



Historia de un Domo en la Academia

AUTOR Corresponsal*, Carlos A. HUANAMBAL CORAL

*Afilación del autor corresponsal

Dirección: Calle Lorenzo Rocovich 155 Urb. Maranga, San Miguel – Lima – Perú

Correo electrónico: carloshuanambal@gmail.com

Resumen (abstract)

Historia a través de hechos construidos en un proceso académico constante de enseñanza-aprendizaje, 4 Domos Geodésicos, que ayudaron a evolucionar en el tiempo en el manejo de nuevas técnicas digitales y el uso de materiales, logrando una eficiencia constructiva y estructural. Experiencia que se trasmite en las aulas, acentuando la tradición investigativa que se ha logrado en esta área de la arquitectura. Creándose un Bucle retroalimentativo en la Academia. La Academia ha sido el mejor lugar para desarrollar estas pequeñas investigaciones que sumadas a colaborado en el dominio de los DOMOS GEODESICOS.

Palabras Clave: Domo, Domo Geodésico, Academia, Frecuencia, Poliedros, Planetarios.

1. Introducción

La presente ponencia, es un testimonio de la perseverancia de muchas personas, que en el camino disfrutaron de la pasión de hacer estructuras no convencionales, en una realidad que despierta nuevamente a investigar toda posibilidad constructiva.

La noche larga de los sueños, dejó un legado a superar, toda esa capacidad creativa, original y sin parangón de nuestras culturas Pre-hispánicas.

Al cumplir 526 años desde el encuentro de los dos mundos, su influencia arquitectónica, solo ha servido para mejorar la salubridad y las posibilidades de subsistencia, con solo algunos aciertos puntuales de arquitectura que no trascienden más allá de sus límites (culturales, territoriales, nacionales).

La realidad actual, llena de creatividad, viene resurgiendo poco a poco, sin embargo, necesita como dijera el Arq. Arturo Palacios, de “audacia y convicción”, para encontrar nuevamente el camino de su gran legado.

Historia de un Domo en la Academia, se construye en base a experiencias y reflexiones sobre el camino formativo de los arquitectos.

2. Nacimiento.

2.1. Mayorca y sus alumnos.

Si mal no recuerdo, data de abril del '85, con mi profesor y gran amigo Arq. Félix Mayorca Palomino, dictando uno de sus cursos favoritos, Geometría Descriptiva I, su metodología amena, precisa y documentada, dio inicio a esta aventura de pasión permanente por las estructuras en arquitectura. Los caminos de la creatividad son impredecibles.

Una de las estrategias de su curso, era llevarnos inmediatamente a un pensamiento tridimensional, utilizando maquetas para comprender mejor la Geometría Descriptiva, un tema inicial, tan simple como encontrar puntos en el espacio, fue el detonante para impulsar la búsqueda de este camino que vamos a recorrer en el presente libro.

Mayorca, nos propuso que encontráramos puntos en el espacio, a través de sus coordenadas x,y,z . Construyendo una maqueta en cartón, formamos un triedro, representando los tres planos cartesianos xy , xz , yz . Con el sistema de coordenadas cartesianas representado en la maqueta, encontraríamos todos los puntos en el espacio, el método se debía realizar con las proyecciones ortogonales de los puntos a sus planos respectivos, xy , xz , yz , obteniendo de esta forma sus tres coordenadas x,y,z . Sin embargo, este juego simple, se complica cuando decidimos hallar la ubicación de un punto en el espacio con relación a otro punto en el espacio. La premisa que surgió, si todos estos puntos son perpendiculares entre sí, rápidamente se pueden encontrar su relación entre ellos, pero si no lo son, la relación debe pasar por encontrar los ángulos que permitan reconocer el poliedro regular o irregular que se va creando.

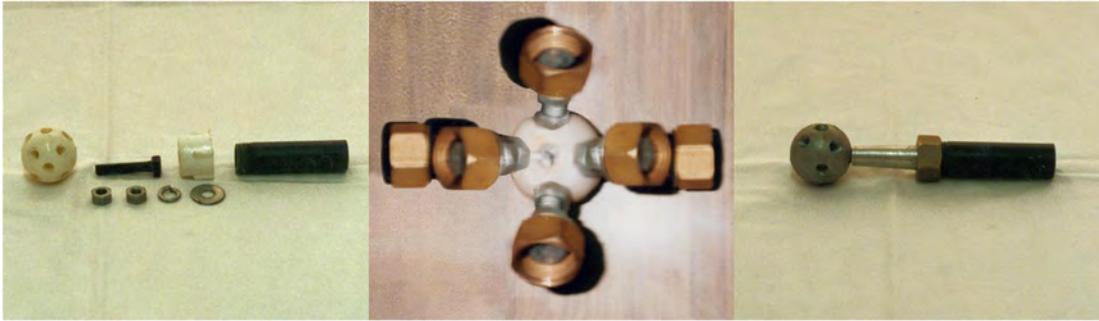
Tuvieron que pasar algunos años para que le contásemos al Arq. Mayorca la anécdota que motivo la búsqueda de estas relaciones espaciales y sus posibilidades estructurales y constructivas en arquitectura. Nunca sabremos lo docente como es la relación en su mentes sobre la experiencia y conocimientos en los alumnos, solo dejamos caer las semillas en las mentes de nuestros alumnos, y los frutos se ven con los años.

La Geometría Descriptiva nos ayudó a pensar tridimensionalmente, pero la creatividad nos llevó a pensar en la Geometría del Espacio. Félix Mayorca nos enseñó a pensar tridimensionalmente, pero su Semilla nos enseñó el camino por el cual recorreríamos nuestras vidas como arquitectos.

2.2- Nodos solo Nodos, Encuentros Multidireccionales.

Al tratar de resolver la ubicación de los ángulos en el espacio de cualquier vértice de poliedros, optamos por empezar y organizar los poliedros regulares, para resolver los complejos más adelante.

La experiencia de puntos en el espacio, permitió reflexionar, como conectar las aristas a sus vértices, cuál sería el conector, el nudo, el encuentro más adecuado. Al usar esferas pequeñas de 1.00 cm de diámetro, funciono bien para una maqueta, pero esto no era suficiente para estructuras con esfuerzos mayores. Desde ese momento, fuimos en busca de esferas de un diámetro mayor para realizar la experiencia con modelos a una escala humana, útil para arquitectura. Analizamos los poliedros básicos como tetraedros y demi-octaedros, para formar tridimensionales armables y desarmables. Ello nos permitió hallar sus ángulos en el espacio y ubicarlo en forma exacta en el nudo esférico.



En esta etapa nos documentamos, con todo lo que podíamos encontrar, recuérdese lugar y fecha Lima, Perú, 1986, la era antes de internet (Era A.I.), sin embargo, el libro de Heino Engel – Sistemas de Estructuras – un buen libro de consulta y las revistas de Architecture Record, nos permitió encontrar la empresa MERO, y su diversidad de nudos para estructuras livianas. Empresa Alemana, fundada después de la Segunda Guerra Mundial, empezó su investigación y producción de sistemas estructurales reticulados, bi y tridimensionales.

De su estudio y puesta en práctica es la experiencia a explicar en las siguientes líneas. Al observar las estructuras tridilosas en el libro de Engels, iniciamos una prueba en tubos de plástico de ½” pulgada para electricidad, las cortamos todas de una misma dimensión, las formas observadas todas se contenían en tetraedros y demi-octaedros, esto facilitó su comprensión y ahorro de material, al ser todas las piezas iguales. Las piezas tuvieron una dimensión de 30.00 cm., sus extremos fueron presionados con calor, logrando su adaptación y flexibilidad para su utilización en la estructura. Inmediatamente, con pernos stobol y arandelas fuimos armando la tridilosa, un tetraedro, un demi-octaedro, fueron apareciendo, para luego, multiplicarse rápidamente, logrando una gran rigidez, estabilidad y resistencia a la compresión. Esta pequeña estructura tridilosa, tomo la forma piramidal, estimulado por su belleza, dio continuidad a su investigación proyectuales y constructiva en arquitectura.



Esta experiencia, nos siguió dejando el dilema del nudo, del encuentro, de la unión de las barras para estos tipos de estructuras. Pasamos un buen tiempo, buscando, adaptando, proponiendo nudos para nuestra siguiente prueba.

Las esferas que encontramos en el mercado, eran un excedente de bolas del juego Tiki – Taka, el material de plástico pesado y resistente para las pruebas que íbamos a realizar. Adquirimos un millar de esferas, cada uno de ellas venia de fábrica con una perforación central. Aprovechamos esa perforación para utilizarla de eje, tomarla como referencia para los demás puntos que deseamos encontrar y perforar. De esa manera fuimos creando los encuentros multidireccionales los que nos permitieron realizar las primeras pruebas.

En la búsqueda de técnicas de perforación de las esferas, pasamos por varios procesos:

El proceso rudimentario de marcado con compas, transportador y regla, con plumón y punzones para dejar la huella o señal, utilizando una plantilla de papel dibujada en AutoCAD, con la información de los ángulos correspondientes a cada esfera. Dicha información elaborada en el Libro de Estructuras para Arquitectos del Ing. Roberto Machicao. Seguidamente, colocamos la esfera de plástico en una prensa pequeña, rotándola manualmente en una posición perpendicular a la broca y ser perforada por taladrado de banco, luego pasarle el macho (realizar la rosca interna) a la perforación, y a continuación colocarle su código correspondiente a la perforación, y así quedar preparada en su utilización.

Este proceso de perforación, nos llevaba demasiado tiempo en cada esfera. Si calculamos que cada una cuenta con 16 perforaciones, para formar poliedros regulares y 6 perforaciones para geodésicas. La preparación de las esferas, con este proceso, tenía ciertos grados de incertidumbre, pero fue con este proceso que logramos construir la primera Cúpula Geodésica para la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Ricardo Palma.

El primer trabajo de DOMOS GEODESICOS, lo realizamos el año 1993 para la Escuela de Arquitectura de la Universidad Ricardo Palma, este proyecto se hizo realidad con la Gestión de Jesús Peña Chávez y la colaboración de Martín Vera Vera, los tres formamos el equipo que proyectó y construyó DOMOURP.



El Domo Geodésico DG, se proyectó de frecuencia 6, con un radio de 4.00 m., sobre una base cilíndrica de concreto de 0.70 m. de altura y 0.40 m. de grosor, logrando una altura final de 4.70 m.

Para este trabajo utilizamos los cálculos realizados por el Ing. Roberto Machicao Relis, de su libro, "Estructuras para Arquitectos". La aplicación de su análisis de la Geometría Espacial, en cálculos matemáticos bi y tridimensionales fue de gran ayuda, para descodificar cada arista del DOMO GEODESICO DG, en relación a sus medidas, ubicación y relación con otras aristas.

Utilizamos como herramienta de dibujo el Software AutoCAD R9 (Versión que salió en setiembre de 1987 en USA), usando su representación solo en 2D, aunque ya tenía los primeros comandos para 3D, aún era muy primarios sus procesos.

3. Domo Geodésica Arequipa. Trama triangular.

Construcciones triangulares. DG – Universidad Alas Peruanas – Sede Arequipa 2010.

Las tramas definen muchas veces el objeto arquitectónico, es el caso de la DG desarrollada a través del Icosaedro, su génesis es a partir de los triángulos que lo forman. La trama comienza a desarrollarse al subdividir los triángulos.

El Domo de Arequipa, tiene su origen, en la solicitud de proporcionar a las UAP de Planetarios, en los cuales puedan difundir el conocimiento de los planetas y el universo a sus estudiantes y la población de las ciudades respectivas.

Este Domo Geodésico, planteó su diseño a partir siempre del Icosaedro, de frecuencia 5 y radio de 4mt. DG-F5R4-, preparando todos sus componentes en los talleres de Lima, para luego ser trasladados a la UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS su sede de Arequipa.

Primero, el ensamblado se llevó a cabo en 15 días, experiencia que nunca más repetiremos, el proceso si bien resolvió temas estructurales en forma eficiente, en cuestión de tiempo no fue el óptimo. El proceso constructivo fue soldar todos los componentes, esto demandó un proceso casi artesanal de construir un DOMO GEODESICO, la conducta del material y los componentes se volvieron demasiado rígidos para su ensamblado, la rigidez de la soldadura no permite la flexibilidad de la estructura en su proceso constructivo, con herramientas de comprensión y de tensión se fue acomodando todos los componentes, pieza por pieza se fue soldando hasta lograr la forma final del DOMO. En este proceso se propuso la PREMISA de: “Respetar si o si las medidas de todos los componentes, si la Geometría de cada componente ha sido bien calculada, hay que respetarla hasta el final”, la tentación de recortar o agrandar los componentes para facilitar el ensamblado, estaba rondando cada vez que nos encontrábamos en ese aprieto, pero con las herramientas mencionadas fuimos poco a poco logrando formar y armar todo el DOMO.

Terminada el ensamblado de la parte estructural del DOMO, se verificó su conducta ante los esfuerzos que debía resistir, como el viento, su propio peso y las posibles cargas de lluvias y/o personas que suban para su mantenimiento. Aprobada la solicitud estructural, se pasó al cerramiento.

Una frase famosa de un buen arquitecto dice así: -Construir la estructura de un Domo Geodésico es relativamente fácil, lo difícil es hacer su Cerramiento-, y creo que estaba en lo cierto, construir la cobertura del DG de Arequipa fue una experiencia académica de sumo grado. Luego de terminada la estructura del DOMO, se dio paso a la cobertura, esta debió cumplir algunos requerimientos, como evitar las lluvias, el intenso frío y temblores de la zona altamente sísmica.

Los materiales a utilizar fueron Drywall para exteriores, Tecnopor, Malla hexagonal de 1” pulg., Masilla plástica para Drywall, Silicona estructural, Pintura para acabado exterior y pintura para acabado interior. Se inició colocando como elemento térmico al Tecnopor de 2” pulg. de grosor en planchas triangulares encajando en forma ajustada, para no dejar vacíos y ayude también al metal en su conducta estructural, por la flexibilidad que da el Tecnopor en los posibles movimientos telúricos. Seguidamente se le aplicó una lija suave a todas las planchas triangulares de Tecnopor para crearle una superficie rugosa, esto para que el pegamento de aplicación de mayor adherencia con el Drywall para exteriores. El Drywall se colocó en forma exacta dentro de los perfiles metálicos para luego ser fijados con silicona estructural, sellarlos para evitar cualquier filtración de agua por las lluvias. Evitar todo tipo de bordes donde se pueda empozarse el agua, es el mejor consejo que nos dio una lluvia imprevista que se presentó en el proceso constructivo. La lluvia es una condición climática muy importante a resolver en toda obra arquitectónica, por más que en el lugar no presente precipitaciones en su cronograma anual, siempre habrá una lluvia que pruebe el valor de la construcción realizada. Los Domos son las formas espaciales más expuestas a estas condiciones climáticas.



Luego de fijar e ir protegiendo la parte exterior del DOMO GEODESICO de Arequipa, se fue haciendo el acabado interior, en él se colocó toda la malla hexagonal de 1", anclándolas con grapas y pegamento especial para Tecnopor, seguidamente se aplicó la Masilla Plástica para Drywall, esto permitió crear una capa de base, primero de adherencia de la malla con el Tecnopor y luego la superficie que recibiría las capas de pintura, la primera de zincromato y la segunda de Esmalte de color negro en la parte inferior hasta una altura de 2 mt. y luego Esmalte color blanco mate para todo el resto incluida la bóveda creada por el DOMO.

Previo a estos acabados se acondiciono una plataforma de concreto armado tipo platillo circular de 8 mt. de diámetro, levitando en el aire a una altura de 50 cm, donde reposaría todo el Domo Geodésico, a esta plataforma se le dejo perforaciones en el piso acondicionadas con tubos de 4" pulg. para la ventilación, dejando acondicionado también todo el sistema eléctrico para los equipos de cómputo y multimedia que iban a dar función al planetario. Al Domo, se accede por una rampa que respeta la pendiente reglamentaria y la seguridad del caso para evitar accidentes.

En los toques finales se puede mencionar, que el DG de Arequipa es de Frecuencia 5, este detalle creo una situación peculiar, porque al asentarse al piso de la plataforma, su forma geométrica en la base del DOMO crea una curvatura sinusoide muy suave, esto obliga a hacer un anclaje en sus puntos tangentes con el piso y un relleno de material de concreto para darle mayor resistencia en el encuentro del DOMO GEODESICO con la Plataforma.

Para esta experiencia todos los Técnicos en estructuras metálicas, fueron de Lima. Los acabados en Pintura e instalaciones fueron contratados en Arequipa. El DOMO GEODESICO empezó a funcionar como PLANETARIO a partir del Segundo Semestre del Año 2010 y hasta el presente sigue prestando servicio.

4. Domo Geodésico Chiclayo. Trama hexagonal y pentagonal

Construcciones hexagonales y pentagonales. DG Universidad Alas Peruanas – Sede Chiclayo 2012. Esta trama aparece cuando se elimina los triángulos que forman vértices centrales a los Hexágonos y Pentágonos. En estos casos hay que analizar adecuadamente la resistencia y rigidez estructural de la DG, al eliminar elementos debilita al DG, por lo cual debemos compensar esas pérdidas, con elementos que lleven al DG a su sistema estructural a la eficiencia solicitada.

Con la experiencia obtenida en Arequipa, propusimos cambiar de técnica constructiva, creamos un concepto de superficie-estructura. Los componentes de este nuevo DOMO, se convirtieron en piezas tipo rompecabezas tridimensionales. Este método ha sido el más favorable para armar estructuralmente y tener el cerramiento a la vez del DOMO GEODESICO.

En los balones de fútbol, podemos observar cómo se confeccionan, existen de 32 paños de cuero, 20 de forma hexagonal y 12 de forma pentagonal, creando un DOMO GEODESICO de frecuencia 3, al ser inflados toman su curvatura natural formando una esfera perfecta para el fútbol. Esa analogía

constructiva fue asumida para esta propuesta del DOMO GEODESICO de Chiclayo de Frecuencia 6 y Radio 4 mt. DG-F6R4-.

Se utilizaron tubos metálicos rectangulares de 2" x 1" de 1.5 mm de espesor, los cuales se llevaron a rolar, proceso de doblar con la curvatura correspondiente al radio solicitado del DOMO, este proceso de rolado, se logra con una máquina de prensado con sus respectivos rodillos que van ajustando el tubo o perfil y poco a poco van logrando obtener la curvatura exacta solicitada. En ese sentido, se rolaron todos los perfiles para el DOMO, componiendo 90 bordes hexagonales esféricos y 6 bordes pentágonos esféricos, soldados por sus extremos con una alta precisión. Seguidamente ubicamos los puntos medios de cada borde metálico y lo perforamos con broca de 1/2" pulg., seis perforaciones por hexágono y 5 perforaciones por cada pentágono. Estas perforaciones sirvieron para unir todos los componentes, como primera prueba estructural, formal y constructiva. Empezamos uniéndolo de abajo hacia arriba el DOMO GEODESICO, cada componente hexagonal y pentagonal en su ubicación respectiva, fue uniéndose por sus aristas tangentes atravesando la perforación de 1/2" pulg. con un perno de 3/8" pulg. con sus tuercas y arandelas, el armado fue un éxito, pero se observaron detalles por resolver, como las luces que dejaban las aristas tangentes a la hora de ser unidas con los pernos, esto se resolvió más adelante con silicona estructural, gran aplicativo que ayuda a resolver muchos problemas.

El siguiente paso fue colocarle la superficie metálica, usamos para este caso laminas aluzinc lisas, por su flexibilidad y su difícil oxidación a la intemperie. Adherimos con remaches las láminas a los bordes metálicos, logrando una fijación eficiente y duradera. Aplicamos pintura zincromato a toda la estructura para protegerla de la corrosión.

Por segunda vez, volvimos armar el DOMO GEODESICO ahora con todos los paneles llamados: superficie-estructura, quedando expedito para sus acabados finales, como la construcción de la puerta, los accesorios de anclajes al piso, y preparar el panel interior que sería su acabado final.

Luego de comprobar que toda el DOMO GEODESICO estaba correctamente estable, rígido y se había ensamblado correctamente. Procedimos a desarmar para luego embalarlo en paquetes de 5 paneles superficie-estructura, por el peso y su maniobrabilidad en el transporte a su lugar final, Chiclayo.

El transporte de todos los componentes del DOMO GEODESICO para UAP Sede Chiclayo, no tuvo ningún inconveniente, llegaron correctamente todas las piezas.



Se contrató personal de la zona que tenía experiencia en carpintería metálica, los cuales apoyaron al Técnico en Estructuras - jefe de obra -, todo el equipo salvo el Jefe de Obra, nunca habían armado un DOMO, pues al tener piezas como rompecabezas, no tuvieron ningún problema de entender rápidamente el proceso de ensamblado, esta actitud permitió armar el DOMO en 16 horas.

Para toda colocación de un DOMO GEODESICO, debe estar acondicionado el lugar final de su ubicación, en este caso se preparó un cilindro de concreto de 2.5 mt. de altura, se vació un techo aligerado a 2.00 mt. de altura que sirvió de piso para el DOMO, creándose un pequeño sótano debajo. Alrededor del cilindro se rellenó en forma cónica con tierra agrícola y se sembró grass, para proteger el cilindro de concreto y a su vez mejorar el tema paisajista del lugar, se sumó al cilindro dos rampas de acceso, también de concreto y una escalera central que va directo a la puerta de ingreso al DOMO. Todo esto para prevenir posibles inundaciones por el fenómeno del Niño.

Se realizaron todas las instalaciones eléctricas para que funcionara de forma eficiente el Planetario de la UAP Sede Chiclayo.

5. Domo Geodésico Brasil.

La segunda década del Siglo XXI, nos dedicamos a los Planetarios, el siguiente se encuentra en el Municipio de Itajaí, del estado de Santa Catarina, situado en el sur de Brasil. Una tradición académica es las investigaciones, en cada proceso constructivo realizamos esta tradición. Este Domo Geodésico de Frecuencia 4, Radio 4 mt. DG-F4R4-, se buscó la solución de Hexágonos y Pentágonos esféricos, pero en una Frecuencia 4 aparece una figura que acompaña cerrando y completando el DOMO, el Rombo esférico, por lo tanto, aparecieron 3 figuras geométricas en esta nueva propuesta, 20 Hexágonos, 6 Pentágonos, 20 Rombos y 10 Medios Rombos, todos esféricos.

El proceso fue muy parecido al DG de Chiclayo. Salvo que disminuyeron la cantidad de tubos rectangulares por el hecho de cambiar de Frecuencia 6 a Frecuencia 4, todos los tubos siguieron el proceso de rolado, luego pasaron a ser soldados en forma precisa todos los componentes, Hexágonos, Pentágonos y Rombos, en forma esférica y triangular. Terminado el número de componentes se pasó armar el DOMO, para las pruebas respectivas, estructural, formal y constructiva. Recordar que en cada punto medio de las aristas de los componentes se perforo con una broca de $\frac{1}{2}$ " pulg., ser ubico cada componente en su lugar y se colocó el perno respectivo en cada punto de tangencia con las perforaciones de los componentes. Paso a paso fue dando forma al DOMO, descubriendo el sentido de los Rombos, como componentes nuevos de cerramiento, acompañando a los Hexágonos y Pentágonos esféricos. Para las dimensiones solicitadas los tubos de metal de 2" x 1" pulg. y de espesor 1.5 mm es suficiente para soportar las cargas a resistir por parte del DOMO GEODESICO.

Lo nuevo en este proceso constructivo, fue el uso de la FIBRA DE VIDRIO, material altamente contaminante, pero sumamente dúctil para trabajar. Las capas esféricas de mantas de fibra de vidrio fueron cubriendo a la estructura de cada componente Hexagonal, Pentagonal y Romboide, la resina fue cumpliendo su función de endurecimiento o solidificación de la fibra de vidrio, hasta tomar la rigidez necesaria para convertir nuevamente a los componentes en superficie-estructura. La Fibra de Vidrio cubrió totalmente a los componentes, por el exterior y por el interior, por sus tamaño y escala los componentes se convirtieron en elementos pesados.



En el interior entre la capa exterior y la capa interior, se le colocó espuma de baja densidad para proteger de las altas temperaturas de Itajaí. Al tener totalmente cubiertos de Fibra de Vidrio todos los componentes, recuperar las perforaciones de unión era el problema, para ello, se realizaron unas aberturas de conexión justo en las perforaciones para poder cruzar los pernos como pasadores de ajuste y unir los componentes, de esta manera se logró ensamblar nuevamente todo el DOMO, como prueba final, antes de ser enviada a BRASIL.

6. Una Tendencia de muchas.

Tendencias que buscan posibilidades nuevas es la fractalidad del DOMO GEODESICO, para ello existen varios métodos, aquí vamos intentar explicar uno de ellos. La esfera como espacio habitable tiene una configuración rígida y repetitiva, fácil de memorizar de tal manera que es difícil crea espacios innovadores en su interior. Sin embargo, cuando a la esfera la haces explotar y al mismo instante detienes todos sus fragmentos relacionados y relativamente cercanos con su centro, es el momento de explorar desde otra perspectiva y observar los nuevos espacios e innovadores conformados, ingresos de luz sorprendentes, estructuras que se entrelazan cuyas líneas tenues de los radios de las muchas esferas que ahora se contienen en un mismo centro. Es hora - como dijera Louis Khan- de lo inconmensurable de la explosión, volverlo mensurable con su método adecuado, para volverlo inconmensurable por su innovación.

El método experimental se desarrolló con un DOMO GEODESICO de Frecuencia 4 y radio de 6 mt., toda la experiencia se realizó en Rhino 5.0 y se terminó en modelos a escala 1/50 en madera balsa.

Primero se diseñó el DG-F4R6-, en 3D para luego pasar a fragmentarlo y disponer sus partes a distancias radiales un poco más lejanas del origen, se tomaron radios de 9, 12, 15 y 18 mts., se dispuso que los fragmentos de DOMO tengan las formas libres como si hubiesen explotado en cascaras cuyo diseño los definía el autor. La morfogénesis del DOMO fue dirigida hacia la explosión de fragmentos modulares reconocibles a distancias radiales del centro de la esfera. Esto permitió crear espacios los cuales se podía dimensionar reconociéndolos habitables. Este proceso de morfogénesis se repitió varias a veces, hasta conseguir con la practica las aproximaciones arquitectónicas deseadas.



El siguiente paso de transformación reconocido como Metamorfosis, el pasar de formas y espacios libres a una forma y espacios reconocibles para la arquitectura. Los trabajos se realizaron desde la visión Estructural con el manejo de los DOMOS GEODESICOS, esta visión estructural, permitió fragmentar el DOMO sin perder su eficiencia de estabilidad, rigidez, resistencia y equilibrio. La Metamorfosis se dirigió a convertir en Restaurante o Discoteca, a las propuestas conseguidas en el proceso de Morfogénesis. Los resultados iniciales del proceso demostraron una tipología constante porque la fragmentación se hizo tímidamente, sin embargo, con la práctica y el dominio del método de fragmentación del DOMO, se logró una variedad abundante de espacios innovadores y el manejo de la luz natural aún por descubrir.

Esta tendencia deconstructivista del DOMO GEODESICO tiene su referencia en una arquitectura efímera propuesta para el "People's Meeting" del 2012 sobre el futuro de la vivienda, celebrado en Bornholm, Dinamarca, por los arquitectos daneses Kristoffer Tejlgaard y Benny Jepsen. Se Analizó la propuesta lograda por estos arquitectos, se realizó una especie de Ingeniería Inversa para reconocer el proceso de diseño, aplicamos las experiencias digitales en Rhino 5.0, se logró las aproximaciones requeridas, con este proceso se armó el método de diseño para los alumnos, experimentando una explosión creativa en sus propuestas. En este camino académico estamos discurriendo con el objetivo

siempre de llevar la experiencia académica de las propuestas a escala uno en uno, a escalas habitables, si la Academia nos los permite.

7. Conclusiones.

El viaje del DOMO continua, mientras la ACADEMIA lo ve desplazarse por sus aulas, presentándose de una y mil formas, las investigaciones del DOMO GEODESICO van resolviendo problemas de mucha índole. Los años van permitiendo enseñar el camino recorrido con mayor seguridad y creatividad. Los retos por venir son alentadores para continuar, uno de ellos he importante, es el control del medio ambiente que, por el calentamiento global, se va volver muy agresivo para el habitad humano. El otro reto que nos mueve es la conquista de nuevos planetas, donde creemos que los DOMOS GEODESICOS van a cumplir un rol importante para la supervivencia humana.



Llegado hasta acá podemos observar como se ha ido evolucionando en una realidad periférica con escaso recursos, pero con mucha intención de hacer bien las cosas, sea logrado dominar el tema DOMOS GEODESICOS. Las nuevas técnicas digitales, los nuevos materiales, el internet de las cosas, la inteligencia artificial y la Creatividad Humana, sobre todo, nos llevara por caminos inexplorados, pero con la seguridad que aprenderemos y podremos sobrevivir a nuevas realidades. Los DOMOS GEODESICOS, solo son un pretexto para continuar.

8. Bibliografía

Engel H., *Sistemas de estructuras*, Edición 2, ilustrada, reimpressa, Editor Gustavo Gili, 2001

Khan L., *Louis I. Kahn: conversaciones con estudiantes*, Edición ilustrada, Editor Gustavo Gili, 2002

Machicao R., *Estructuras para arquitectos*, Editor Universidad Ricardo Palma, 1989

Palacios A., *Audacia y convicción: apriorística de las ideas geométricas*. Editor Colegio de Arquitectos del Perú, 2005.