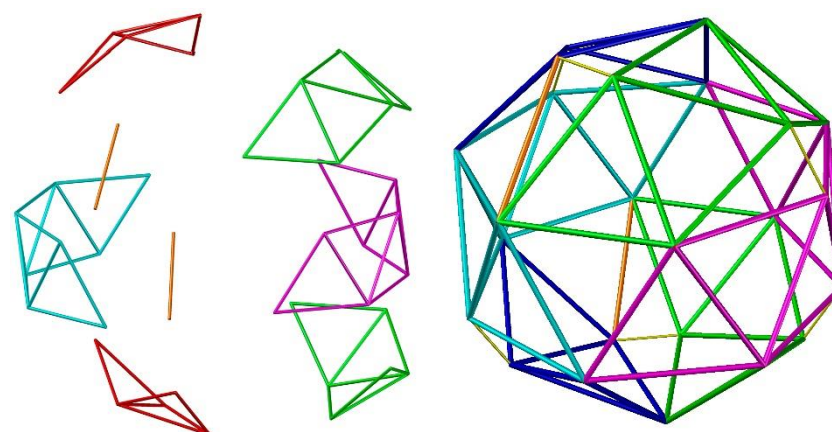
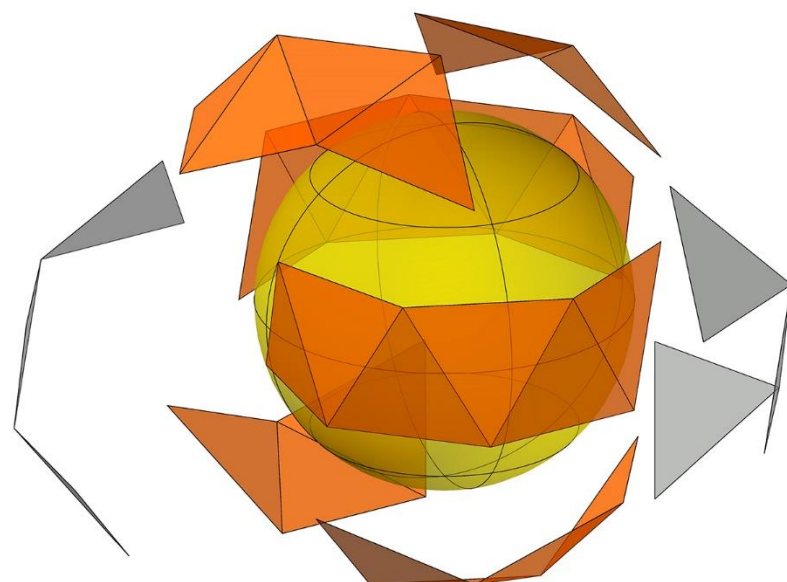


desarrollo plano u "origami" del nuevo poliedro SELFEROID 30, con los puntos de conexión entre las piezas presoldadas

El hecho de que no esté formado por triángulos equiláteros nos animó a avanzar hacia poliedros con caras exactas equiláteras, en busca de deltaedros auténticos o, al menos, altamente aproximados.

SELFEROID 32: una aproximación eficiente

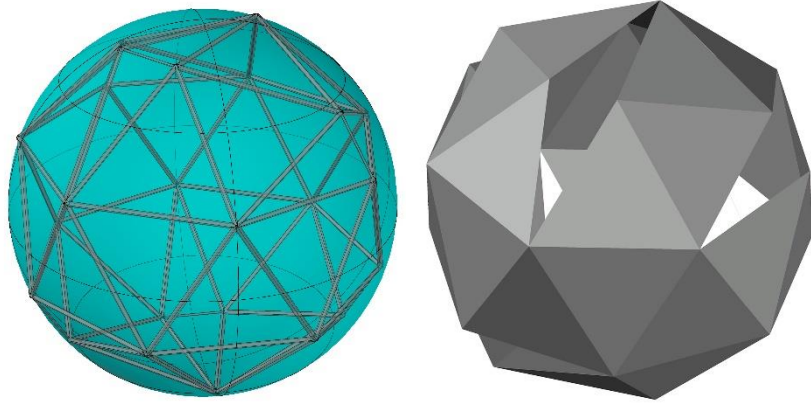
Continuando con la estrategia de "mondado", es decir, obtener tiras de la piel de una esfera, constituidas exclusivamente por triángulos equiláteros exactos, obtuvimos este brillante poliedro, que hemos bautizado con el nombre de **SELFEROID 32**, ya que dispone de 32 caras con forma de triángulo equilátero; se ha elaborado en el seno del proyecto SELF y se aproxima a una forma esférica.



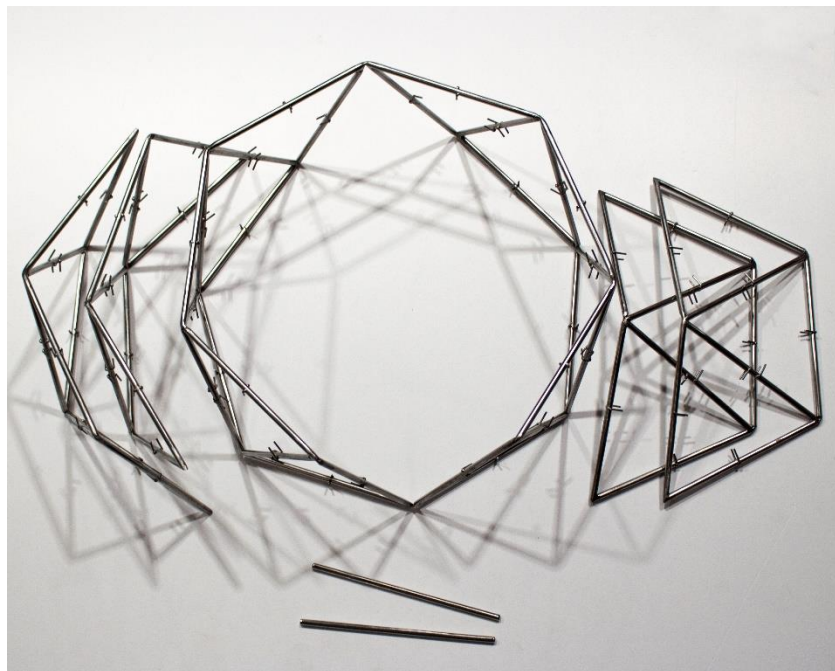
estrategia de ensamblaje y estructura final del poliedro

La estrategia de ensamblaje se observa en la figura superior izquierda: preparamos dos tiras de 6 triángulos, dos de 4 triángulos y dos de 3, e implementamos dos aristas de la misma longitud del lado de un triángulo.

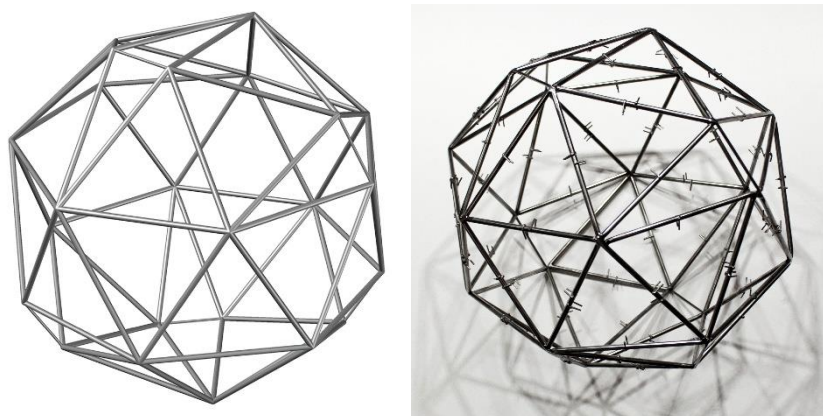
Una vez ensambladas las 8 piezas, se obtiene un poliedro convexo de 32 caras triangulares equiláteras y 6 huecos, integrados cada uno de ellos por dos triángulos isósceles, de una superficie equivalente a medio triángulo equilátero. SELFEROID 32 supera en esfericidad a SELFEROID 30 (90% del nuevo frente al 86% del anterior).



coplanaridad de todos los vértices de SELFEROID 32 y estructura sólida



despiece constructivo de SELFEROID 32, aquí realizado en acero inoxidable



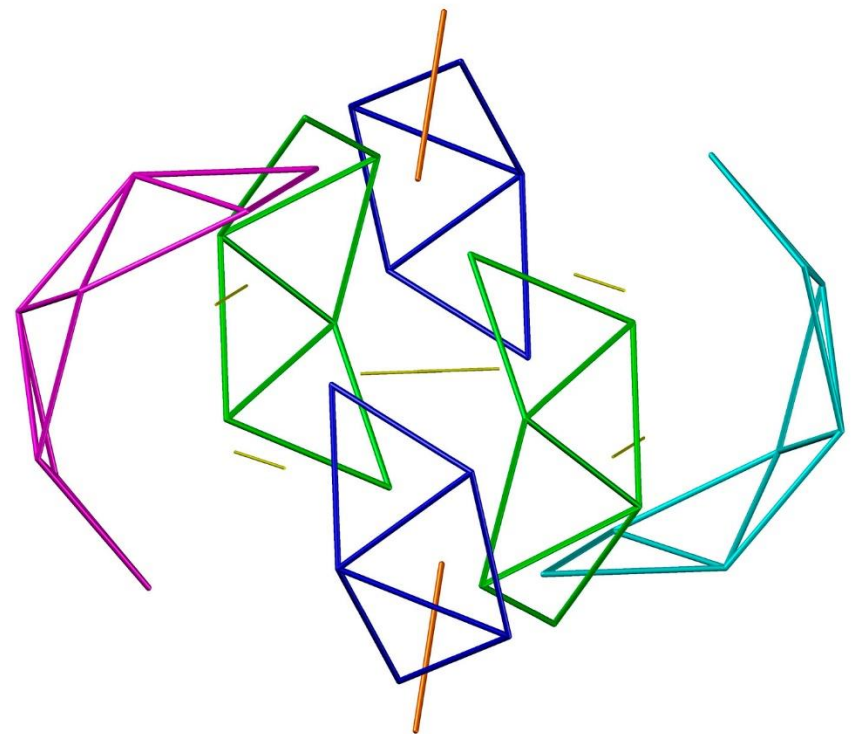
a la izq., el poliedro SELFEROID 32 descrito en AutoCAD y su construcción material en acero inoxidable Ø 4 mm macizo, a un tamaño de Ø 28 cm

SELFEROID 32s SIM: ¡una afortunada serendipia!

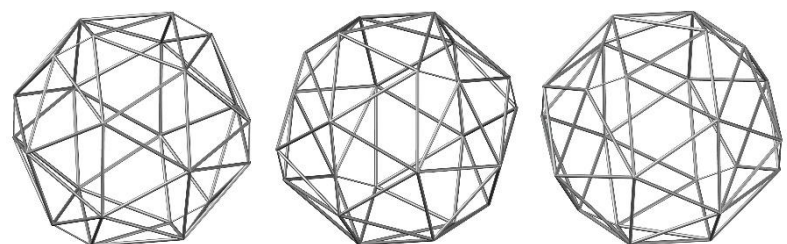
En plena realización de pruebas de ensamblaje, usando varillas de acero inoxidable de Ø 4 mm, encontramos una particularidad: para ensamblar las piezas del poliedro disponíamos de dos posibilidades, en función de cómo formábamos las dos piezas de 4 triángulos, en sentido dextro (hacia la derecha) o levo (hacia la izquierda), y de cómo las incorporábamos posteriormente a la estructura: un error en el ensamblaje nos condujo a este interesante hallazgo.

De suerte que la nueva solución generaba el mismo poliedro, pero en este caso **dispone de un eje de simetría de orden 3**, algo realmente apreciado en geometría poliédrica.

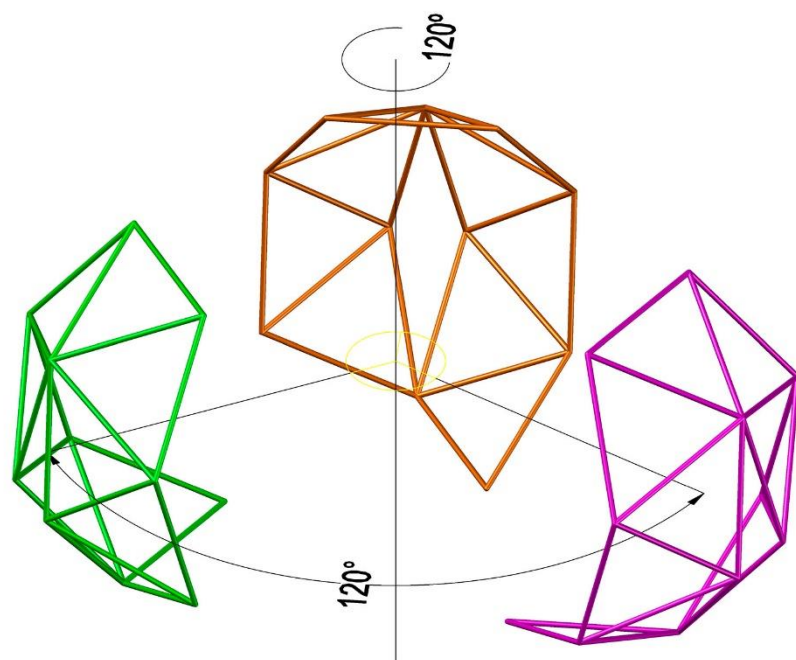
A esta configuración del poliedro emergente le denominamos **SELFEROID 32s SIM** ("s" de serendipia y "SIM" por el eje de simetría).



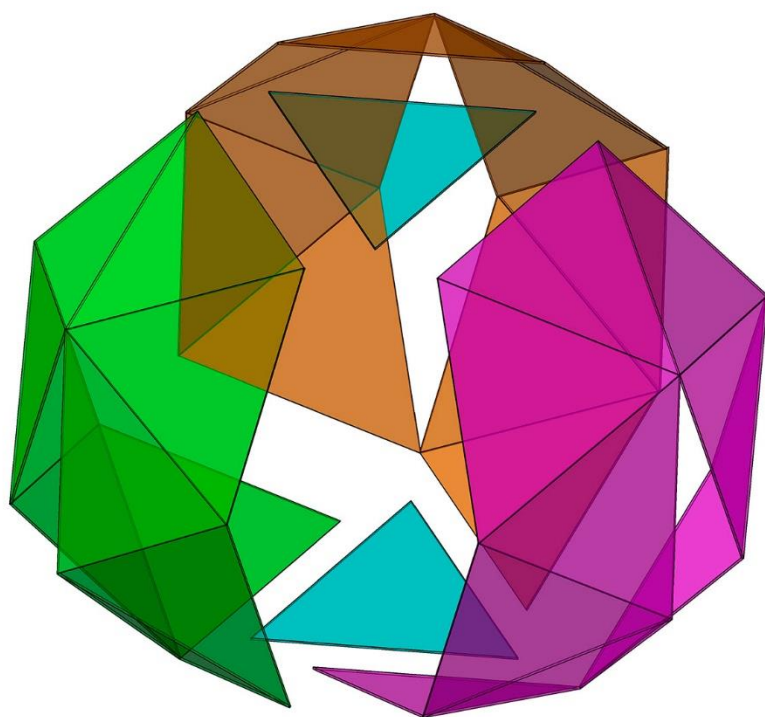
disposición de las 8 piezas usadas para construir SELFEROID 32s SIM; se muestran con diferentes colores para permitir su apreciación



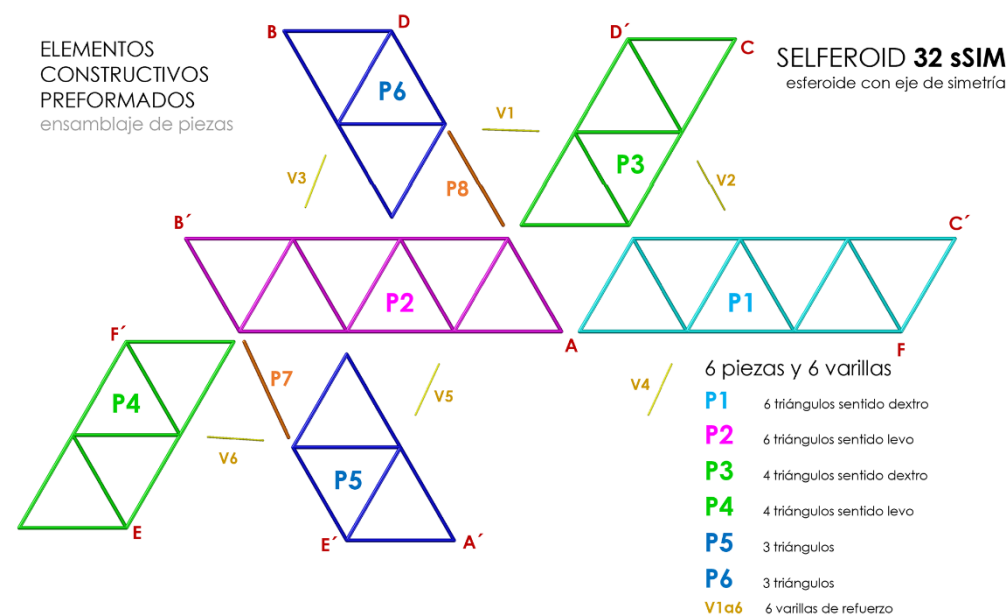
diferentes vistas (giradas) del poliedro emergente SELFEROID 32s SIM



la imagen superior permite apreciar el eje de simetría de orden 3 (giros a 120°), de suerte que ensamblando las tres piezas resultantes de la división mediante este eje también se puede construir el poliedro



el poliedro SELFEROID 32s SIM, construido según el esquema anterior, en formato sólido: precisa la incorporación de dos triángulos equiláteros, en sus polos superior e inferior (en azul)



desarrollo plano (origami) de SELFEROID 32s SIM, con indicación de los puntos de unión entre piezas y la descripción de la estructura de las piezas que lo integran, es decir, las 8 piezas que preformamos previamente para su construcción efectiva: dos piezas de 6 triángulos, dos de 4, dos de 3 y dos varillas de una longitud equivalente a un lado de un triángulo

Este poliedro **SI** responde con fidelidad a los requerimientos que exige el proyecto SELF, ya que dispone de huecos de acceso (para poder procesar el metal e instalar vidrios en su superficie), y lo más importante, prácticamente todas sus caras son triangulares equiláteras, lo que facilita drásticamente la fábrica de la estructura portante y el corte seriado del vidrio superficial.



cuatro esculturas realizadas en base al poliedro SELFEROID 32s SIM, con acero inoxidable y vidrios texturizados, dicróicos e iridiscentes, con Ø 28 cm (de izq. a dcha. y de arriba abajo, SELF IRIDIUM 56, 58, 61 Y 63

DATOS GENERALES selferoid 32 s SIM

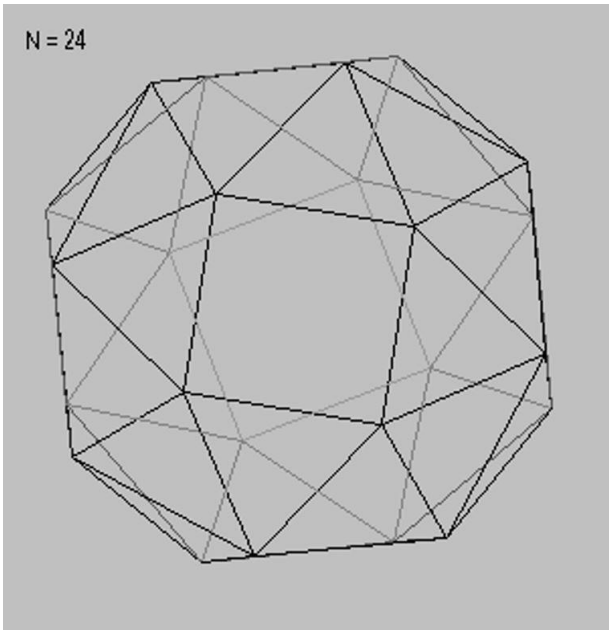
tipo de triángulos en sus caras	EQ
nº caras vidriadas	32
nº aristas (totales, inc refuerzos)	66
nº nodos (vértices)	24
huecos de acceso (2 isósceles)	6
% superficie vidriada	90%
nº caras virtuales del poliedro	44
triángulos isósceles (en huecos)	12
ejes de simetría orden 3 (120º)	1
polos apreciables a la vista	NO
cumple la condición de EULER	SI
todos los vértices coplanares	SI

datos generales del poliedro descrito, con referencias a nuestro uso con fines artísticos (construcción de esculturas)

breve discusión y evaluación

La solución propuesta es una de las soluciones aproximadas al problema de Thomson, para n=24; ya se ha descrito la imposibilidad de una solución exacta para n>12, es decir, que contemple la equidistancia exacta entre los vértices de un poliedro inscrito en una esfera.

Efectivamente, se han propuesto numerosas soluciones aproximadas a n=24, también basadas en el uso predominante del triángulo equilátero, la más eficiente subdivisión de la superficie de una esfera.



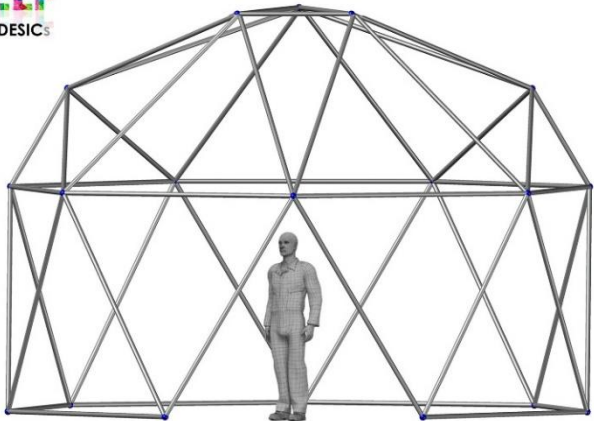
La figura de abajo a la izquierda es una de las mejores soluciones propuestas hasta la fecha, basada en la teselación superficial exacta de un esferoide, con 32 triángulos equiláteros y 6 cuadrados, con la misma longitud de lado.

SELFEROID 32s SIM es más eficiente aún: en este caso, el teselado superficial de la esfera con triángulos equiláteros alcanza el 84 % de su superficie, mientras que en el caso anteriormente descrito sólo llega al 66 %.

Otro factor de eficiencia de nuestra nueva forma geométrica es la elevada esfericidad apreciable a simple vista, sin elementos que distorsionen de forma patente el ritmo estructural, algo que ocurre en el otro poliedro propuesto.

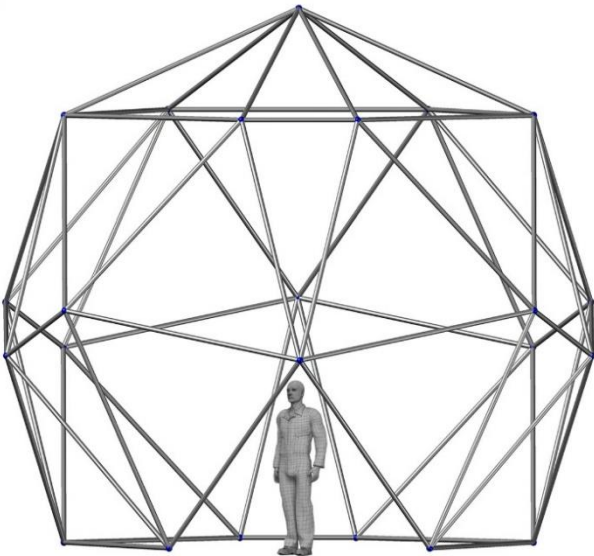
Estas características hacen de SELFEROID 32s SIM un magnífico candidato al desarrollo de formas constructivas geodésicas con destino a uso civil (descritas abajo), más allá del artístico al que nos dedicamos en mi estudio **a+i+d**.

SELF
GEODESICs



SELF DOME D5mS20 ■ cúpula geodésica Ø 5 m ■ diámetro -a cota suelo- 5 m ■ altura 3,40 m ■ superficie 20 m²

SELF
GEODESICs



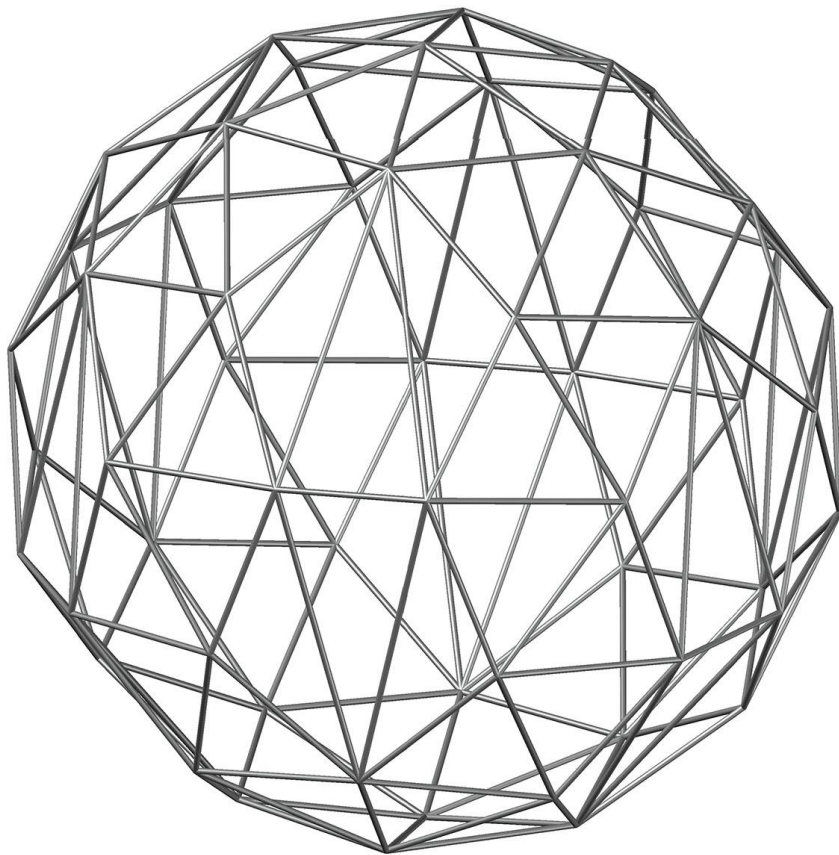
SELF DOME D4mS13 ■ cúpula geodésica Ø 5,5 m ■ diámetro -a cota suelo- 4 m ■ altura 4,50 m ■ superficie 12,5 m²

dos propuestas estructurales de domos geodésicas (de diámetro 5 m) basadas en la estructura del nuevo poliedro SELFEROID 32s SIM

fractalizando la estrategia constructiva S32

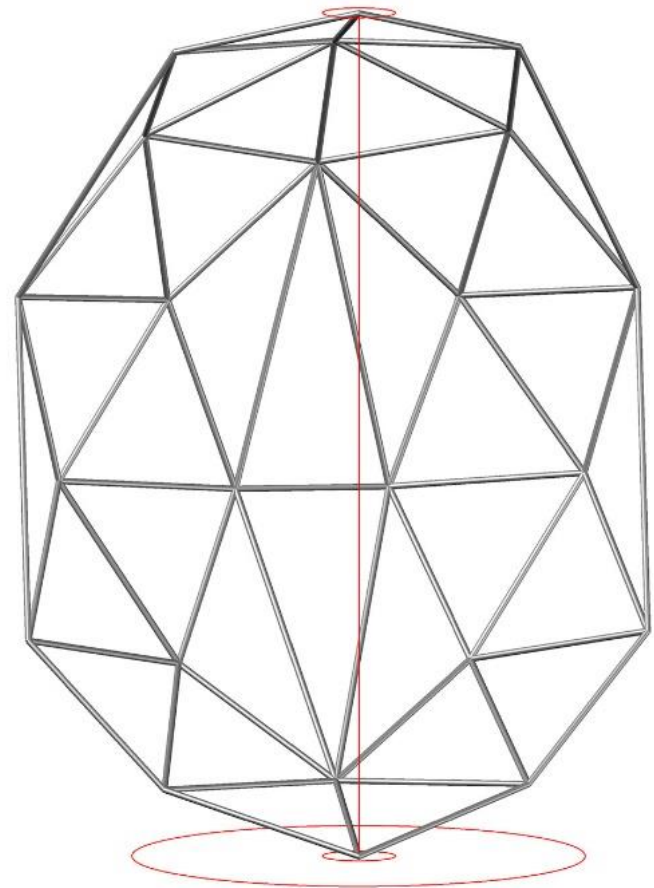
La estrategia geométrica en la que se basa SELFEROID 32 se puede desarrollar consecutivamente por subdivisión de los triángulos equiláteros, llevando sus vértices a una única superficie esférica, logrando con ello que, para un mismo tamaño o diámetro de esfera, los huecos sean más pequeños, o bien generando esferas de mayor tamaño con largueros (aristas) de una longitud similar.

Para ello acudimos a una estrategia de fractalización basada en las triangulaciones de Delaunay y Voronoi, que nos permiten obtener densidades tisulares a medida de nuestros intereses.

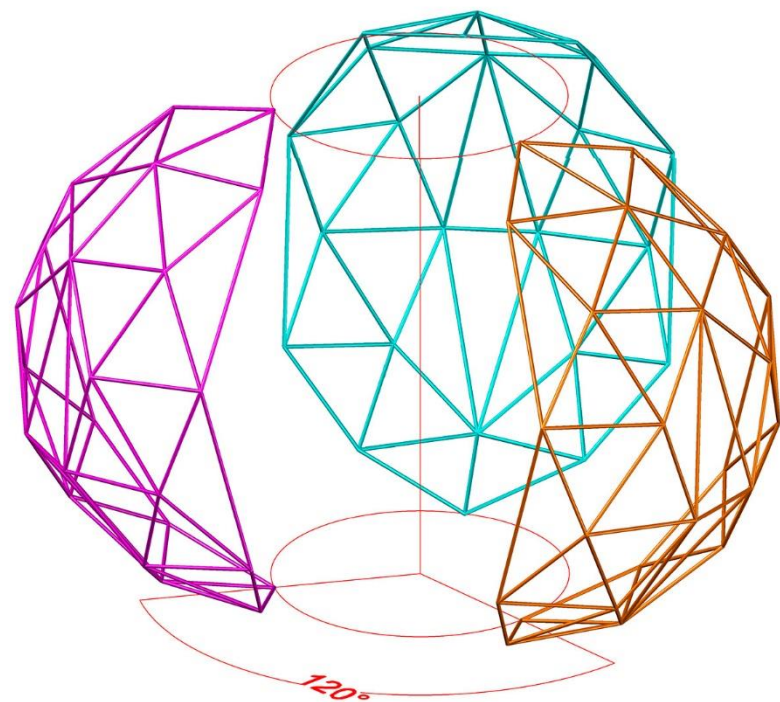


Geometría geodésica derivada de S32; este nuevo cuerpo geométrico esferoidal deriva, por fractalización, del poliedro SELFEROID 32; tiene 98 caras, de las que 62 de ellas son triángulos equiláteros (el 63%).

Además tiene 24 caras en forma de triángulo isósceles de una tipología y 12 con forma de isósceles de otra. Al igual que el poliedro del que se deriva, dispone de un eje de simetría de orden 3.



Al disponer de un eje de simetría de orden 3 (repetición a 120 grados), podemos construir las partes por separado, para posteriormente conectarlas entre sí, formando una esfera



resumen & conclusiones

La esfera es la forma que proporciona la mínima relación entre área superficial y volumen. Esta característica y ciertos valores funcionales y estéticos impulsan el estudio de formas esferoidales, que habitualmente se resuelven con estrategias basadas en elementos lineales (rectilíneos) conectados entre sí, formando las caras del poliedro.

Es fácil entender que la forma más eficiente se obtiene con huecos (caras) con forma de triángulo equilátero o de formas que lo contengan (hexágonos), pero sabemos, por derivación del problema de Thomson, que no se puede conseguir para más de 20 caras o 12 nodos (un icosaedro).

Desde la formulación de este problema y gracias al desarrollo de la geometría no euclídea y de las herramientas computacionales, se han realizado numerosos intentos de aproximación a una solución al problema de Thomson, que permita el diseño y construcción de formas poliédricas esféricas realizadas con caras equiláteras (se denominan deltaedros) en un número superior a 20 caras, en busca de la mayor esfericidad: a mayor número de caras, más factor de esfericidad.

El nuevo poliedro generado en el estudio **a+i+d**, de alfonso doncel, es una solución verdaderamente eficiente, que permite abandonar el habitual esquema de diseño y constructivo usado hasta la fecha, basado en la forma icosaédrica y su derivado, el icosaedro truncado, que en realidad no genera caras triangulares.

Este poliedro, denominado SELFEROID 32s SIM (de forma contractada, **S32**), resuelve en un 85 % su superficie esférica con caras triangulares equiláteras, no genera polos apreciables y ofrece la posibilidad de hacer cortes diametrales en los que todos los vértices implicados se encuentran en la línea de corte y siguiendo un mismo eje de simetría.

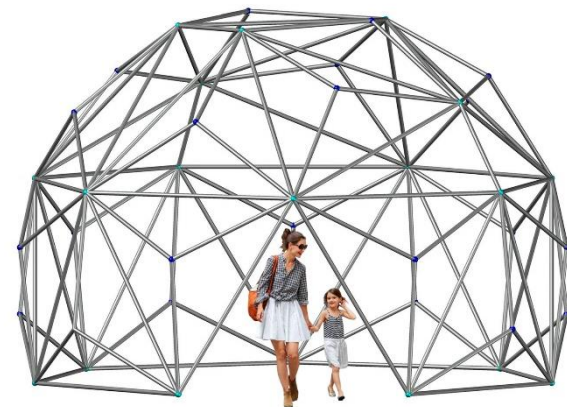
Estas características, junto con la particularidad de que dispone de un eje de simetría de orden 3, ofrecen numerosas posibilidades de desarrollo y uso en diferentes ámbitos, en particular en el fraccionamiento espacial, en la formulación de estructuras de mínima energía y en la construcción de formas y volúmenes geodésicos, por poner algunos ejemplos.

alfonso doncel

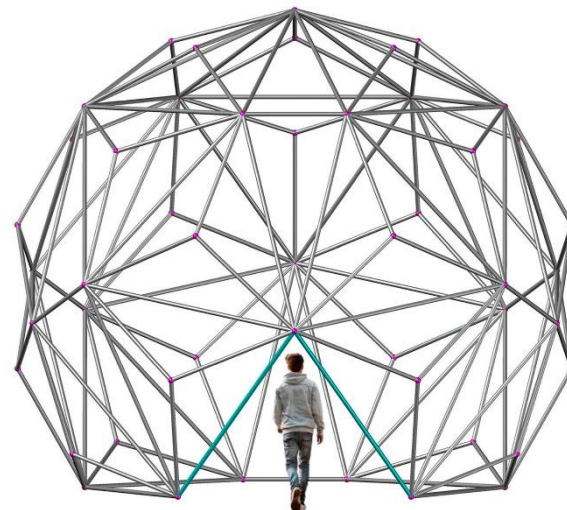


art, investigation & development

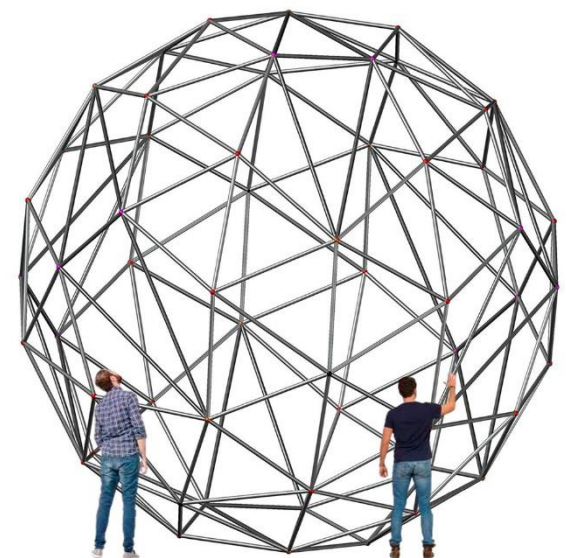
telf +34 686079792 – mail alfonso@doncel.es



SELF DOME D5Ms20 - frecuencia 2



SELF DOME D4mS13 - frecuencia 2



SELF SPHERE D5,4m - frecuencia V3

Diversas estructuras geodésicas derivadas del nuevo poliedro S32, obtenidas por fractalización de los triángulos equiláteros o por aplicación de triangulaciones sucesivas de Delanuy/Voronoi.