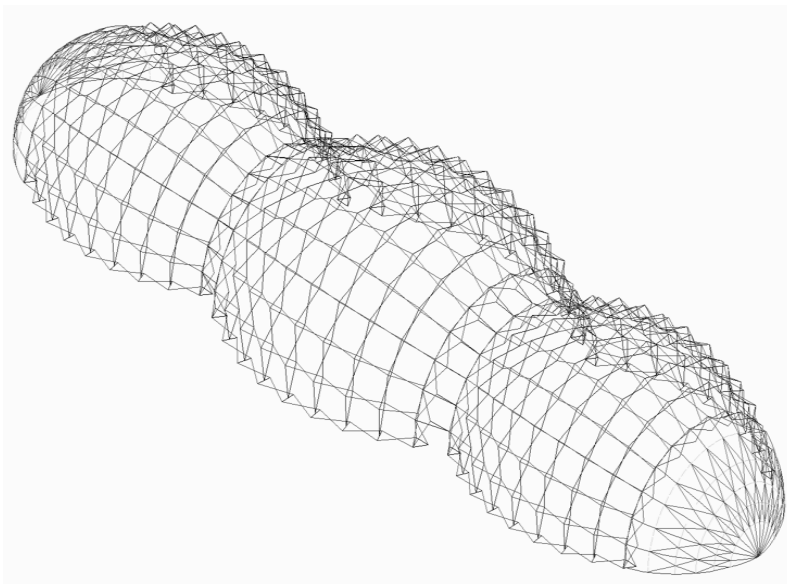




**Universidad Nacional Autónoma de México · Ciudad de México · DF · 2009.**



Centro de Investigaciones y Estudios de Postgrado

**Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura**

Tesis para Obtener el Grado de:  
**Doctor en Arquitectura**

Investigación:  
**Adecuaciones Geométricas Fractales Aplicables al Diseño**

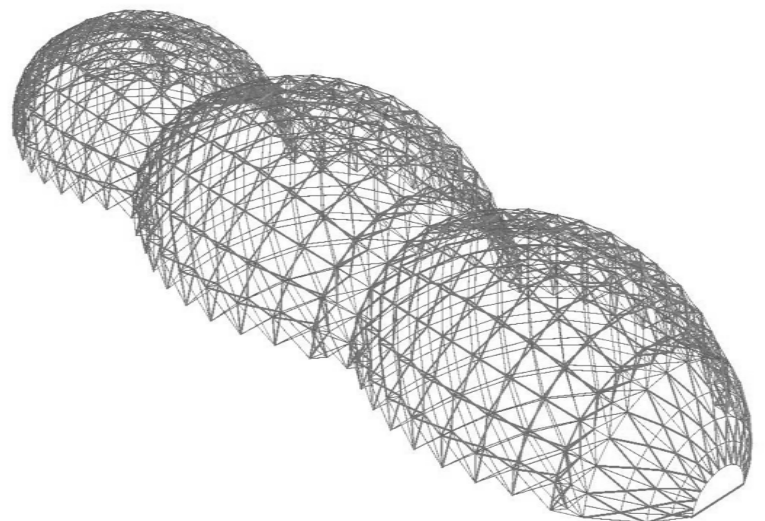
Título:

**Diseño de Sistemas Estructurales Flexibles en el Espacio Arquitectónico**

Presenta:

**M. en Arq. Carlos César Morales Guzmán**

Ciudad Universitaria, México.  
Noviembre, 2009.





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

Director de Tesis:  
**Dr. Juan Gerardo Oliva Salinas**

Sinodales:  
**Dr. Mario de Jesús Carmona y Pardo**  
**Dr. Agustín Hernández Hernández**  
**Dr. Rebeca Trejo Xelhuantzi**  
**M. en Arq. Francisco Reyna Gómez**

Ciudad Universitaria, México.  
Noviembre, 2009.

---

# Transformación

---

La introducción, me surge de la incógnita de cómo ha evolucionado la arquitectura en todas sus funciones.

Me place presentar un breve apunte histórico alrededor del mundo, en el cual las corrientes y estilos arquitectónicos muestran una evolución y seguimiento del arte de diseñar y construir. Algunas con características similares, otras se desarrollan diferentes pero con el mismo fin. Empezando con la aparición del hierro en las obras de las Exposiciones Universales, pasando por el uso orgánico decorativo de este material en el Art Nouveau, evolucionando con utopías de ciudades cambiantes como de ciencia-ficción, que darían como resultado a la arquitectura High Tech, la cual expone su tecnología en la estructura.



Crear espacios transformables y cambiantes tomando en cuenta las necesidades actuales y futuras de los habitantes, no es tarea fácil. Por la complejidad del tema, se han tomado caminos variados para poder apreciar la investigación desde varios puntos de vista. Por consiguiente, se consideran algunos referentes en los cuales podemos apreciar: la estructura arquitectónica, la función, la morfología y el diseño.

Este trabajo se completa en sus últimas páginas con el diseño de una propuesta que se crea como una posible respuesta o solución a las necesidades de las nuevas sociedades, dejando un plus dentro de la ciudad cambiante y agitada.

**Mtro. Arq. Carlos César Morales Guzmán**

---

# Resumen

---

El presente documento trata de la historia y aplicación de los conceptos tecnológicos estructurales en la arquitectura, esto nos ubica en una perspectiva analítica de cómo se debería concebir el espacio arquitectónico, en donde la tecnología industrial desarrolla un papel muy importante en el tema de investigación, ya que su base de diseño es la estandarización, generando una serie de conceptos de estructuras flexibles en los edificios arquitectónicos.

Esta investigación proporciona también el material necesario para realizar un estudio variado de conceptos de diseño, basado en una serie de modelos comparativos en la evolución de la historia, desarrollada a partir de la revolución industrial, en los cuales encontramos conceptos morfológicos y estructurales sumamente importantes para la justificación del tema de investigación.

Estos enfoques están divididos en cuatro capítulos, que conforman la base de diseño como un principio metodológico en el proyecto final; aunque en cada capítulo se estudia un aspecto diferente del campo de diseño, todo se conjunta para dar paso a principios de conceptos óptimos para el tema de investigación.

En el capítulo 1.- se describen la justificación de la investigación y cuál será su impacto principal dentro de la ciudad moderna; los problemas que podrían solucionar, se integran en un diseño teórico en base de comparaciones y demostraciones sometidas a la observación natural de los organismos celulares.

En el capítulo 2.- se analizan las diferentes etapas de la historia en la arquitectura, ya que sus referentes proporcionan temas de importante interés; esto para conformar diferentes formas de análisis comparativos en la historia, generando conceptos aplicables al proyecto.

En el capítulo 3.- se desarrollan principios conceptuales, los cuales establecen una clara implementación de tecnología y diseño, dando paso a crear una serie de diseños iconográficos en los cuales ayudarán a encontrar el modelo final, esto crea un principio de estructura flexible en el espacio.

En el último capítulo se examina la relación formal que tiene el proyecto arquitectónico con la problemática de adecuar la geometría biónica a diseño estructural, y tiene como análisis tratar de adaptar el proyecto en un entorno natural, en donde aplica un plus dentro de esas zona, ayudando a crear un espacio diferente al que tiene.

Con esto se puede lograr un campo diferente y alternativo, generando arquitectura de diferentes formas que integren un diseño más acorde al contexto, en donde los proyectos convencionales den paso a una diferente concepción de los valores arquitectónicos, desarrollando espacios más confortables en los edificios.

---

# Abstract

---

This document discusses the history and application of technological concepts in structural architecture, this places us in an analytical perspective on how you should design the architectural space where industrial technology develops a very important role in the research topic because its design is based on standardization, generating a series of concepts of flexible structures in architectural buildings.

This research also provides the material needed for a study varied design concepts, based on a set of comparative models in the evolution of history, developed from the industrial revolution, in which morphological and structural concepts are extremely important for justification of the research topic.

These approaches are divided into four chapters, which form the basis of design as a methodological principle in the final draft, although each chapter examines a different aspect of the design field, everything together to give way to principles of optimal concepts for research topic.

In chapter 1 .- describes the justification for the research and what their main impact in the modern city, the problems they could solve, are integrated into a theoretical design basis for comparisons and demonstrations subject to observation of the natural cellular organisms.

In chapter 2 .- discusses the different stages of history in architecture, as their references provide important interest issues, that to form different forms of comparative analysis in history, generating concepts applicable to the project.

In chapter 3 .- develop conceptual principles, which establish a clear implementation of technology and design, giving way to create a series of iconic designs in which help you find the final model, this creates a flexible structure principle in the space.

In the last chapter examines the relationship that has the architectural design to the problem of adapting the geometry bionics to structural design and analysis is trying to adapt the project in a natural setting, where a plus applicable within such area, helping to create a different space you have.

Thus we can achieve a different and alternative field, creating architecture in different ways to form a design more consistent with the context, where conventional projects give way to a different conception of architectural, building more comfortable spaces in buildings.

---

# Capítulo 1

# Índice

## La Flexibilidad en el Espacio.

Introducción	1
Mapa conceptual	2
Planteamiento del problema	3
Justificación del problema	15
Marco teórico	23
Límites del marco teórico	28
Controversias	29

# Capítulo 2

## Evolución de los Sistemas Industriales.

Marco histórico	30
Referentes mexicanos	45
Estado de la cuestión	51

# Capítulo 3

## El Crecimiento Orgánico como Sistema.

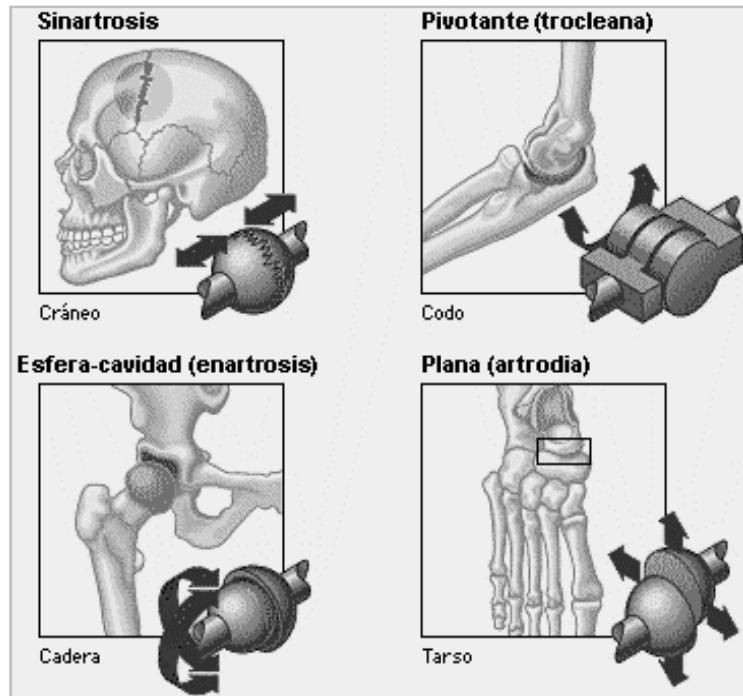
Definición de los Conceptos	52
Experimento de la Biónica	62
Experimento de la Bioforma	66
Experimento de Sistemas Flexibles	74
Experimento de la Bioclimática	80
Creación de un Método Análogo	85

# Capítulo 4

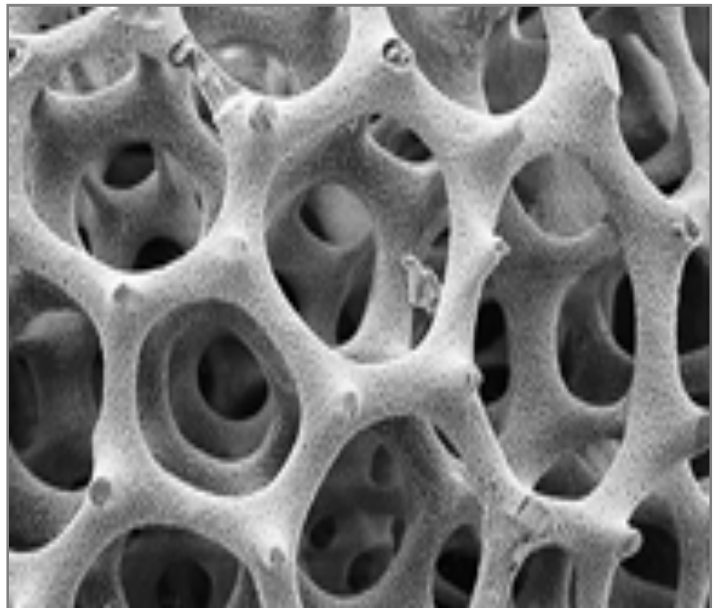
## Sistemas Alternativos en el Espacio.

Fundamentación del proyecto	86
Premisas y Cotas del proyecto	87
Geometría Fractal Lineal	91
Geometría Fractal Compleja	98
Geometría Fractal Caótica	112

<u>Conclusión General</u>	120
<u>Conclusión Particular</u>	122
<u>Glosario</u>	123
<u>Bibliografía</u>	124
<u>Agradecimientos</u>	129
<u>Anexos</u>	130



# Capitulo 1





## LA FLEXIBILIDAD EN EL ESPACIO.

La falta de flexibilidad espacial en la arquitectura es parte casual de los problemas en las ciudades que crecen a un ritmo acelerado, y no se encuentran pautas rítmicas que aseguren un espacio coherente en donde realizar actividades diversas; en la ciudad contemporánea, se requiere diseñar la arquitectura de tal manera que se logre una mayor armonía dentro del contexto.

Tenemos en cuenta que los problemas más comunes dentro de la arquitectura en la ciudad que los edificios no son reciclables, adaptables o cambiantes, éstos sólo se crean para el cumplimiento de una sola función o época y no se piensa para un futuro cambiante e innovador, lo cual da por resultado un estancamiento total para estos espacios arquitectónicos, Para prevenir estos problemas es necesario introducir un sistema de ritmos espaciales, los cuales se puedan colocar en el contexto con mucha más adaptabilidad creando una mejor alternativa en la arquitectura de la ciudad, esto asegura que las ciudades, pueblos y edificios, se encuentren en armonía con todas las leyes de la naturaleza y con el medio ambiente al servicio del usuario, ya sea tanto individual como colectivo.

En una ciudad se encuentran diferentes tipos de edificaciones las cuales sólo se rigen por verticalidad y horizontalidad; éstas se establecen dependiendo del espacio en donde se emplaza. Dichas características similares se pueden replantear en diferentes conceptos más dinámicos y rítmicos, en los cuales la estructura del edificio sea más flexible y modular, tomando en cuenta el rápido crecimiento de las zonas urbanas y la falta de áreas verdes dentro de las ciudades, que pueden llegar a ser un pulmón para ésta, ya que la estructura de la edificación puede ser ensamblada o desarmada en un lapso corto y así reactivar un predio como una zona verde dentro de la ciudad.

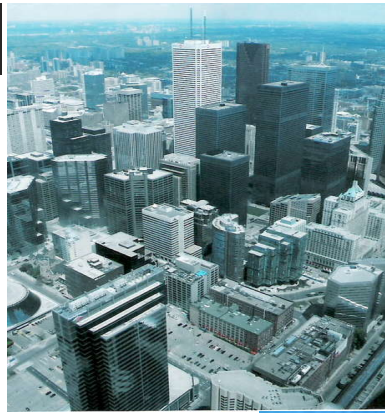
Bajo esta perspectiva sistémica de redes espaciales y flexibilidad estructural, podemos encontrar que una edificación se puede readaptar y remplazar, de un lugar a otro, dependiendo de la necesidad del usuario, ya que estas características no se encuentran regularmente en los edificios. El presente estudio busca diferentes alternativas de adaptación para un mejor acople de un edificio arquitectónico al entorno, esta fusión generará espacios más articulados en donde la arquitectura no agrede al ambiente y mejor aun se integre a éste, dejando una alternativa espacial al contexto; esto dependerá del desarrollo urbano de la ciudad y de sus fenómenos climáticos, ya que la flexibilidad del sistema se vera limitada bajo este tipo de contextos, los cuales nos darán las pautas de diseño más acordes para un mejor manejo de espacios en la ciudad.

La fusión de estos planteamientos da paso a nuevas formas arquitectónicas, cuya meta consiste en generar espacios dinámicos que puedan cambiar y acoplarse a un entorno variable, esto genera un principio estructural más flexible y articulado; por otra parte tenemos lo tecnológico que se concentrará en la construcción de estos espacios flexibles, (fácil manufactura y adaptabilidad al entorno), espacios multifuncionales y de fácil crecimiento con capacidades de transportación variables, capaces de crear un sistema que genera una alternativa más coherente dentro de la ciudad, dejando edificios arquitectónicos más dinámicos que puedan tener diversas funciones.

Dentro del problema de la ciudad se tiene como **planteamiento** la flexibilidad de los edificios arquitectónicos, en la ciudad existen dos tipos de edificaciones: la urbana y la suburbana.

La urbana comprende las que cuentan con todos los servicios de infraestructura; agua, luz, drenaje y asistencias de primera necesidad. Estas edificaciones tienen la posibilidad de implementar tecnología sofisticada para un crecimiento más rápido en sus construcciones.

En cuanto a los edificios suburbanos, son los que no cuentan con todos los servicios que un edificio urbano tiene; esta desigualdad tecnológica perjudica al usuario que habita en las zonas de subdesarrollo, por lo que es necesario detectar el problema de estas comunidades.



**ARRIBA:** La ciudad urbana que cuenta con toda la infraestructura.

**DERECHA:** Los edificios suburbanos no cuentan con todos los servicios y crean una imagen inestable en la ciudad.



**ARRIBA:** Las edificaciones hechas con material convencional son tardadas y muy difíciles de reconstruir.

**ABAJO:** Las construcciones a base de material prefabricado, logran mayor velocidad de crecimiento.

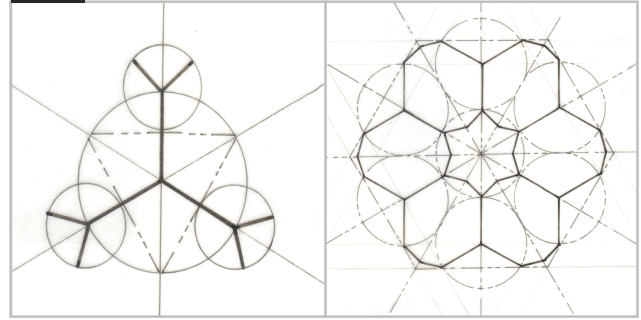


Estas edificaciones, por lo regular se construyen de materiales convencionales, los cuales son el concreto y el ladrillo, éstos en algunos casos son un buen material para construir por sus propiedades térmicas, un bajo costo y la facilidad de que no requieren una mano de obra especializada, pero esto conlleva que la edificación se estanque por la poca versatilidad del material, ya que si en dado momento quiere crecer no podrá hacerlo de manera rápida, esto también perjudica el espacio, ya que sólo se destina para un uso único y no puede cambiar de acuerdo a la necesidad del usuario.

Para resolver este problema se puede analizar la tecnología alternativa dentro de estos espacios arquitectónicos, que pueden ser edificados bajo un sistema estructural más resistente, ligero y de muy fácil manejo, esto conlleva mejorar la versatilidad en el espacio, la capacidad de crecimiento, la estandarización dimensional, un sistema de uniones y ensamblajes que el usuario pueda manipular variablemente.

Para definir los conceptos se llega a la conclusión de que la implementación de un sistema flexible puede adaptarse a los espacios variables, esto como consecuencia dará por resultado un edificio más articulado y versátil.

Para crear este sistema flexible, me apoyaré en estudios más detallados de ello, los cuales implementan un sistema de redes y ritmos espaciales, Rafael Leoz dice que: que existen dos tipos fundamentales de redes espaciales sistematizadas que obedecen un crecimiento coherente; una de esas formas es aquella que da lugar a redes que tienen un punto central, que es el que nos sirve de punto de partida o de centro de desarrollo inicial. La otra forma es la que tiene infinitos puntos centrales de simetría radial, todos con la misma jerarquía.

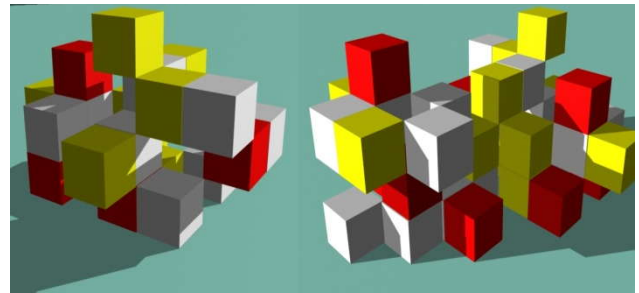


Una aplicación teórica más práctica para trabajar un sistema de redes y ritmos lo encontramos en la geometría de puntos radiales, este ejemplo, da como principio que toda articulación ya sea estructural o espacial tenga un inicio con un punto de apoyo, la cual ayuda a generar formas de crecimientos más armónicas y precisas, esto para un mejor manejo de composición y espacio.

**ARRIBA:** Son trazas de diferentes redes espaciales; originan un punto simétrico radial donde encuentran una retícula rítmica.

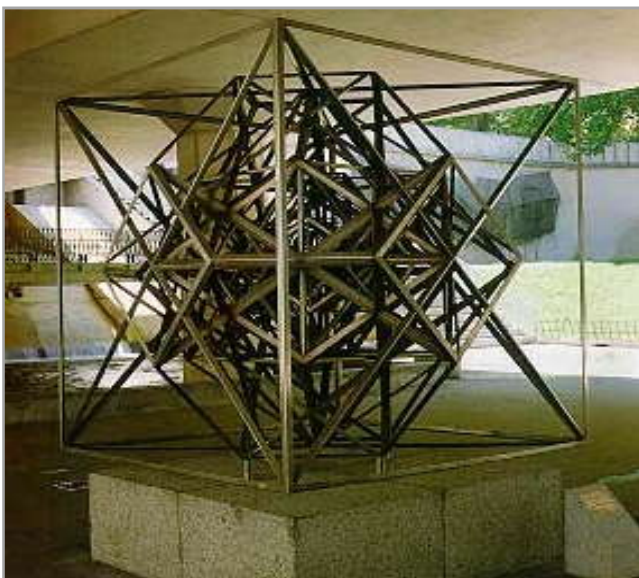
**ABAJO:** Son pautas rítmicas que ayudan al crecimiento de la red conceptual, produce diferentes composiciones de formas más coherentes para el ambiente natural y su contexto.

Para aplicar estas redes espaciales se tiene que lograr materializar un ritmo espacial dentro de ellas, que nos ayude a construir una celda que pueda tener varias composiciones, en las cuales se apliquen de una manera fácil y precisa, esto se puede lograr por medio de formas geométricas que no deben ser tan complicadas, una de la formas más flexibles de manejar es el cubo, la cual puede crecer de manera modular, esto sucede porque el cubo se compone de lados iguales, esto le ayuda apoyarse uno sobre otro, dejando así un buen ejemplo de composición de ritmos, los cuales se pueden materializa en una red sistémica de estructuración en un espacio.



Esta aplicación teórica de modelo conceptual, deja claro que el concepto a abordar será la flexibilidad estructural del espacio adaptándose a un contexto variable, esto generado por una traza en donde serán manipulados los espacios y la estructura de un modelo conceptual. Para crear un sistema de redes y ritmos espaciales analizaremos los tejidos celulares como base de diseño, esto nos ayudará a comprender de una manera más congruente la descripción de un sistema estructural y cómo influye en la versatilidad de los espacios de un modelo.

Este principio de diseño se encuentra directamente en la estructura de una célula madre vegetal, ya que sus aristas forman un nodo de encuentro que ayuda a que se conecte todo el grupo de células; esta forma orgánica tiene la facilidad de acoplarse a casi cualquier tipo de superficie espacial y su acomodo puede variar tanto horizontal como verticalmente.

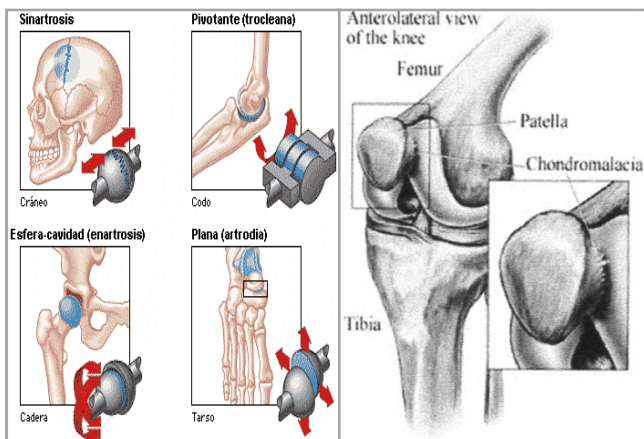


**ARRIBA:** Los conceptos celulares crean sistemas orgánicos de redes espaciales, que se adaptan al contexto en que se encuentran.

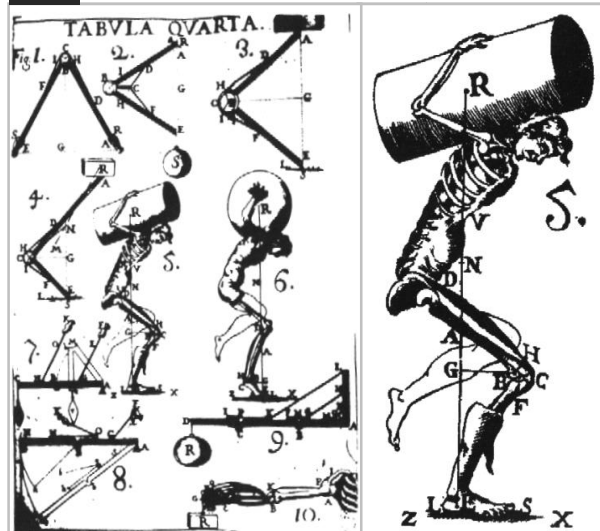
Para comprender el desarrollo de este estudio, se elaborará un modelo conceptual que se basa en la experimentación de los conceptos estructurales y espaciales que harán desarrollar un principio de diseño con sistemas tecnológicos más aptos para un contexto de clima intenso y variable en su entorno, generando pautas de composición y adaptación al entorno natural; el comportamiento de los conceptos se aplica a las funciones y la morfología de las estructuras orgánicas, para proveer de nuevas ideas de diseño en los sistemas a utilizar, y se tiende a dos conceptos bien definidos: La biónica y la bioforma como diseño.

La biónica nos ayudará encontrar un principio de diseño de estructura flexible, el cual tendrá como origen la anatomía humana y de la naturaleza, porque nos ayudará a tener esa articulación de movimientos dentro de un modelo, creando así un mejor sistema estructural. En cuanto a la bioforma, nos ayudará a encontrar una pauta de diseño adaptable al contexto, creando composiciones más coherentes y adaptable, así el espacio creado por este principio no alterará el entorno sino que se integrará de forma más natural al lugar.

Las articulaciones **biónicas** óseas del cuerpo humano, tienen como principio de diseño, encontrar la flexibilidad de una estructura ligera pero fuerte, un ejemplo de ello es que la articulación humana puede soportar grandes cargas y aun así no se colapsa ya que su forma estabiliza toda su estructura ligera; su forma de adaptarse a casi cualquier posición, le da versatilidad de movimiento; la estructura del cuerpo humano se compone de huesos y estos en su interior son huecos lo cual hace que su composición sea más liviana.



**ARRIBA:** Las articulaciones ayudan al hueso a tener más movilidad y tienen un principio de diseño estructural tal que están aplicados para evitar los momentos de torsión en una estructura, y crea estabilidad para todo el sistema.



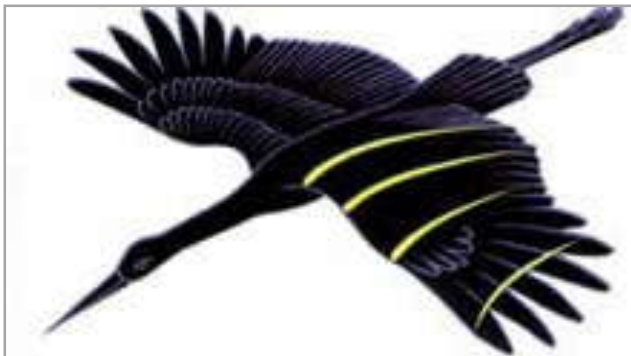
**ARRIBA:** El esqueleto humano es un factor importante para realizar principios estructurales más flexibles, y adaptables a diferentes necesidades, ya que se acomoda a cualquier forma para equilibrarse.

Un ejemplo de resistencia estructural en el cuerpo humano es la tibia de la pierna, el perfil de ella hace que tenga la estabilidad necesaria para soportar casi todo el cuerpo humano, pero la principal característica de esta pieza es la forma en que termina la tibia, que se ensancha en la cabeza plana para distribuir toda la carga al hueso, y encaja perfectamente en la rodilla creando la articulación móvil; conlleva a soportar toda la presión del cuerpo en la articulación nodal; para juntar la presión del peso, la tibia está envuelta de médula, vasos sanguíneos y otros tejidos por lo que se entrelazan por tejidos carnosos, que soportan la presión ejercida del movimiento y del peso del cuerpo; nos deja claro que la anatomía humana tiene principios de diseños estructurales aplicables a la generación de un modelo versátil de estructura.

Otro ejemplo que aplica el mismo principio de diseño de los huesos son las prótesis humanas también, tienen el mismo principio de articulación estructural. Las articulaciones están constituidas por diferentes materiales, así su forma estructural evita que en los momentos de torsión se rompa la estructura, ya que las articulaciones le dan el movimiento necesario para que se anulen estos esfuerzos, dándole además la propiedad necesaria para no colapsarse y resistir la masa de objeto que cargará.

Otra forma biónica es el cuerpo ligero del ave, diseñado para volar, pero de igual manera para nadar y caminar; su cuerpo está constituido con varias articulaciones que le ayudan a tener diferentes habilidades, su forma estructural es un buen ejemplo de flexibilidad estructural, lo cual nos ayuda a comprender que las articulaciones son una propiedad estructural de los animales para mantener su movimiento, ya que toda ave que se desplaza por el aire tiene un esternón extremadamente robusto con una gran superficie plana y amplia, llamada quilla, donde se conectan los músculos para volar; la parte del esqueleto llamada placa pectoral, constituye un soporte muy fuerte para los huesos de las alas y está compuesta por los huesos pectorales y espolleta.

Este último se encuentra sólo en las aves. Los huesos que sirven para impulsar las alas son muy largos y están soldados. Las plumas de la punta de las alas se conectan a los huesos soldados de la "mano". La zona pélvica se extiende hacia atrás y hacia abajo con el objeto de permitir a los músculos de las piernas trabajar más eficazmente; el análisis anterior de la forma esquelética de las aves muestra un buen sistema estructural flexible que se refuerza con los músculos; por lo que éstos se pueden comprender como el refuerzo añadido a la estructura pero, a la vez flexible para su movimiento.



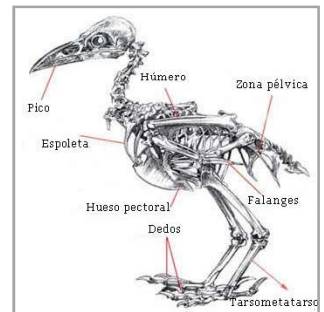
#### ARRIBA E IZQUIERDA:

La pluma es un ejemplo de la propiedad de la estructura biónica, ya que su versatilidad se debe a la constitución de la estructura de la pluma dado que estructuralmente tiene cavidades que ayudan al despegue de su vuelo.



#### ARRIBA Y DERECHA:

Las formas de la estructura tienen la propiedad de ser ligeras y resistentes, ya que el esqueleto animal tiene el perfil diseñado con cavidades triangulares que ayudan a soportar diferentes fuerzas en la naturaleza, equilibrados por su sistema estructural esquelético.



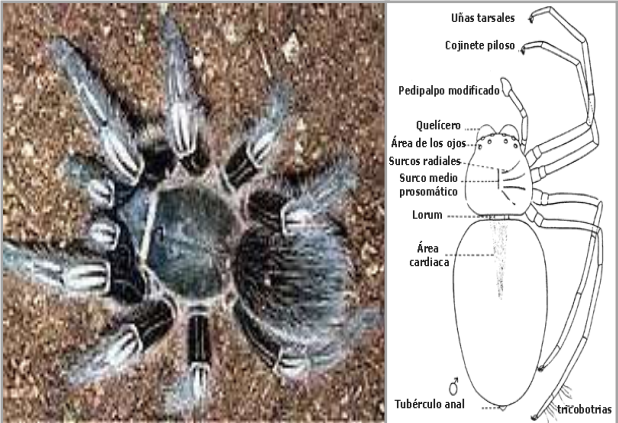
La parte del ave que caracteriza como estructura ligera, adaptable y móvil es el ala, su anatomía del hueso es hueco y pesa muy poco ya que para poder volar grandes distancia tiene que tener un peso muy ligero en su estructura; la forma articulada del ave funciona como una viga móvil a la que se repliega y abate para ejercer su danza de vuelo, y podemos observar en el perfil del ala del ave que el hueso tiene la forma de una armadura de figura triangular, por lo que su forma tiene una mejor estabilidad estructural; este perfil tiene dos usos: le da ligereza al hueso y le proporciona resistencia para no flexionarse por el esfuerzo, ya que contrarresta la fuerza ejercida por el viento.

Otra característica de ligereza de esta parte del ave es la pluma, que genera la habilidad de planear y mantener el vuelo en el aire, depende en qué parte del cuerpo están colocadas, ya que las alas sirven para el despegue y el planeo estático del ave; y las plumas colocadas en la cola, sirven como timón para darle dirección al vuelo del pájaro; su interior está constituido por una serie de retículas, que ayudan a dejar pasar el aire y sostener el vuelo; esta porosidad, vista de perfil está diseñado en forma hueca y triangular, que le da la resistencia y la ligereza de la pluma, aguantando la fuerza de los vientos que inciden sobre su estructura.

En la naturaleza de la forma biónica se pueden encontrar muchos ejemplos. Por último analizaremos el exoesqueleto de una araña, que tiene un principio biónico muy importante en su diseño, ya que la estructura de su cuerpo está constituida por un esqueleto exterior que le da más flexibilidad, visible para proteger su tejido blando, la cutícula cubre el cefalotorax y las piernas protegen a la araña de humedad y de la sequedad, además, la cutícula provee a la araña la ayuda estructural para mantener el equilibrio en sus movimientos, las arañas también tienen un esqueleto interno que realmente es una extensión de la cutícula externa.

Este esqueleto interno sirve como superficie para el accesorio del músculo que funciona directamente en los movimientos de las piernas, haciendo que sea mucho más flexible que las piernas humanas, las cuales tienen dos segmentos. Las arañas tienen una característica muy peculiar al moverse pues cuando se desplazan distribuyen un líquido que les da la habilidad de extender sus piernas equilibrando su movimiento en cada uno de sus pasos; el punto principal de su estructura corporal en el esternón que une todas sus partes encontradas en el centro, lo que parece un nodo de unión que concentra y distribuye las fuerzas en todo el cuerpo; es un claro principio de balanceo de fuerzas, ya que a cada movimiento distribuye su peso para estabilizarse.

Como podemos observar, las formas estructurales de la biónica nos deja un principio estructural de un sistema flexible que debe de tener la característica principal en la versatilidad del movimiento de la estructura.



**ARRIBA:** El exoesqueleto de la araña es un sistema estructural biónico que se equilibra en base a un nodo, en donde se encuentran distribuidas todas las fuerzas ejercidas por el caminar de la araña, por su propio peso.

Las formas biónicas se pueden ver en la arquitectura contemporánea empleada como forma de expresión y adaptación, pero cabe decir que son una forma análoga de emplear las estructuras, pues las estructuras arquitectónicas se rigen por diferentes materiales y tienen que acatar una ley diferente al material que genera la naturaleza; a un que en su forma geométrica existe la posibilidad de encontrar una sinestesia que ayuda a generar mejores formas estructurales en la arquitectura, la cual es de mucha importancia ya que se integra a su entorno, generando una jerarquía nueva en la imagen de la ciudad.

En cuanto a su principio estructural los edificios están regidos por estos conceptos: simetría, equilibrio, resistencia, ligereza, adaptabilidad y articulación; un buen ejemplo de la arquitectura biónica lo aplica el Arq. Santiago Calatrava, él aprovecha los conceptos orgánicos como una manera de expresión en la estructura del edificio, creando un espacio más acorde al contexto; su adaptación estructural en el edificio proviene de la forma de aplicación de la geometría. Un claro ejemplo es el aeropuerto de Lyon, es una obra en donde el arquitecto Calatrava refleja los conceptos biónicos de una estructura articulada, su propia forma da resistencia y la ligereza de mantener su peso equilibrado; el principio estructural de la edificación proviene de una estructura ósea, ya que su forma tiene una columna vertebral que une a toda la subestructura, creándole una propiedad única en la forma estructural.

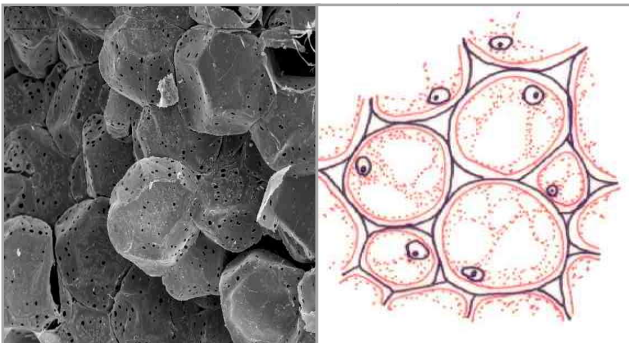


**ARRIBA:** Aeropuerto de Lyon del Dr. Santiago Calatrava, tiene sus principios estructurales en la forma biónica de la naturaleza y su comportamiento estructural está sometido a la figura orgánica de esqueleto.

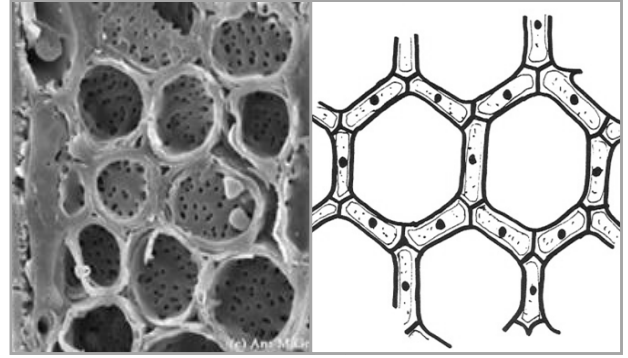
En cuanto a la noción de la **bioforma** un buen estudio es el crecimiento de una célula, ya que es un ejemplo claro de un modelo conceptual espacial-estructural y deja ideas de modulación a abordar. La flexibilidad estructural del espacio de una célula proviene de su adaptación a un contexto variable, generado por una traza en donde serán manipulados los espacios y la estructura dependiendo de su necesidad. En la contemplación de las células se observa la forma del equilibrio estructural en su cuerpo. La pared superficial está compuesta por líneas de tensión que soportan la fuerza ejercida por la reproducción celular; en la aglomeración se une por aristas nodales, distribuyendo toda la presión de empuje a la parte inferior de todas las células, que sirven como soporte de base.

Esta observación nos ayuda a comprender que la articulación nodal es la que ayuda a que resistan la fuerza generada por el crecimiento, y también es la que desarrolla un crecimiento ordenado en las células; para aplicar esta propiedad a un sistema de redes y ritmos espaciales analizaremos los tejidos celulares como base de diseño, sus aristas concentran la fuerza vectorial que tiene el organismo y la distribuyen de manera ordenada; nos ayudará a entender de una manera más congruente la descripción de un sistema estructural en una célula y cómo influye en la versatilidad de los espacios.

El principio de diseño se encuentra directamente en la estructura de una célula madre vegetal, puesto que sus aristas forman un nodo de encuentro. La célula para ser dividida tiene que estar proporcionada con su propio espacio; esta división se mantiene en equilibrio gracias a que el espacio y masa tienen la misma medida, y ayuda a que se conecte todo el grupo de células. La forma orgánica tiene la facilidad de adaptarse a casi todo tipo de superficie espacial y su acomodo puede variar tanto horizontal como verticalmente, esta propiedad natural crea el equilibrio dinámico de las células, ya que su crecimiento es constante.



**ARRIBA:** Los conceptos complejos celulares crean sistemas de redes espaciales orgánicas, que se adaptan al contexto en el que se encuentran.



**ARRIBA Y DERECHA:**

Las células vegetales son agrupaciones rítmicas con geometrías ortogonales, las cuales generan una red espacial que hace que su crecimiento sea adaptable a su entorno.



Para comprender este crecimiento de orden natural, sólo basta observar las células vegetales, su desarrollo celular está hecho en base a un orden geométrico ortogonal fractario, tiene aristas concéntricas y triangulares que ayudan a estabilizar toda la estructura molecular de la célula, dándole un ritmo de crecimiento pautado; la base de este tipo de incremento celular nos ayudará a generar un sistema de redes geométricas y puede cooperar a desarrollar pautas rítmicas, de modo similar al crecimiento celular, puesto que se genera en un orden geométrico flexible y formas más adaptables al entorno en que se encuentren.

Un ejemplo claro de la estructura reticular es la célula *Hydrodictyon reticulatum*, esta forma celular tiene como principio formal la figura hexagonal, pero compuesta por una traza reticular triangular; el triángulo como figura geométrica es el más estable para soportar fuerza de presión y de resistencia; en la ilustración podemos encontrar este patrón reticular, las mismas uniones de las células formando aristas triangulares iniciando un crecimiento modular hasta crear el cuerpo complejo, este concepto geométrico de adaptación sistemática y rítmica en la naturaleza muestra el modo en que se debe desarrollar un espacio versátil ya que de ello depende mucho la versatilidad estructural y la geometría de su diseño.

Otro ejemplo de adaptación orgánica del mismo principio celular, se ve en la agrupación hexagonal de los enjambres de abejas; la adaptación de formas se mimetiza con el entorno en donde se adosan, no importa el tipo de cuerpo en el que se ajuste.

Su crecimiento hexagonal desarrollado conforme al molde del objeto en donde se emplazan, su propia configuración estabiliza toda la estructura del panal creando una forma natural de adaptación variable en objeto anclado; la organización en la naturaleza demuestra que es ordenada en la geometría.

La fabricación de la colmena es desarrollada por el principio del triángulo, que al dividir el hexágono forma sus aristas nodales que soportan la masa del enjambre; en cuanto a su perfil, tiene la figura de un romboide ligeramente direccionado hacia arriba, que produce una columna de aristas que son sostenidas por el mismo panal. Como vemos la figura que domina el cuerpo natural del enjambre es la figura del hexágono y el triángulo, estos son cuerpos geométricos que por su constitución son estables y en su estructura son altamente resistentes a la fuerza gravitatoria de la tierra y a las fuerzas laterales, como vientos y sismos.



**ARRIBA Y DERECHA:**

Las aglomeraciones naturales como los enjambres, son principios de adaptación de la naturaleza, ya que crecen en una red modular de forma hexagonal que es muy versátil.



Otra propiedad de la bioforma es el estudio de adaptación de un ser viviente en naturaleza, ya que será útil para poder sobrevivir en su hábitat, es indispensable saber la forma en que se adapta a su ambiente; es un hecho reconocido que las fuerzas de la naturaleza inciden directamente en la conformación de los objetos naturales.



**ARRIBA E IZQUIERDA:**

los conjuntos naturales que tiene un crecimiento rítmico y pausado se adaptan mejor a los fenómenos climáticos extremos de la naturaleza, ya que su estructura geométrica ayuda a adaptarse a diferentes tipos de sitio.

En la historia de la naturaleza existe una ley universal por la cual sólo sobreviven las especies que se encuentran en armonía con su entorno, en equilibrio con los materiales que las rodean y adaptadas a todas aquellas fuerzas internas o externas, a las que se encuentran expuestas; el conocimiento de las forma nos conduce a la interpretación de las fuerzas que lo han modelado y en otros momentos al conocimiento de las fuerzas, esto nos lleva a entender mejor el interior de las formas.

Como consecuencia, la concepción de la forma nos aclara esencialmente por la comprensión de las fuerzas que dieron origen al diseño de las forma en objetos naturales, para equilibrar estas fuerzas con el cuerpo.



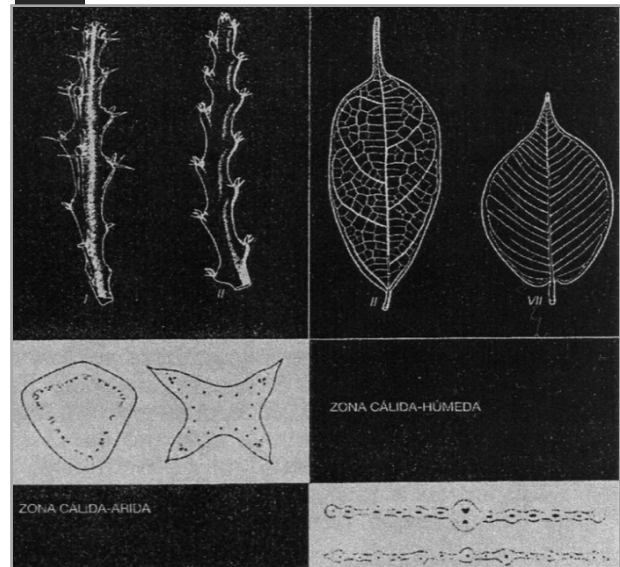
Para entender cómo se efectúa esta adaptación observaremos en particular la integración de las plantas, puesto que de acuerdo con el entorno favorable o adverso las plantas pueden abrir o cerrar su superficie; las plantas de las regiones frías o áridas y calurosas presentan secciones macizas y similares; es decir, gran contenido en superficie relativamente pequeña, es una respuesta para defender del frío excesivo o de un calor tórrido. Por el contrario, las plantas de zonas templadas se abren al contacto con su entorno estacional; y el crecimiento de la vegetación, en regiones húmedas y calurosas, es libre tanto en su forma como en su tamaño.

La configuración de las hojas en las plantas también tiene diferentes cambios, aunque a este nivel su adaptación es más concreta y específica para abastecer la necesidad de la planta; las secciones de las hojas muestran el efecto del entorno en morfologías de las plantas. En las zonas frías las agujas del pino tienen una formación cilíndrica un poco allanada; para poder resistir el frío, la sequía, los vientos y otras condiciones desfavorables, la forma es compacta. En las zonas templadas el lado expuesto de las hojas es transparente para permitir que la luz incida al máximo en la superficie. El entorno estacional amable favorece que las hojas adquieran una forma abierta y considerable tamaño.

En la zona cálida-árida, el entorno no es muy favorable y exige un gran esfuerzo a las plantas que se adaptan a las condiciones adversas, mediante la reducción de la superficie de sus hojas y ramas (en realidad tiene verdes tallos) y presentan un exagerado desarrollo de gran cantidad de celdillas protectoras. La forma es compacta para lograr la protección adecuada.



**ARRIBA:** El centro cultural de Jean Marie Tjibacu en la Nueva Caledonia, del Arq. Renzo Piano. Los conceptos de adaptación biofórmica, se basan en la comprensión del clima y los materiales de la zona.



**ARRIBA:** Las adaptaciones de los cuerpos orgánicos más complejos tienen el mismo principio que el de las células, ya que en escalas grandes o pequeñas se nota cómo su adaptación al contexto tiene el mismo principio que sus organismos celulares.

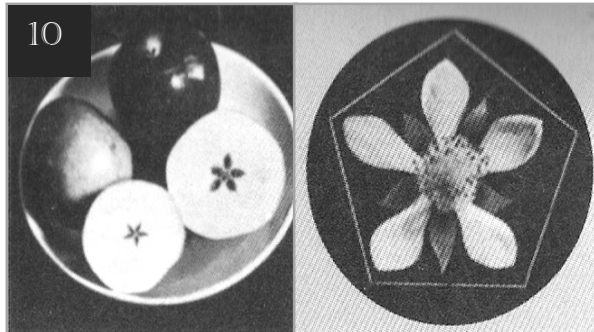
En la zona cálida-húmeda las condiciones son favorables para la vida de las plantas; el clima, semejante a un invernáculo, proporciona la adecuada humedad, calor y lluvia. Bajo sombra protegida las plantas pueden desarrollar una forma y un tamaño totalmente libres.

Para comprender el concepto de integración y adaptación de las formas orgánicas en la naturaleza analizaremos un referente empírico que aplica los principios de adaptación por medio de la forma natural que existe en su alrededor; este ejemplo se ve en el centro cultural de Jean Marie Tjibacu en la Nueva Caledonia, del Arq. Renzo Piano. Esta edificación fue generada para maximizar la ventilación, aprovechando la vegetación y la brisa de la laguna para crear corrientes ascendentes de aire, que posteriormente son disipadas por torres de extracción, con una forma muy distinta en la parte elevada del edificio, en lo alto de la colina, además de satisfacer el confort ambiental.

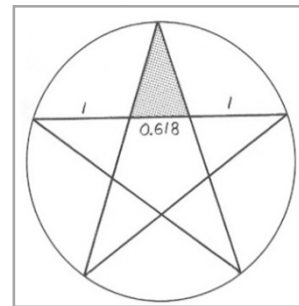
Su integración ante el medio ambiente es pasiva, y utiliza el material de la región; podemos observar que su diseño estructural es firme y estable como un árbol, dado que la misma figura es la inspiración de la vegetación que existe en el lugar, su estructura se acondiciona para crear una protección adecuada que ayude a integrar el edificio con los fenómenos climáticos del lugar. Este análisis de adaptación nos deja un concepto muy importante.

Todo **sistema orgánico** tiene una figura geométrica que se basa en su crecimiento y su disposición estructural para desarrollar un sistema de redes fractales con ritmos itinerantes, en los organismos. Se tiene que entender que en la naturaleza no se puede dejar la relación geométrica que tiene directamente su forma, ya que define la armonía, el ritmo, la proporción, y la estabilidad estructural de sus formas; en ello se pueden encontrar geometrías muy simples, las cuales se pueden reproducir en la arquitectura; esta relación se basa en las figuras geométricas pueden tener cualquier tipo de traza dependiendo de la figuras, la cual puede ser cuadrada, hexagonal o radial, etc. Pero su desarrollo proporciona varios tipos geométricos estéticos y estructurales en su figura. A través de la cooperación geométrica con la naturaleza definiremos su base en las matemáticas, ya que su crecimiento está proporcionado por bases numéricas, estas bases son: cuánto pueden crecer en tamaño y de qué forma se desarrollan, estas figuras pueden tener bases geométricas que observamos en la naturaleza, al igual que proporciona principios estructurales de estabilidad y adaptación en su ambiente,

Este estudio comprenderá el análisis de dos aspectos importantes en la geometría de la naturaleza: la primera propiedad es la proporción y simetría en la naturaleza, que puede ser regular o irregular, pero todas ellas tienen una base matemática, ya que con ellas trataremos de encontrar un sistema de redes y ritmos que ayude al espacio a conformarse a sitios distintos, como en la naturaleza; la segunda propiedad es la forma estructural en la naturaleza, que tiene principios estructurales adaptables a su ambiente y que le brinda versatilidad en el espacio, puesto que el organismo ajusta su estructura al ambiente, a las fuerzas naturales que le incidan. Este mismo principio se puede adaptar a un sistema estructural flexible.

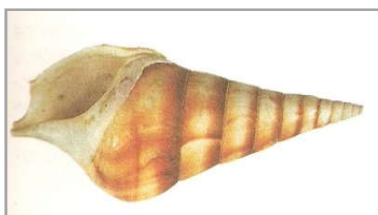
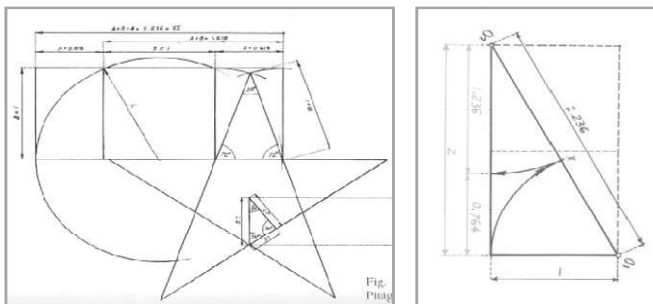


**ARRIBA Y DERECHA:** En las frutas y flores podemos encontrar los patrones del pentágono y el pentagrama; si se cortan horizontalmente las manzanas y las peras, revelan la distribución de sus semillas, el patrón de estrella pentagonal es semejante al patrón original de la flor de frangueso de logan.



Para este estudio se analizará la **proporción y la simetría** en la naturaleza con las figuras del triángulo, que es una de las figuras más simples pero estables, tanto en promoción como estabilidad estructural, pues su propiedad tiene que ver con la forma, que equilibra las fuerzas tanto en tracción como en compresión. La triangulación es la mejor adaptación para encontrar un patrón de crecimiento estructural en la naturaleza, porque el triángulo es la forma estructural que mejor mantiene en equilibrio las fuerzas que se aplican sobre él. Para encontrar ese patrón triangular en la naturaleza pondremos de relieve varias combinaciones que nacen del triángulo.

Una de las geometrías más estudiadas es el patrón pentagonal y el pentagrama que muestra el triángulo de Pitágoras y las proporciones de la sección áurea, dicha proporción es casi idéntica y tiene la misma armonía; en sus divisiones aparece la figura de triángulo de Pitágoras y pone de relieve la traza modular. Este orden se puede observar en las manzanas, peras y frangueso de logan que dan origen a la estrella pentagonal; cada uno de los triángulos de la estrella pentagonal tiene dos lados que se relacionan. En cuanto a la sección áurea se han encontrado estudios científicos en donde aparecen comúnmente en ritmos y patrones de crecimiento orgánico que pueden llegar a estructuras geométricas más complejas y proporcionar la misma estabilidad estructural, pero con mucha más complejidad que una común como la triangular.



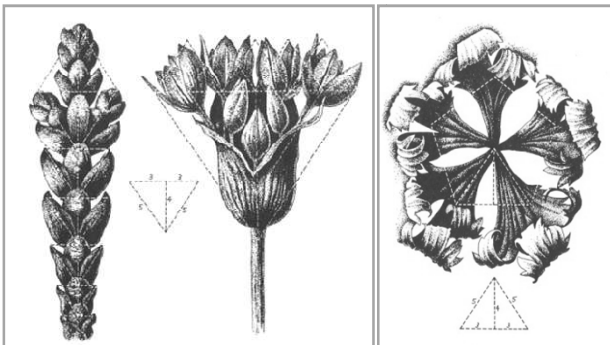
**ARRIBA E IZQUIERDA:** La comparación de la concha de tibia con la proporción áurea, genera la figura de la sección, pero con la forma triangular que ésta puede formar cuadrados o círculos.

Para entender la armonía en la naturaleza, analizamos la geometría con los organismos naturales. Se tomaron como ejemplos la geometría de una flor; su desarrollo base es el triángulo de Pitágoras que da origen a una geometría triangular, proporción que provoca ritmos y armonías en el exterior y hace que su crecimiento sea más adaptable en el entorno en que se encuentra.

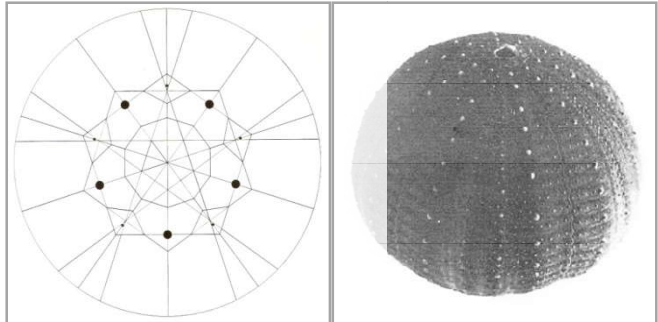
El ejemplo de crecimiento modular en la flor tiene un principio estructural en su forma geometrizada: para poder aprovechar este principio y comprenderlo, se tomaron casos especiales en donde la figura natural es una fuente de inspiración geométrica y de principios espaciales de estructuración, cuya figura triangular predomina en su diseño.

Un ejemplo es el erizo de mar, que está constituido por numerosas placas calcáreas unidas de manera semiesférica que forma una estructura rígida: el dermoesqueleto, cuya geometría crea un pentágono en el centro hecho por triángulos equiláteros que le da un punto de rigidez y lo hace más resistente, su forma geométrica ayuda a comprender qué tipo de figuras geométricas debería tener un sistema de redes espaciales para una mejor adaptación en su contexto.

Las figuras dominantes en su hábitat natural marino son las que le proporcionan la solidez en su crecimiento estructural, ya que su punto de crecimiento radial se refuerza por la geometría triangular de su cuerpo formando un sistema geométrico muy resistente y flexible.

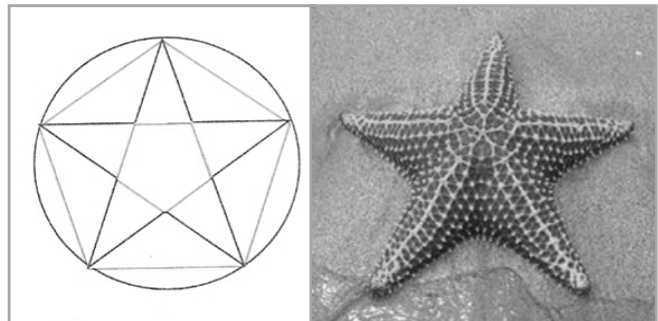


**ARRIBA:** La base del crecimiento de la flor tiene como geometría el triángulo de Pitágoras, el cual permite que se desarrolle con un ritmo más acorde al contexto natural, este principio hace notar que todo crecimiento orgánico tiene un desarrollo geométrico, al que da origen una estructura reticular.



**ARRIBA:** Aun por más compleja que sea la red orgánica, siempre empieza por la figura básica del triángulo.

**ABAJO:** Sistema geométrico triangular puede formar otras trazas pentagonales, hexagonales, etc. Esto da lugar a más diversidad de adaptación al contexto natural.

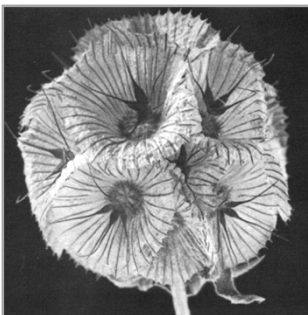
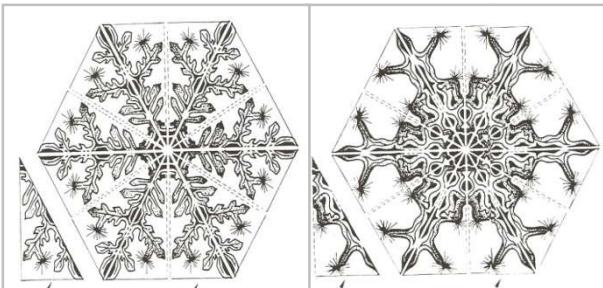


Otro ejemplo de este tipo es la estrella de mar; su figura está conformada por triángulos que por sus cinco puntas forman un pentágono, su perfil tiene bases matemáticas para ser materializadas en una traza reticular y formar un sistema de ritmos espaciales adecuados y adaptables.

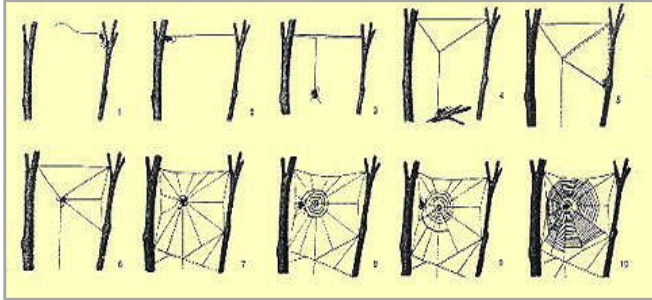
En cuanto a su trama geométrica, es muy estable porque deja paso a principios de crecimiento muy marcados, por lo que su forma estructural es muy resistente a fenómenos externos, pues la estrella de mar habita en lugares en donde su entorno es muy agresivo, pero su forma le ayuda a adaptarse a su contexto.

El mismo orden geométrico se puede ver en los copos de nieve, su silueta crea un hexágono con triángulos concéntricos que dan la apariencia del copo de nieve; aunque son cuerpos inorgánicos pueden tener varios diseños, pero su orden geométrico es el mismo, sus diferentes matices están hechos bajo un mismo orden y limita su espacio; aunque es el mismo espacio geométrico difiere en su composición estética y nunca se repite, este análisis deja una pauta de diseño en cuanto al espacio que puede ser creado con una misma geométrica, pero también tener diferentes funciones y formas. Bajo el concepto de geometría adaptable, podemos comprender que las formas naturales son lo más adaptable a un contexto variable.

Para entender bien, se tomaron ejemplos experimentales y se hacen análisis análogos de modelos geométricos, en donde las figuras geométricas encontradas forman cuerpos naturales que rigen el sistema reticular de crecimiento estructural; un ejemplo de construcción geométrica en la naturaleza es la flor de escabiosa, sus formas pentagonales son la figura estructural que mantiene estable su cuerpo; podemos observar que su perfil dominante proporciona rigidez en su cuerpo, en el cual encontramos formas triangulares y hexagonales que son las que se adaptan mejor al contexto y dejan principios de diseño reticular sistematizado en los espacios, plasmado también en la geometría de su cuerpo.

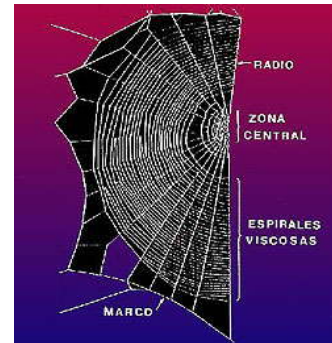


**ARRIBA:** Los organismos inorgánicos como los copos de nieve, están compuestos por geometrías ortogonales, que a su vez se componen por triángulos isósceles y pueden dar lugar a varios dibujos en su interior, ya que la traza sólo delimita el espacio pero no la forma.



#### ARRIBA Y DERECHA:

La telaraña es una de las geometrías más complejas de la naturaleza, pero su desarrollo también se compone de triángulos irregulares unidos en un punto, formado por una espiral, cuya traza ayuda a tener mayor resistencia a la tracción.

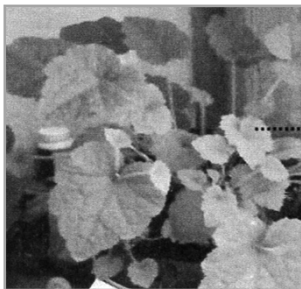
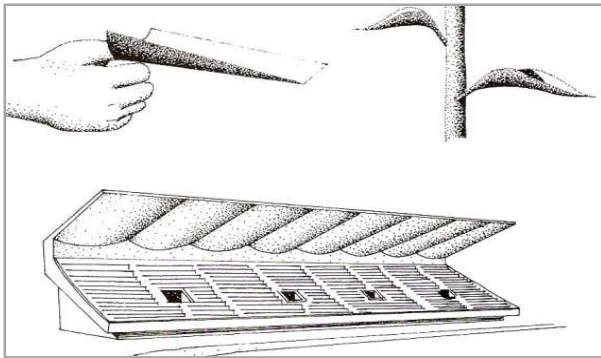


Otro principio geométrico es la tela de araña, que también tiene una geometría triangular pero es irregular; anteriormente se comentó que la araña posee un sistema estructural muy fuerte, pero para este estudio, la construcción de su telaraña es un ejemplo de cómo la naturaleza puede formar geometrías estables para adaptarse en su medio; la geometría de una telaraña se ubica en la zona central de su gran estructura que es la que mantiene estabilizado todo el plano organizado, puede ser construido de manera vertical, pues depende del tipo de araña y de las necesidades de éstas. Su resistencia proviene de la forma y el material con que está constituida la telaraña, ya que el hilo se fabrica de fibras altamente resistentes; estudios han llegado a la conclusión de que la tela de araña es cinco veces más fuerte que el acero según investigadores de laboratorio.

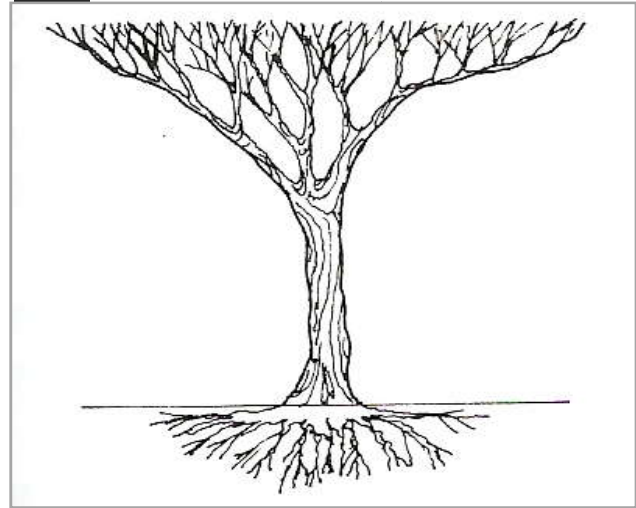
En la construcción de una tela geométrica, inicialmente la araña alarga un hilo de seda que el viento lleva hasta engancharse en una rama. El animal estira el hilo y camina varias veces por el largado de la estructura, se deja caer largado la tela desde en medio y luego tirona desde el suelo a otra rama; formando una figura parecida a una "Y", va formando marcos y radios. Luego inicia la espiral provisora desde el centro hacia afuera, con seda no pegajosa, que le servirá de sostén para hacer el espiral definitivo. Esta forma de construcción natural no desperdicia nada y aparentemente adapta su forma a la figura ya existente en el entorno, esto constituye un principio de cómo una estructura se puede adaptar y autoconstruirse sin dañar su contexto.

La segunda propiedad importante en la geometría de la naturaleza es **la forma**, ya que de ella dependerá la figura que tendrá cada organismo, y tiene que ver principalmente con la gravedad. La fuerza de la gravedad ejerce su influencia en la forma natural de los seres vivos y celulares, y cada uno de estos seres responde con una adaptación estructural para integrarse a la fuerza; la gravedad es una condición para determinar la forma; también la forma determinará la limitación del espacio, la aplicación de las figuras geométricas son un ejemplo perfecto de estructura y límites del espacio. Para comprender la forma estructural en la naturaleza, observamos que toda la forma básica, independientemente de su función, contiene en sí misma una estructura.

El propósito y la razón de ser de una estructura es el canalizar los esfuerzos al terreno; los esfuerzos que actúan sobre la estructura producen cinco tipos básicos de fuerza: compresión, tensión, flexión, cortante y torsión, en el árbol encontramos un ejemplo donde se conjugan las cinco fuerzas. En las ramas, la superficie superior de las fibras de madera se tensan; la gravedad empuja a las ramas hacia abajo, mientras que las fibras de la superficie interior se comprimen; también se produce una flexión dentro de la madera cuando la gravedad atrae a las ramas, en tanto que si se curvan con el viento se produce una torsión. Asimismo, se crea una fuerza cortante, cizallamiento durante el movimiento, entre las fibras de la madera, que se da cuando el viento agita a las ramas y troncos. curvándolos en un sentido u otro.



**ARRIBA E IZQUIERDA:**  
La estructura en la naturaleza da ejemplos de cómo la geometría estructural de un organismo puede utilizar el mínimo de su material y el máximo de su rendimiento.



**ARRIBA Y DERECHA:**

La forma en la naturaleza crea conceptos de principios estructurales que se pueden aplicar en los edificios arquitectónicos contemporáneos.

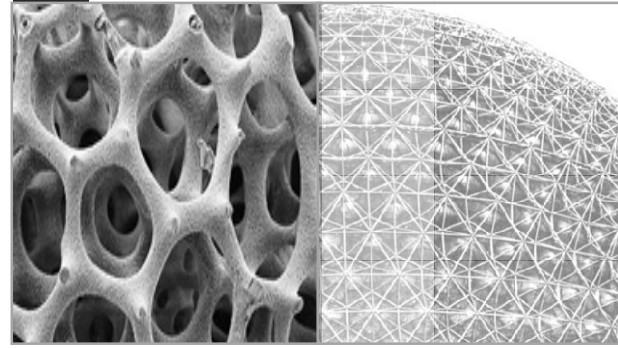


Las fuerzas que actúan en la estructura de la naturaleza también se aplican a los edificios arquitectónicos; para soportar toda la resistencia se tiene que delimitar el espacio a cubrir en el que la estructura soporte dichos esfuerzos; en esto se basa la forma geométrica y su adaptación en el entorno. Un ejemplo de adaptación en la arquitectura de la naturaleza, lo tenemos en una hoja pequeña que funciona como todo organismo complejo. Teniendo un mínimo apoyo, sostiene una estructura de nervios que cubre una gran área delimitada.

Su función fisiológica es captar la mayor cantidad de luz solar para los procesos de fotosíntesis. De esa manera tiene que gastar los menores recursos para cubrir una gran área [a su propia escala]. Esta superficie tiene la forma de doble curvatura, [ya que si las hojas fueran planas, no habría manera de que el agua llegara a las raíces]. La planta está nervada en sus hojas, mostrando geometrías y ritmos repetitivos, adecuados para sostener toda la superficie de la hoja y a su vez ramificada para sostener muchas hojas a partir de un solo tallo. Este ser viviente es un buen ejemplo que nos deja principios de diseño para la elaboración de un sistema eficaz.

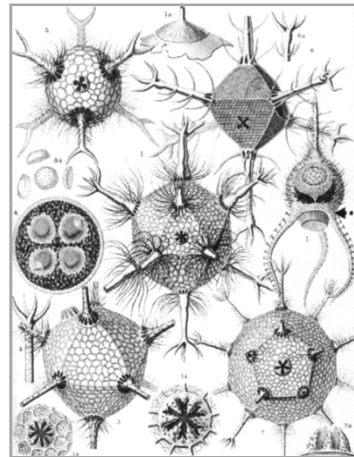
Otra propiedad de la forma estructural en la naturaleza y que es la base principal en su capacidad para adaptarse a un entorno; podremos desarrollar un sistema estructural flexible que se integre a su contexto, pero toda figura natural o geométrica tiene un límite de crecimiento que se rige por la estructura en el espacio, su propia densidad (la estructura del organismo) ocupa un espacio en la forma y es la que limita su figura, esto es uno de los límites que condicionan su tamaño y su forma. Un ejemplo de ello es la célula de carbono, su forma geométrica estructural está basada en las figuras geométricas del pentágono y el hexágono que le ayudan a transmitir las fuerzas ejercidas sobre la célula a todo su cuerpo, funcionando como un sistema estructural equilibrado, y lo hace más adaptable a su entorno; con esa excepcional peculiaridad, la geometrización de sus moléculas que pueden presentar otras formas alotrópicas, parten de las del grafito [sistema cúbico] y del diamante [sistema hexagonal].

Otro ejemplo de estos límites celulares, también se puede observar en los esqueletos radiolarios de minúsculos animales marinos unicelulares con esqueletos simples, su mayor forma es esférica de excepcional belleza. Los radiolarios son lo opuesto de las células de carbono, pues su forma no es perfecta sino irregular, pero su mayor característica es que se componen del mismo principio geométrico estructural por la combinación de pentágonos, hexágonos y triángulos. En la gran variedad de las formas sus perforaciones son complementadas con los pseudópodos radiales que determinan los nombres protozoarios; poseen muchos pseudópodos que son soportados por microtúbulos llamados axopodios, que les ayudan en la flotación, estos microtúbulos son las barras que forman una malla llena de nodos que contrarrestan la fuerza de empuje del exterior.



**ARRIBA:** La geometría en la estructura orgánica es indispensable para la formación de estructuras flexibles y la limitación de espacios versátiles, ya que con ella marca las pautas para adaptarse a su entorno.

**DERECHA:** Los esqueletos radiolarios pueden tener varias formas, su geometría triangular, pentagonal y hexagonal, pero la combinación de estas figuras es la que hace que sea una eficaz estructura.



Para comprender las características principales de la forma orgánica, se tomará un referente empírico que nos ayudará a explicar la aplicación de los conceptos de la proporción y la figura geométrica, pero tal comprensión estructural proviene de una serie de elementos mecánicos estructurales de la misma forma, porque en el estudio anterior de las células encontramos que los cuerpos espaciales en la naturaleza orgánica tienen un principio estructural muy acorde a la arquitectura actual, tanto por estética como de sistema estructural, así mismo como las células se rigen por un espacio y sistema geométrico estructurado, también los edificios arquitectónicos toman en cuenta las fuerzas gravitatorias aunque con mayor escala, pero la forma geométrica es la misma.

Un paradigma claro en la arquitectura actual de estos principios conceptuales biomórficos celulares se ve en el Proyecto Edén, del Arq. Nicholas Grimshaw, la edificación tiene como principios la bioforma, su agrupación celular hexagonal, la cual se sostiene por nodos de encuentro que ayudan a soportar el empuje; la misma forma biomecánica hace que se distribuya toda la fuerza en el edificio, y su figura arquitectónica se integra al contexto natural de la zona.

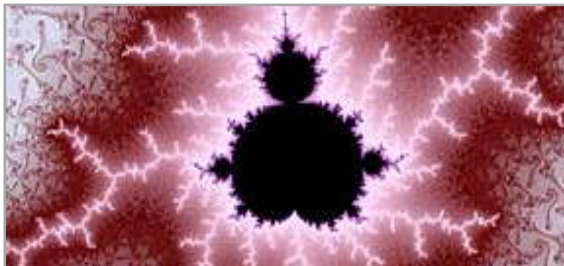


**ARRIBA E IZQUIERDA:** El proyecto Edén, del Arq. Nicholas Grimshaw, es uno de los edificios arquitectónicos que se adapta mejor al contexto, gracias a la forma estructural de su geometría; en ella se ven los conceptos de traza hexagonal del edificio.

La geometría en la naturaleza se analizará por medio de la geometría fractal, que es la que se asemeja a la forma y estructura en el organismo existente en el medio ambiente; se **justificará** tratar de descubrir un sistema de redes espaciales, el cual simule la aproximación y adaptación de las formas orgánicas en la naturaleza, ya que el crecimiento y su forma estructural en los organismos tienen un principio muy importante: resistir las adversidades de su entorno y adaptarse de acuerdo a las circunstancias que se encuentren en su contexto; entendido esto podremos comprender la inclinación científica del documento.

En cuanto al término fractal, lo acuñó el Ing. Benoit Mandelbrot y viene del término latín fractus [romper] + fracture [fractura], el fractal fue descubierto por encontrar patrones de ruido en las vías telefónicas, que dio paso a simular el tipo de crecimiento que había en ellas; el estudio de aquellas formas que se representaban en gráficas dio paso a crear la geometría fractal, que analiza la forma y asocia su cuerpo por figuras discontinuas de funciones matemáticas, para simular el perfil de la figura a imitar desde una perspectiva gráfica virtual.

Esta geometría desplaza a las existentes por funciones algorítmicas computacionales que permiten describir sistemas naturales, caóticos y dinámicos; un fractal es un objeto en el cual sus partes tienen alguna relación con el todo (íntimamente ligado a la similitud), la propiedad de esta geometría es que su dimensión no es entera, sino fraccionaria y permite ese crecimiento de itinerantes fractales, se divide en dos características fundamentales:



**ARRIBA E IZQUIERDA:** Esta geometría puede gozar de cualquier escala, ya que su crecimiento se rige en una dimensión que casi es infinita por su división constante en el espacio.



**ARRIBA Y DERECHA:** La geometría fractal plantea que sus partes geométricas son similares entre sí, ya que son piezas itinerantes y sirven para analizar fenómenos como los rayos, las montañas, árboles y cordilleras, ya que cada ramificación construye la misma figura hasta formar una geometría más compleja.



1.- **Autosimilitud.-** propiedad que consiste en que la forma del objeto presente el mismo aspecto al ser observada en distintas escalas, también se considera infinito ya que a medida que aumentamos la precisión del instrumento de medición observamos que el fractal aumenta en longitud o perímetro.

2.- **Dimensión Fractal.-** su característica es que el crecimiento de la geometría en el espacio se maneja por algoritmos y por una sucesión de iteraciones que simulan el objeto fracturado; por consiguiente, la dimensión de un fractal no es un número entero sino un número generalmente irracional.

Un fractal tiene una base matemática que puede gozar de autosimilitud a cualquier escala. Se había dicho anteriormente que su dimensión no es entera, pero sí lo es, no será un entero normal. El que goce de autosimilitud significa que el objeto fractal no depende del observador, es decir, si tomamos algunos tipos de fractales podemos comprobar que al hacer un aumento doble, el dibujo es exactamente igual al inicial, así pues si hacemos un aumento mayor, el dibujo resulta igual porque todas las partes se parecen al todo.

Hay muchos objetos ordinarios que debido a su estructura o comportamiento, son considerados fractales naturales, aunque no los reconozcamos. Las montañas, las costas, los árboles y los relámpagos son fractales aunque finitos, sus dimensiones no son lo ideal pero tienen la característica de itinerantes que los provee de ese crecimiento de forma rota; no así como los fractales matemáticos que gozan de infinidad numérica y son los ideales para crecer en una dimensión finita, tanto así que han sido catalogados de modelos finitos comprimidos de alguna manera en un espacio finito o bellísimos y fascinantes diseños de estructura y complejidad infinita.

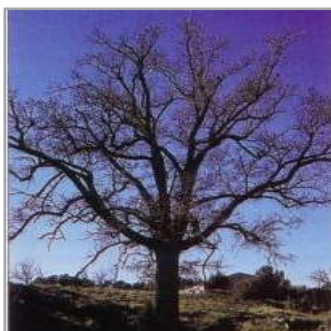
Las técnicas fractales han sido utilizadas en la compresión de datos, así como en una variedad de disciplinas científicas, también cabe destacar su aplicación al mundo de las artes plásticas y especialmente en la música. En este estudio en particular se utilizará para simular las formas en la figura de la naturaleza, que nos proporcionarán una traza más versátil para manipular los espacios de un entorno variable como en la naturaleza.

Ejemplos análogo de agrupaciones adaptables se ven presentes en la materia biológica, junto con las simetrías [las formas básicas que sólo necesitan la mitad de información genética], y las espirales [las formas de crecimiento y desarrollo de la forma básica hacia la ocupación de un mayor espacio], como las formas más sofisticadas en el desarrollo evolutivo de la materia biológica, se presentan en procesos en los que se producen saltos cualitativos en las formas biológicas, es decir, posibilitan catástrofes [hechos extraordinarios de crecimiento y adaptación] que dan lugar a nuevas realidades más complejas, como las hojas que presentan una morfología similar a la forma del árbol, y sin embargo, cualitativamente no es lo mismo una hoja [forma biológica simple], que una rama o un árbol [forma biológica compleja].



**ARRIBA:** Las agrupaciones más grandes tienen el mismo principio que las aglomeraciones más chicas pues el crecimiento en ellas es el mismo que en las aglomeraciones celulares.

**DERECHA:** La simple formación de un árbol tiene el principio de la geometría fractal, pues su crecimiento está formado por la autosimilitud de un objeto repetido varias veces.



**ARRIBA E IZQUIERDA:**

Las formaciones en la naturaleza, tienen un principio de crecimiento fractal pues se desarrollan en una figura repetida varias veces con diferentes posiciones, pero hay casos en donde la figura no tiene un patrón de repetición sino que su segmentación es caótica.



Pero además las formas fractales [desde esta concepción intuitiva] no sólo se presentan en las formas espaciales de los objetos, sino que se observan en la propia dinámica evolutiva de los sistemas complejos. Dinámica que consta de ciclos [en los que partiendo de una realidad establecida simple acaban en la creación de una nueva realidad más compleja] que a su vez forman parte de ciclos más complejos y éstos presentan las similitudes propias de los sistemas caóticos, que se encuentran correctamente ubicados en la naturaleza, ya que su autosemejanza resulta un instrumento de modelización útil para los conceptos de dimensión basados en números enteros positivos, y nos describen de manera convincente su modelo de ocupación del espacio. Concretamente, sucede cuando se desea caracterizar muchas estructuras biológicas, en este caso las formas orgánicas que visualicen una forma rítmica de crecimiento espacial y de desarrollo estructural flexible, entendiendo la similitud estructural que tiene la naturaleza.

Si nos fijamos en las propiedades que tiene el paisaje que nos rodea, nos daremos cuenta de que encontraremos fractales en la naturaleza, y es tan sencillo como alzar la vista al cielo, ya que las nubes tienen forma y dimensión fractal. Más allá, las galaxias también tienen estructura fractal. Si por el contrario miramos una parcela de terreno desecada veremos un fractal del tipo árbol.



Una col romanesca nos da una serie de formas organizadas muy repetitivas en su espacio. Si cortamos una coliflor podemos ver cómo la estructura se repite en ella pues goza de autosimilitud. Aún más, si medimos su perímetro éste aumenta a medida que medimos trozos más pequeños, porque la coliflor goza de dimensión fractal. Para la medición del perímetro se puede usar un hilo que vaya resiguiendo el perímetro de la coliflor (una sección de 2 cm. de grosor es suficiente). Las ramificaciones de las venas se asemejan a estructuras y modelos fractales. Nuestro cuerpo también tiene una estructura fractal, o al menos su interior, ya que la distribución de nuestras venas y capilares es muy similar a la ramificación de un árbol.

Por ejemplo nuestra red arterial venosa del corazón cubre todo nuestro cuerpo a pesar de representar una pequeña fracción del mismo. Sin embargo, estos objetos tienen dentro de su irregularidad un orden: su forma se va repitiendo a distintas escalas dentro del mismo objeto, es decir, si observamos las formas de las ramas de un árbol y después aumentamos la escala de sus ramas, podremos apreciar que la forma de las ramas del árbol se va repitiendo a menor escala por todas sus ramas, y así sucesivamente. Por ello, al aumentar la escala de las formas que se repiten, veremos que son semejantes a las originales. Esta propiedad, tan abundante en la naturaleza, recibe el nombre de autosemejanza.

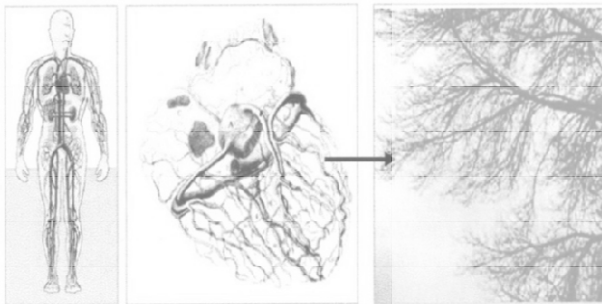


**ARRIBA Y DERECHA:**

Si seccionamos una coliflor y esa sección la subdividimos podemos notar que es la misma figura que se repite muchas veces para crear un cuerpo complejo.



Para comprender mejor la aplicación de la geometría de la similitud veremos un ejemplo de los fractales en la naturaleza: las plantas de helechos desde el punto de vista geométrico están hechas en base a la geometría de la autosemejanza, en las tres figuras que presenta el helecho su disposición es la misma y su desarrollo es el mismo, las tres vistas de un mismo helecho. La "D" representa una parte de la "E" vista de cerca, y la "F" es, a su vez, una ampliación de la "A". Si nos fijamos en el aspecto general del helecho (D), veremos que consta básicamente de un tallo central de donde salen a banda y banda hojas de color verde acabadas en punta. Si realizamos un zoom sobre una de las hojas (E), la estructura se repite, tallo central y hojas verdes a banda y banda. Observando finalmente una de las hojas (F) veremos la misma estructura, y así hasta el infinito.



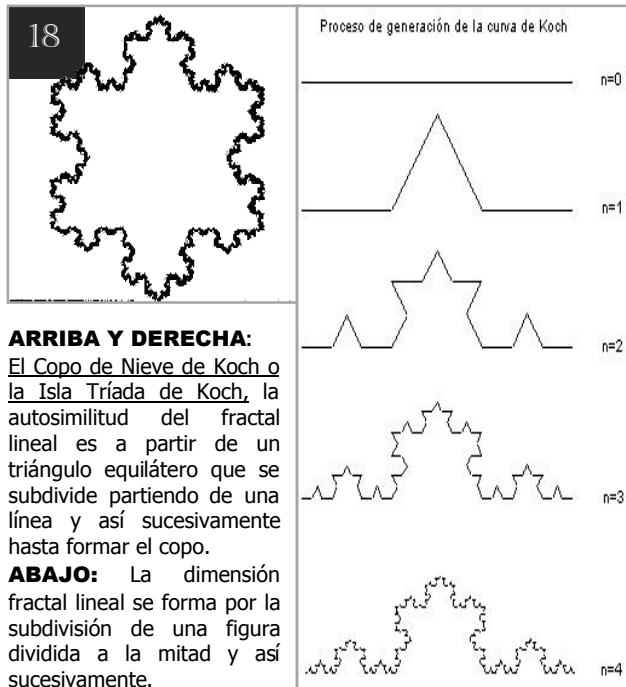
**ARRIBA Y ABAJO:** El dimensionamiento de los organismos se forma a partir de autosimilitud, llegando a ser infinitas en un espacio finito.

La propiedad en virtud de la cual la forma geométrica del helecho es independiente de la escala en la que se observa, se denomina autosemejanza, y las figuras geométricas que la cumplen se denominan fractales. Con esto notamos que la geometría fractal busca y estudia los aspectos geométricos que son invariables con un cambio de escala en la naturaleza; para muchas formas reales es posible construir un modelo matemático que se puede expresar como el límite de un proceso geométrico iterativo indefinido. Cada iteración puede provocar una ruptura suave en el objeto que conlleva a la ausencia de la diferenciabilidad del límite. La geometría fractal, realiza el análisis local del objeto sin la necesidad de suavizar la figura, hecho que requería la geometría diferenciable.

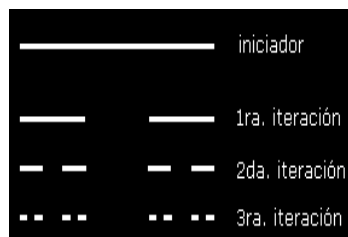
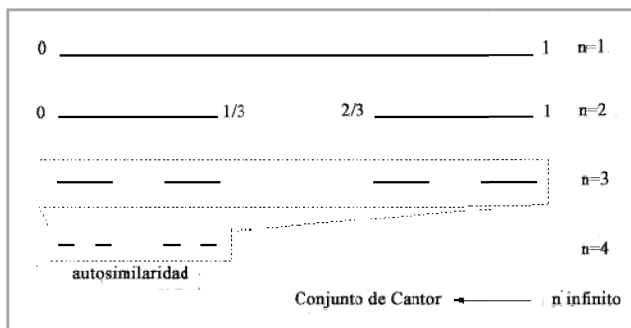
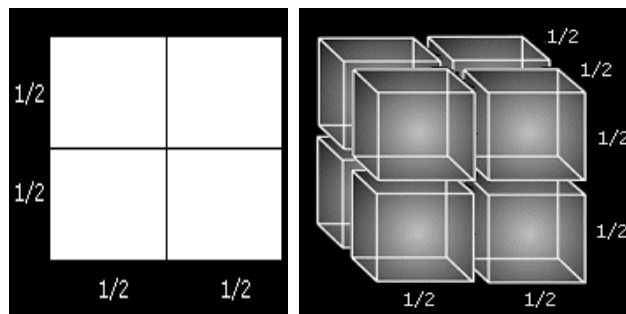


En el mundo de la geometría de los **fractales lineales** existen dos características principales para definir el tipo de fractal que se halla en la naturaleza: la primera propiedad para definir las es la autosemejanza, que se nota en las figuras por medio de segmentos geométricos; la segunda es la dimensión, que definirá el espacio en que se desarrollan, basándose en la propiedad matemática de las iteraciones, que es la base de su crecimiento en el espacio, cada tipo de fractal en los cuales tiene en común la similitud de la figura natural.

Tratándose de la autosemejanza fractaria lineal de las formas de la naturaleza, su autosimilitud es perfecta; cada una de las porciones del objeto tiene la misma característica del objeto completo, a esta propiedad se le llama iteración. Una iteración es la repetición de "algo", una cantidad "infinita" de veces. Entonces, los fractales se generan a través de iteraciones de un patrón geométrico establecido como fijo. El mejor y más claro ejemplo que se puede observar de este tipo de concepto es el siguiente: la figura representada como el Copo de Nieve de Koch o la Isla Tréada de Koch descubierta en 1904 por el matemático Niels Helge Von Koch, es un fractal sencillo de dibujar, se forma a partir de un triángulo equilátero al cual se dividen sus lados en tres partes iguales, de forma tal que en los tercios medios se coloca otro triángulo semejante al primero. Esta iteración, en un alto grado de complejidad, se asemejará a una circunferencia, ya que los triángulos se irán colocando infinitamente. Esto reafirma el concepto de Área Finita y Perímetro Infinito. Claro está que los fractales son también números (en efecto, la iteración de un número complejo simple, puede traducirse en operaciones matemáticas).



**ARRIBA Y DERECHA:** El Copo de Nieve de Koch o la Isla Tréada de Koch, la autosimilitud del fractal lineal es a partir de un triángulo equilátero que se subdivide partiendo de una línea y así sucesivamente hasta formar el copo.  
**ABAJO:** La dimensión fractal lineal se forma por la subdivisión de una figura dividida a la mitad y así sucesivamente.



**ARRIBA E IZQUIERDA:** El Polvo de Cantor, su fractal lineal se forma por una autosimilitud muy simple, se compone solamente de una simple línea seccionada varias veces hasta formar la figura original.

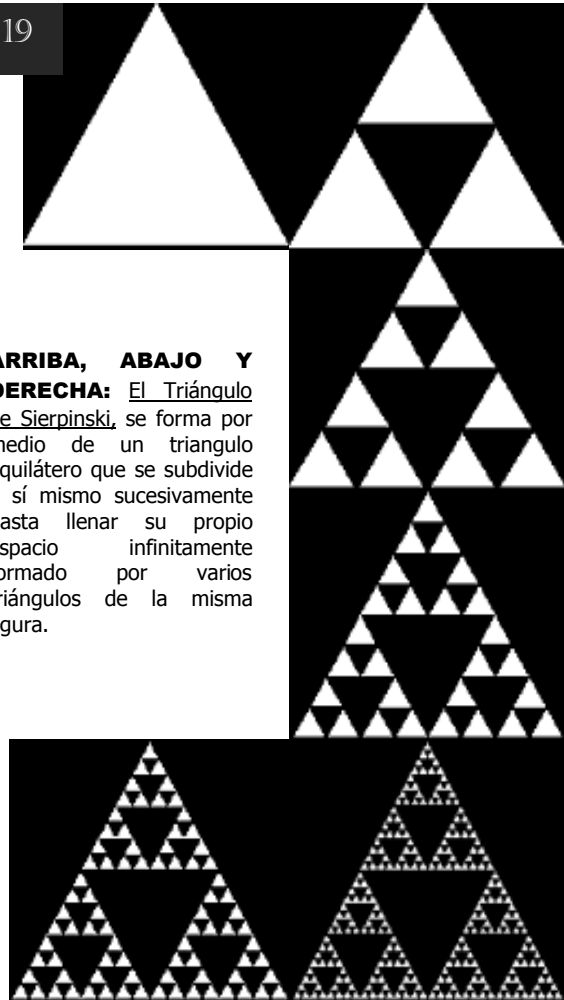
Otro ejemplo fractal puro en la naturaleza, es, el Polvo de Cantor, fue descrito por el matemático alemán George Cantor, inventor de la teoría de los conjuntos, alrededor de 1872. A pesar de ser una figura extremadamente sencilla recoge todos los atributos discutidos sobre los fractales hasta el momento: presenta autosimilitud a cualquier escala y su dimensión es fraccionaria, con valor aproximado de 0.630929753571457437099527114 ( $\log 2 / \log 3$  si utilizamos una expresión más adecuada).

Igualmente podemos basarnos en él para introducir otra característica general de este tipo de objeto: son producidos por procesos de iteración; el polvo de Cantor se inicia con un segmento lineal (justamente conocido como el iniciador), éste se divide en tres segmentos menores de la misma longitud, el central de los cuales se extrae. Este proceso (denominado usualmente como el generador) se repite indefinidamente, al final de lo cual -si tiene final- se habrá producido el Polvo de Cantor.

De la misma manera podemos producir un Triángulo de Sierpinski, una figura inventada por el matemático polaco Waclaw Sierpinski en 1915; para esta autosimulación se comienza con un triángulo equilátero. En su interior, se traza otro triángulo equilátero, cuyas puntas o esquinas, deben coincidir con los puntos medios de cada lado del triángulo mayor. Esta nueva figura tendrá una orientación invertida con respecto a la primera. Segundo, se retira o elimina de la figura ese nuevo triángulo invertido, tal que solamente se conservan los tres triángulos equiláteros menores -y similares- que se observan dentro del grande.

Luego realizamos el mismo procedimiento (de iteración) para cada triángulo pequeño, obteniéndose, como resultado, un triángulo de Sierpinski. Hay que tener en cuenta que cuando decimos que se elimina ese nuevo triángulo no solamente significa que quitaremos ese triángulo del medio y nos olvidamos de él, sino que los puntos contenidos en esa área, específicamente, no pertenecen al conjunto de puntos comprendidos en el triángulo de Sierpinski; o dicho de otro modo, esa sección no pertenece al conjunto, con esto entenderemos que la simulación de los fractales lineales son perfectos, y su iteración es fácilmente calculable gracias a que la figura con la que se inicia es igual que aquella con la que se termina, dejando que la figura se adapte a su entorno de crecimiento.

**ARRIBA, ABAJO Y DERECHA:** El Triángulo de Sierpinski, se forma por medio de un triángulo equilátero que se subdivide a sí mismo sucesivamente hasta llenar su propio espacio infinitamente formado por varios triángulos de la misma figura.

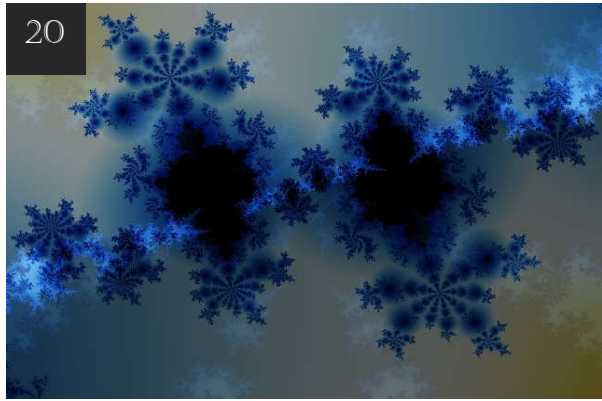


**ARRIBA:** Habitat de Montreal del Arq. Moshe Safdie, cuya construcción tiene el principio de una geometría fractal lineal, maneja conceptos de células aglomeradas y sobrepuestas entre sí para ir desarrollando una autosimilitud fractal lineal.

Para entender cómo se aplica este tipo de fractales lineales en la arquitectura, tomaremos como ejemplo el Habitat de Montreal de Moshe Safdie, en 1967, cuya estructura estandarizada está hecha a base de sobreposiciones y amontonamiento de cápsulas de hormigón en forma de cajas modulares; toda la composición depende de dos simples repeticiones iterativas simétricas, en donde se equilibran por medio de un eje central, el cual estabiliza la forma de agrupación de los módulos.

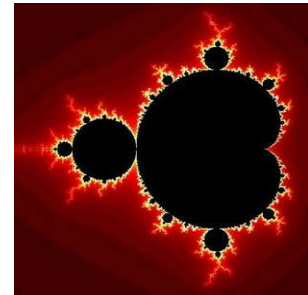
Su concepto estructural es la prefabricación de su estructura, hecha en formas de disposición celular, colocando habitación por habitación en una armadura central edificada por cajas, en las que el los techos de unas servirán como terrazas de otras; cada vivienda varía en la distribución de la armadura de acero dentro del hormigón, dejando el concepto de fractal lineal en su forma completa, ya que su geometría se compone de repeticiones segmentadas de un mismo cuerpo geométrico.

En cuanto a los **fractales complejos** existen sólo dos formas en las que se puede aplicar la geometría fractaria y su método de autosimilitud; se desarrolla de manera estadística y computacional dado que para dimensionar y crear las imágenes se necesitan programas y ordenadores, pues sus operaciones matemáticas se explican en un lenguaje computacional muy complejo, que se rige por la autosimilitud estadística; quiere decir, que cada área de un fractal complejo conserva la figura estadística similar a sus características globales; la forma se desarrolla de igual manera en escalas grandes y pequeñas que utilizan la misma figura pero más seccionada.

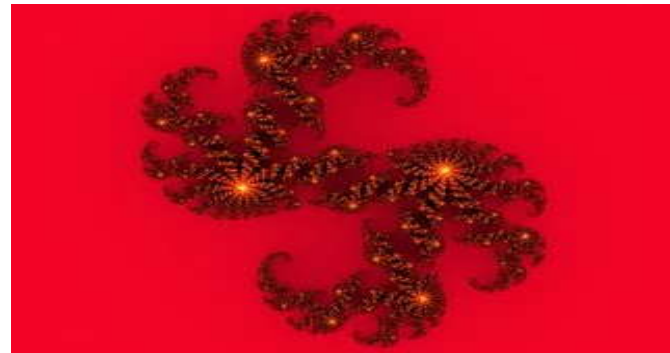
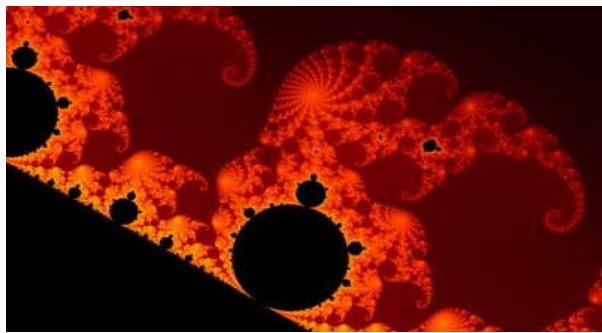


Para entender la formación dimensional de los fractales complejos tomamos los ejemplos anteriores de autosimulación, uno de ellos es el método de Mandelbrot, que maneja una serie de fórmulas complejas que se expresan en funciones matemáticas y que expresan la construcción de valores dimensionales posibles que ayudan a crear una figura fractal, ésta aplica valores aproximados mediante números complejos como "c" ( $c = a + bi$  en donde a y b son números reales y la "i" es un número imaginario, el resultado, un número complejo) que aplica el número "z" y lo eleva al cuadrado, sumándose después al mismo "z" y así infinitamente (iteración).

**ARRIBA, DERECHA Y ABAJO:** La construcción del conjunto de Mandelbrot se basa en los cálculos matemáticos estadísticos que el ordenador usa para varias ecuaciones matemáticas segmentadas, para formar una figura compleja al igual que una forma orgánica natural.



Este proceso de iteración transforma ese número complejo "simple" en uno infinitamente complejo. Sólo un ordenador (una computadora) es la herramienta más práctica para calcular con este tipo de fractales, ya que si se intentara hacer a mano la operación de dicha construcción dimensional, no se podría acabar en toda una vida. Aunque este método dimensional es considerado como la geometría más aproximada de generaciones de formas naturales.



**ARRIBA E IZQUIERDA:** La construcción dimensional del conjunto de Julia tiene la misma geometría que la del conjunto de Mandelbrot, pero sus puntos de contacto son fijos y se vuelven cerrados hasta formar una figura variable en un espacio finito, y se expresan por gráficas estadísticas.

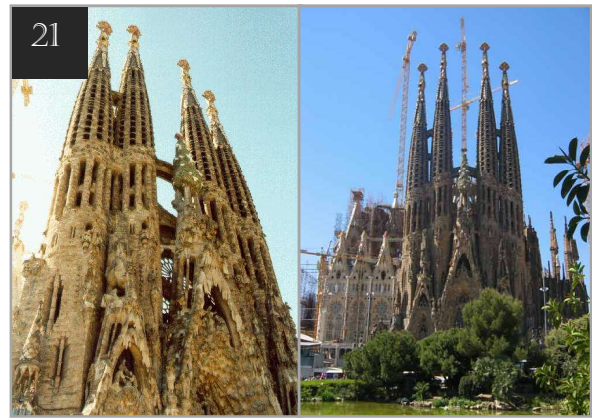
Otro ejemplo del método de Julia, descubierto por el francés Gastón Julia en 1918, fue uno de los primero precursores de la geometría fractal compleja, se parece al método de Mandelbrot que parte de la misma división de segmentos complejos, pero el desarrollo del método de Julia se obtiene cuando el dibujo geométrico se genera por puntos que varían constantemente en un plano dimensional en el que están unidos los puntos entre sí, hasta formar una figura fractal; la autosimulación se nota cuando se le asigna un color a sus puntos, éstos se pintan de color negro cuando los puntos tienden al 0 y de bajas iteraciones, los puntos que se van al infinito y con mayor velocidad se pintan de diferentes colores, es decir, según el número de iteraciones necesarias con valores fijos en un punto C menores a 0, serán los valores variados en los segmentos Z que se van hacia el infinito, con esto se originará la formación del método de Julia, se aproxima a la geometría de la naturaleza.

Para entender la geometría fractal compleja, analizaremos posibles aplicaciones en la arquitectura, en donde encontraremos algunas bases geométricas que se aplican a la edificación arquitectónica; la geometría fractal compleja para ser aplicada en la arquitectura, tendrá que ser sólo una reinterpretación aproximada. Un ejemplo es la Iglesia de la Sagrada Familia, del Arq. Antonio Gaudí, la característica más importante del edificio es la forma en la que está proyectada pues su apariencia es de una figura orgánica, su principio natural proviene de la fractalidad en las ramas de los árboles, en las cuales se basó para construir las curvas parabólicas de las secciones verticales, que permiten el despegue vertical de los espacios interiores, y la concepción de las columnas inclinadas que están dispuestas siguiendo la curva catenaria y descompuesta en ramificaciones; ambos elementos sostienen la bóveda de la iglesia, abierta al máximo para dejar ver el cielo a través de grandes ojos.

Un ejemplo de la arquitectura fractal compleja es la expansión del Aeropuerto de Stuttgart en Alemania, en 1990, por los arquitectos Von Gerkan y Klaus Staratzke. La edificación tiene el principio fractal en la estructura ya que su formación natural es la de un árbol que está constituido por 12 columnas que tienen la forma de la ramificación de un arbusto, las columnas son las que ayudan a estabilizar la edificación, sus ramificaciones están diseñadas en posición triangular para concentrar los esfuerzos en un solo punto, que ayuda a que pueda soportar el claro en el espacio. Podemos apreciar el edificio no sólo como composición arquitectónica que puede dar el diseño fractal, sino también en su estructura y, darle además esa adaptabilidad en el espacio, inspirada por figuras naturales estables como el árbol.

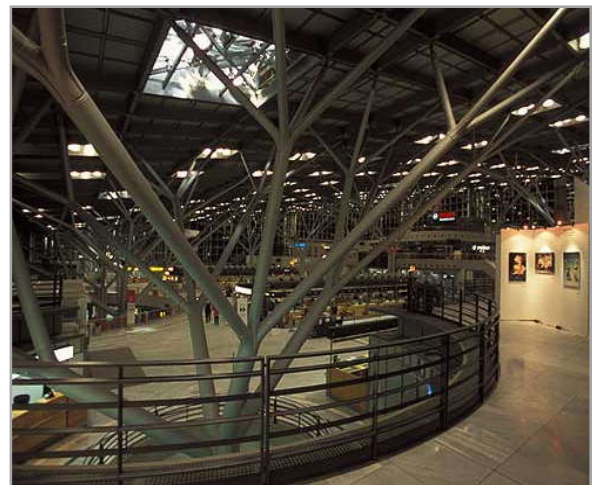


**ARRIBA:** El Pabellón de Serpentine, de Toyo Itto, cuyo edificio tiene su principio estructural en base a la fragmentación triangular, su geometría es algorítmica, la cual hace que sea un fractal complejo, su desarrollo estructural tiene el principio de generar marcos rígidos sobrepuestos.



**ARRIBA:** La Sagrada Familia de Antonio Gaudí, edificación hecha por principios estructurales naturales, en los que sus columnas están diseñadas por formas de árboles creando una curva catenaria.

**ABAJO:** La expansión del Aeropuerto de Stuttgart, de los arquitectos Von Gerkan y Klaus Staratzke, la expansión del edificio está diseñada en base a una estructura modular que tiene el principio de diseño de un árbol.



Otro ejemplo de la geometría fractal compleja que combina la estética y la estructura en su forma más orgánica, es la arquitectura de Toyo Itto, arquitecto japonés que aplica la estética y la ingeniería en su desarrollo más abstracto en la naturaleza.

Un ejemplo de su arquitectura es el Pabellón de Serpentine, hecho en el 2002, su desarrollo geométrico tiene un patrón algorítmico que también combina una geometría caótica triangular, y su estructura está hecha en base a este principio, las superposiciones de tramas triangulares forman marcos rígidos, también tienen claros transparentes para dejar pasar la luz, su forma de cubo está estructurada de un perímetro fractal que tiene varios tipos de fachadas, con un patrón básico de un triángulo repetido muchas veces con intersecciones.

Existe una gran semejanza entre los fractales complejos y los fractales caóticos, pero éstos provienen de la formulación estadística, sólo que su desarrollo es mucho más difícil de comprender que los complejos, ya que son asociados con la teoría del caos, mientras que unas figuras sí están estrechamente relacionadas con los fractales, hay otros tipos de fractales que no obedecen este orden de autosimilitud. Hablando de la teoría del caos, trata de los sistemas no lineales, para los cuales el índice de cambio no es constante, sino que su carácter es impredecible; una aplicación de esta figura caótica es la estadística de la climatología y la del crecimiento poblacional, son buenos ejemplos de sistemas no lineales; ambos también son fractales, cada estado del sistema se determina por sus estados anteriores [iteración]. Un minúsculo cambio de los valores iniciales puede tener dramáticos efectos en el resultado del sistema.

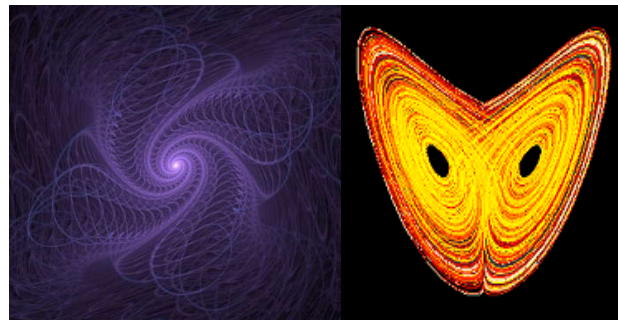
En cuanto a su dimensión, los fractales caóticos requieren de métodos más complejos que la dimensión fractal, se calculan a partir de sistemas de ecuaciones diferenciales, y su cálculo se desarrolla por ordenadores computacionales, pues la serie de datos son bastante abrumadores para crear los parámetros dimensionales de la forma; el parámetro de construcción de esta dimensión caótica empieza por las ecuaciones no lineales, atributo importante en los sistemas complejos que generan las fórmulas matemáticas caóticas determinadas; éstas operaciones tienen dos características particulares, fundamentales para comprender el significado que a ellas se le asocia: la retroalimentación de las variables en sus puntos y la presencia de las llamadas bifurcaciones.



**ARRIBA:** El Museo de Guggenheim de Bilbao del Arq. Frank O. Genry, está diseñado por formas caóticas, dado que su geometría estructural está consolidada por una estructura deconstruida que muestra un sistema estructural complejo, en donde su forma es la que le da la estabilidad al edificio.



**ARRIBA Y ABAJO:** La creación del modelo de Lorenz, es generada por un atractor, el cual tiene como propiedad que su dibujo ésta constantemente cambiando en su espacio, éste produce formas extrañas y nunca repite el mismo lugar.

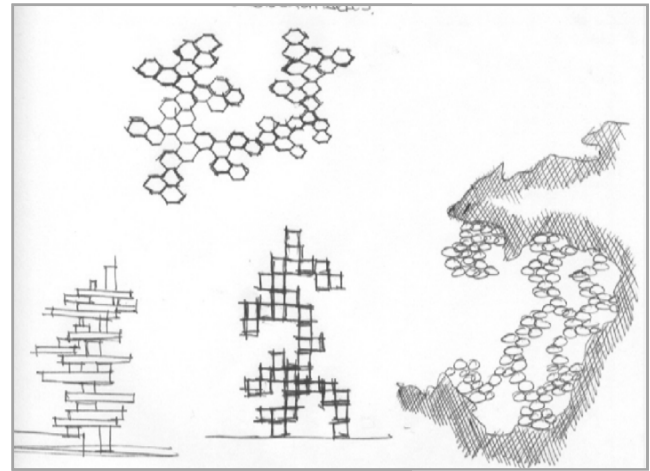


El método de Lorenz aplica parámetros de dimensiones caóticas, la primera característica que se toma en cuenta es la retroalimentación de las variables. Se refiere a que en la ecuación no lineal, una variable se multiplica una y otra vez por sí misma, alterando la ecuación de manera progresiva. La otra característica es la presencia de bifurcación; se refiere a que en algunas de las ecuaciones no lineales, presenten sistemas en varias etapas y tengan más de una solución posible.

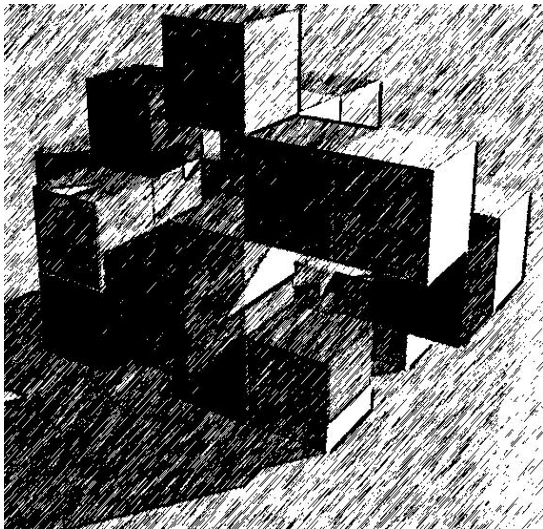
Recordemos que la geometría fractal caótica varía mucho en su forma, y su aplicación es empírica y se sostiene más en la teoría del caos que en su base matemática, aun así tienen ciertos parámetros que provienen de la geometría fractal caótica; para entender este tipo de geometría, por ejemplo tenemos el museo de Guggenheim de Bilbao, del Arq. Frank O. Genry, edificación que se diseñó por planos curvos que integran la fachada del edificio, los planos curvos tienen diferentes sentidos y simulan movimiento al edificio, su principio estructural se concibe por medio de una trama estructural triangulada, la cual evita que se dispongan columnas en su interior, su forma caótica es la que le da la propiedad de tener diferentes composiciones estructurales.

Partiendo de estos referentes empíricos se creará un modelo conceptual teórico, el cual partirá de conceptos naturales, esto podrá darnos pautas de diseño más coherentes, que nos proporcionará como consecuencia un modelo conceptual teórico con un crecimiento natural, adaptable a un contexto variable, con la versatilidad de cambiar de formas en sus espacios, pero modulados con una estructura flexible que le dará una facilidad de crecer en un entorno variable.

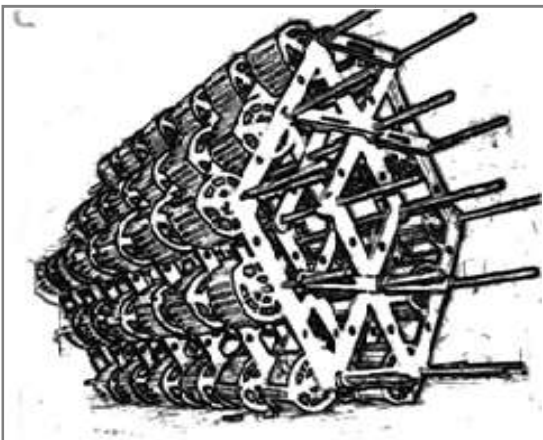
La aplicación de los conceptos nos da como principio formar unas trazas modulares, esto crea un sistema de redes espaciales que forman una estructura orgánica, esta estructura puede crecer y adaptarse a su entorno desarrollando dos tipos de análisis:



**ARRIBA:** La traza reticular es creada en base a un crecimiento celular, en donde sus parámetros son la retícula cuadrada y su línea de tensión que la atraviesa, ésta un sistema de desarrollo con pautas rítmicas.



**ARRIBA Y ABAJO:** El proceso para la creación de un modelo conceptual proviene de la retícula ortogonal que plantea un sistema de ritmos y redes, este planteamiento crea los primeros conceptos de la investigación



-**La conceptual** estudiará los conceptos formales del marco teórico y después creará un principio de diseño a base de formas orgánicas, éstas se adaptan tan bien a su contexto que tendrán una validez en la temática, posteriormente se creará un modelo iconográfico que servirá como guía, generando como consecuencia modelos estructurales y espaciales versátiles que puedan adquirir diferentes funciones de acuerdo a la necesidades del usuario, pero también se estudiará la fenomenológica de los sistemas de modulación, los cuales generan modelos de integración al sitio, como podemos ver en los siguientes esquemas éstos serán los principios conceptuales de las hipótesis, pero principalmente se limitará a buscar sistemas de redes espaciales que se puedan adaptar a un contexto, en consecuencia se encontrará la flexibilidad estructural del modelo.

-**La tecnológica** analizará principios tecnológicos de flexibilidad estructural en base a sistemas y formas de versátiles pues éstas pueden ser prefabricadas y fáciles de transportar, por esta versatilidad solo se estudiarán estructuras hechas de materiales ligeros, creando un sistema de accesorios industrializados para el modelo, su análisis abarcará también sistemas de modulación estos servirán para que tenga mayor versatilidad el espacio del modelo, generando una estructura sustentable; observamos en los modelo cómo serían aplicados los principios tecnológicos a un modelo iconográfico, esto para tener mayor comprensión de las estructuras.

Para comparar y demostrar que la propuesta teórica tiene un peso relativo dentro de la investigación, se elaboraron unas propuestas teóricas conceptuales con la problemática a resolver en este documento, esto nos ayudará a entender qué tipo de necesidades se tiene que satisfacer.

La **problemática** que resolveremos se encuentra en los lugares de subdesarrollo en donde no se cuenta con todos los servicios de infraestructura al alcance, también se localiza en lugares donde los factores climáticos (Cálido-Húmedo), son más vulnerables en temporadas de inundaciones, esto conlleva a:

**A.**-La necesidad de una estructura transportable y adaptable, en lugares extremos y difíciles de acceder; en la actualidad hay pocos de este tipo de sistemas alternativos, este problema afecta directamente a la población en donde su desarrollo es más lento, sus vías de transporte no son óptimas para enviar todo tipo de insumos, ya que por lo regular se encuentra con fenómenos climáticos que obligan a mantenerse alejado de la ciudades con un mejor desarrollo, en este caso las inundaciones.

**B.**-Sistemas estructurales que puedan montarse fácilmente en sitio: la problemática de este punto es que no se cuenta con sistemas constructivos más rápidos para una edificación; las construcciones actuales en los lugares de subdesarrollo siguen utilizando las técnicas convencionales, lo cual provoca el retraso del desarrollo en la comunidad.

**C.**-Materiales de construcción que se puedan adaptar a un clima más agresivo: lamentablemente no se utilizan los materiales que se deben aplicar en las zonas de clima extremo, esto hace que las construcciones del lugar no soporten el fenómeno climatológico, degrada la imagen suburbana del lugar y pone en riesgo la seguridad de la población, con los focos de infección que se forman.

**D.**-Falta de funciones ergonómicas dentro de las áreas habitacionales: los problemas ya comentados inciden mucho en las áreas de desarrollo habitacional, pero éste se divide en dos categorías: la falta de prevención para fenómenos climáticos y la mala planeación para desarrollar un mejor espacio en lugares de clima extremo, el punto es la falta de subsidio económico de las familias con escasos recursos monetarios, esto provoca que el usuario no tenga los recursos ni el material adecuado para poder proteger su hábitat y mucho menos crecer su entorno habitacional.

**E.**-Falta de un catálogo de soluciones para estos espacios extremos, éstos se encuentran por lo regular en zonas donde ocurren inundaciones y desbordamientos de ríos, los cuales destruyen construcciones y, por falta de conocimiento, se reconstruyen de manera desordenada; esto rompe la imagen urbana y crea un caos entre los espacios de la población vulnerable.

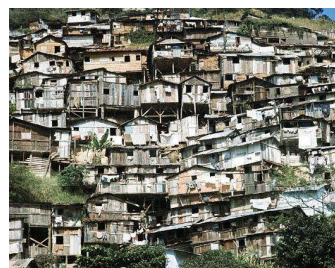
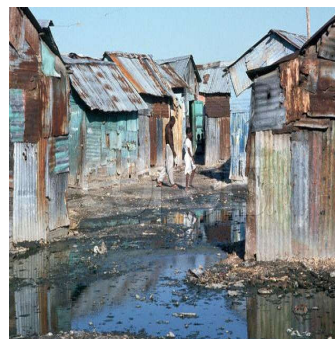
**DERECHA A:** las áreas como el municipio de **Tlapacoyan, Ver.** son sitios de accesos difíciles y con fenómenos climatológicos extremos, como las inundaciones, que complican el desarrollo urbano dentro de estas zonas, estas tendrían que tener un sistema constructivo transportable para que se adaptaran fácilmente a su entorno.

**DERECHA B:** un ejemplo de la falta de sistemas alternativos para la construcción se ve en **Tapachula, Chiapas**, estas áreas de recuperación son muy lentas, pues se utilizan sistemas constructivos convencionales; esto retrasa la reconstrucción de la ciudad, por no aplicar materiales flexibles que crean una recuperación más rápida en las zonas de clima extremo.

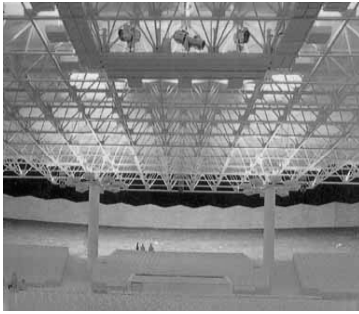
**DERECHA C:** la poca aplicación de materiales adecuados para soportar un clima agresivo, aumenta el riesgo dentro de la población, un ejemplo, son las zonas aledañas a **Tecolutla, Ver.** ya que la mayoría de sus casas son construidas con materiales endebles, con poca resistencia al clima extremo, en este caso de inundación.

**DERECHA D:** la escasa función ergonómica que se encuentra en estas áreas aledañas del municipio de **Poza Rica, Ver.** es por la falta de subsidio económico para la población, esto hace que el usuario recupere de manera desordenada los pocos recursos que encuentra en la zona.

**DERECHA E:** un ejemplo de falta de soluciones de espacio se ve en la población de **San Paulo, Brasil**, crece de manera desordenada, creando focos de peligro para un nuevo desorden urbano, y una desintegración en la imagen urbana.



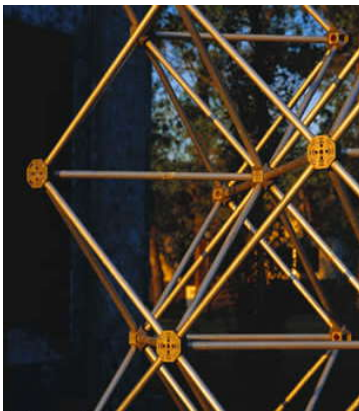




**IZQUIERDA F:** la aplicación de sistemas estructurales con un ensamble práctico, ayuda a que las construcciones sean más fáciles de edificar y de reparar en un momento dado.



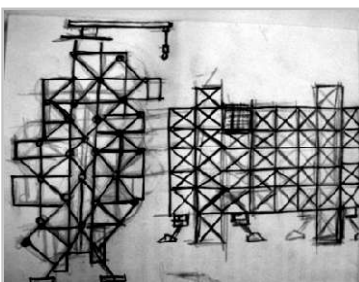
**IZQUIERDA G:** la elaboración de piezas estandarizadas ayuda a ensamblar con mucha más facilidad a la estructura de un edificio, agilizando la construcción y haciendo más practico su crecimiento.



**IZQUIERDA H:** los materiales no convencionales nos dan la facilidad de encontrar una forma más rápida de construir y de hacer una edificación más esbelta y estable con un menor peso de carga.



**IZQUIERDA I:** la subestructura es la piel que envuelve a la estructura principal, ésta entre más flexible sea más rápido se podrá hacer un cambio o una transformación dentro del espacio, ayudando a tener un área más versátil.



**IZQUIERDA J:** la elaboración de catálogos de crecimientos mejora la composición espacial en la que va a crecer cada área de agrupación, dejando que pautas y ritmos se integren al contexto.

La **propuesta** teórica comparativa, nos predice cómo se puede analizar la problemática ya antes presentada, con una serie de implementaciones estratégicas para disminuir los percances de un lugar extremo y de difícil acceso, estas **Estrategias de Proyecto** son:

**F.**-La implementación de un sistema estructural ensamblable para lugares variables: un sistema flexible ayuda a resolver problemas de construcciones lentas, puesto que un sistema ensamblable tiene la versatilidad de montarse y desmontarse, cambiar de forma y reparar más fácilmente alguna falla por catástrofe natural, su construcción es más acelerada y le da un mejor desarrollo a la comunidad suburbana.

**G.**-Elaboración de piezas estandarizadas modulares: las piezas industrializadas tiene como propiedad la facilidad de ensamblar un sistema estructural más rápidamente, esta estandarización sirve para transportar más fácilmente un módulo arquitectónico en cualquier lugar y montarse muy rápido para su utilización, también tiene la propiedad de que en dado momento puede crecer si el usuario lo quisiera.

**H.**-Materiales no convencionales que sean flexibles y resistentes: la implementación de materiales no convencionales nos da la ventaja que la construcción sea más resistente y esbelta, el acero es uno de los materiales que pueden resistir los fenómenos naturales, sin embargo, en dado caso que no resista la catástrofe, su reparación es rápida y fácil, en comparación a un material convencional.

**I.**-Subestructura que sea fácil de manipular para cambiar a diferentes funciones: una subestructura es la piel de la estructura principal; si ésta es fácil de manipular, nos da la versatilidad de cambiar los espacios dentro de un edificio. Esta manipulación nos dará como resultado que el usuario adapte el espacio a su necesidad.

**J.**-Elaboración de un catalogo de sistemas de redes y ritmos espaciales: la elaboración de un sistema que contenga una retícula como base de diseño, nos sirve para agrupar los espacios con una pauta rítmica más congruente, ya que el crecimiento desmedido sin reglas espaciales en la población, rompe con la imagen urbana y se provoca el caos dentro de las comunidades.

Para demostrar que la comparación de una propuesta teórica será efectiva en la **problemática**, se interpretarán las situaciones en las que viven los habitantes de las zonas aledañas de Medellín y Boca del Río, en donde los climas son un constante problema climático, estos puntos a analizar son los siguientes:

**1.-** Interpretar el sitio y sus posibles catástrofes climáticas: para detectar el problema en los lugares de inundación, comenzaremos por analizar en dónde se localizan las áreas de mayor peligro, en dónde se tienen daños muy graves tanto en la construcción como en la población, y verificar que tan frecuentes son en la zona.

**2.-** Soluciones para resolver espacios en situaciones extremas: para solucionar estos espacios extremos se tiene que estudiar otros tipos de materiales que sean más resistentes a los convencionales, ya que los materiales tradicionales resguardan, en dado momento, pero su reconstrucción es lenta y costosa, lo cual al usuario no le proporciona rápidamente un cobijo para protegerse.

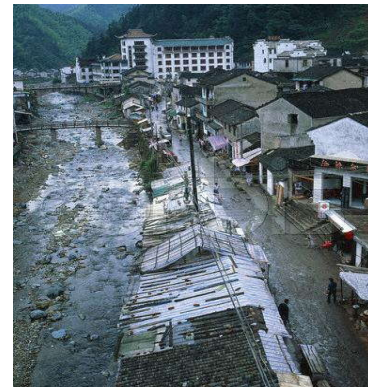
**3.-** Análisis del clima extremo en la zona para una prevención adecuada: este análisis tendrá que verificar y estudiar el comportamiento de los fenómenos en el lugar para poder aplicar soluciones más coherentes, esto genera sistemas que se podrán construir y adaptar al lugar.

**4.-** Detección de condiciones de infraestructura en las áreas extremas: por lo general, en las zonas de condiciones extremas no tienen una buena infraestructura, lo cual perjudica su rápida reconstrucción, crean áreas inhabitables en donde se marginan los usuarios por la falta de servicios, esto ayudará a que se genere un sistema de infraestructura autosustentable, la cual pueda regenerarse asimismo sin la necesidad de depender de los servicios municipales.

**DERECHA 1:** el no analizar y verificar el estado climático de una zona de desarrollo urbano es causa de que en un futuro pueda haber desastres naturales; un ejemplo es **Nueva Orleans, Usa**, la falta de prevención de zonas de alto riesgo, causaron estragos a la población e inundaciones en toda la ciudad.



**DERECHA 2:** la falta de soluciones para resolver un espacio en zonas de desastre es causa por la mala implementación de materiales un ejemplo son las zonas costeras de la **India** en donde ocurren monzones, donde por lo regular los espacios no son los adecuados para soportar los fenómenos climáticos, provocando que la población no tenga un lugar para protegerse.



**DERECHA 3:** la consecuencia de no tener un estudio del clima en un lugar, tiende a no esperar soluciones más rápidas de restauración; un ejemplo de este problema fue **Tapachula Chiapas**, la construcción de su hábitat se desarrolla en zona donde no se deben construir viviendas y éstas se desarrollan sin ninguna contemplación para resistir fenómenos climáticos agresivos, como inundaciones.

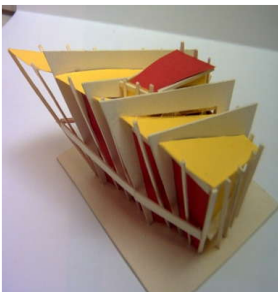


**DERECHA 4:** la infraestructura de una zona de intensos fenómenos climáticos, debe tener la capacidad de poder abastecer de energía a la población cuando ésta lo necesite, para poder habilitar rápido una zona de desastre; esto ocurre en las zonas aledañas a **Tuxtla Gutiérrez, Chiapas**. La infraestructura autosustentable sería una mejor opción, ya que puede ser transportable y fácil de instalar en caso de catástrofes.

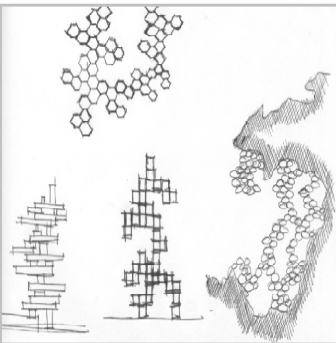




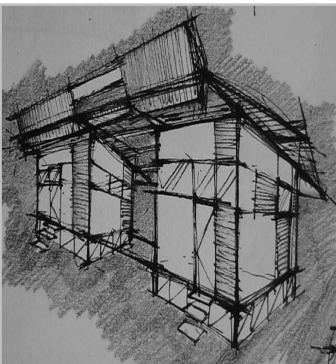
**IZQUIERDA 5:** un sistema orgánico modular puede adaptarse a un área variable, lo cual proporciona una mejor flexibilidad de poder crecer en un ambiente más natural, sin agredir el entorno en que se encuentre.



**IZQUIERDA 6:** un espacio que se adapta a un contexto es un espacio flexible y versátil, esto se debe a que obedece a las facetas climáticas del lugar y al entorno del ambiente emplazado, ayudando así a tener una mejor adaptación.



**IZQUIERDA 7:** un edificio que se acopla a diferentes espacios es un sistema adaptable a casi cualquier contexto, ayudando a generar espacios habitables para el usuario, creando una mimetización con el entorno natural.



**IZQUIERDA 8:** la aplicación de anclajes en un módulo genera facilidades de movilidad y de adaptación al entorno, esto le da al usuario la capacidad de crecer con más orden sin agredir al entorno.

Para resolver las demostraciones del problema a resolver, se aplica una **propuesta** teórica formal, esta se basará en concebir conceptos teóricos que ayuden a plantear soluciones más coherentes en la investigación, estas soluciones son las siguientes:

**5.-**Esquema formal de un sistema orgánico de módulos acoplados a terrenos extremos: este sistema tiene como principio la modulación orgánica, ésta se adapta al contexto y se integra al entorno para mimetizarse con la imagen natural, el esquema orgánico crea una mejor adaptación natural para estos sitios extremos.

**6.-**Espacios y formas diferentes en contextos variables: esto surge porque el espacio de un lugar extremo puede tener diferentes facetas de incidencia climatológica, esta transformación se establece formalmente cuando se acopla la forma del edificio al entorno y no arremete contra el ambiente natural.

**7.-**Edificios modulares que se acoplan a diferentes espacios y sitios: esto surge de un sistema de red espacial, la cual tiene ritmos que pauta el crecimiento de estos módulos, estos se integran en sitios variables y adoptan formas muy variadas, dependiendo de las condiciones del lugar; su estandarización geométrica le da la versatilidad de que sus espacios tengan diferentes formas para integrarse al sitio.

**8.-**Implementación de anclajes resistentes y flexibles: la utilización de piezas móviles y ensamblables le da mas flexibilidad a un módulo arquitectónico; al tener más movilidad se puede transportar a sitios diferentes con diferentes relieves, también le da la oportunidad de cambiar su estancia y acoplarla, ya sea la necesidad del usuario para protegerse de una catástrofe natural; por su cimiento fácil de mover, se crea un módulo autóctono que tiene la capacidad de anclarse a cualquier sitio.

Todo esto demanda a la creación de un sistema que tenga una fácil adaptación al contexto y un crecimiento coherente que no agreda al entorno, esto recae en un sistema estructural y espacial a través de una traza modular flexible y estandarizada, en donde se pueda resolver el problema del espacio en lugares de climas agresivos, de manera sucesiva; para lograr esta solución, se debe tratar de nivelar el balance en las zonas, mejorar o activar la imagen de la zona creando diseños alternativos versátiles, y utilizando tecnologías con materiales de última generación, con esto mejoran las expectativas espaciales habitacionales del lugar.

La creación de un lugar transformable y cambiante que sea de acuerdo a sus necesidades y las expectativas que tenga que cumplir; tal vez su sistema estructural será más flexible para lograr un lugar que aparte de activo-cambiante, sea un lugar de interacción con el usuario en los espacios como en sus propios aditamentos que lo conformen.

Se busca despertar los sentidos de protección, identidad y respeto hacia el lugar creando en éste un sistema de redes y ritmos espaciales que den oportunidades de crecer, donde la comunidad se sienta identificada al ver este lugar como un recinto de personas emprendedoras, que llegue a ser un nicho de oportunidades de descanso, creando con esto un microcosmos unitario, para una mejor calidad de vida.

Todas estas soluciones demandadas, tienen un límite; para poder definir con mayor exactitud y claridad y no desviarse del cometido, descomponemos la investigación en dos escalas: la urbana y la arquitectónica, las cuales nos marcan puntos más específicos.

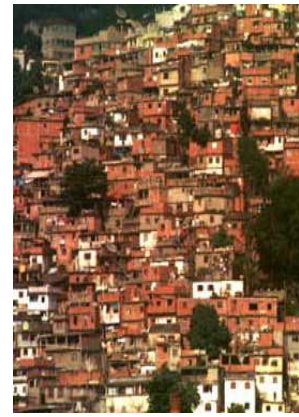


**IZQUIERDA y ABAJO:** Esquema ortogonal que plantea un sistema de ritmos y, redes por medio de capsulas habitacionales adosadas a una estructura vertical.



**DERECHA:** Este tipo de orden no es el adecuado para una ciudad con problemas climáticos y de espacios, ya que crea estancamientos de crecimientos de habitats.

**ABAJO:** La ciudad con una imagen pausada y con mejores composiciones, se integra más al contexto y al ambiente.



## Urbana

Creando un lugar integrado al contexto, podemos mejorar la imagen urbana de la zona y de la ciudad, esto lleva a tener pautas rítmicas y nodos vivenciales que ayuden a romper la monotonía del lugar, ya sea de parte de las zonas urbanas o suburbanas; esto traerá como consecuencia una plusvalía integral

## Arquitectónica

Esforzarse en mantener un mayor nivel de diseño e innovación, consecuentemente se desea que estos espacios posean una verdadera versatilidad. Tratar de diseñar no solamente una estructura, sino también un sistema espacial rítmico que le de más comodidad al usuario para transformar su entorno naturalmente.

Prestar gran atención al material y a los detalles climáticos del lugar, de modo que pueda ser mas apto y seguro para el usuario, para esto hay que aclarar y hacer una distinción en primer lugar de las partes de una ciudad y cuáles podrían ser las posibles controversias dentro de ésta.

Declarar la importancia también para algunos puntos que se deben tomar en cuenta y así lograr mejores resultados en todos los aspectos.

Dentro de la ciudad actual, su desarrollo se incrementa por crecimiento social (migraciones) y por crecimiento natural (muertes y nacimientos), éstas forman grupos sociales que influyen en la sociedad, son también el origen de vida en la ciudad, ya que se generan empleos, redes de comunicación, etc, en cuanto a su desarrollo, no se han generado correctamente habitats adecuados, ya que han exagerado la monotonía del espacio arquitectónico que ha llegado al grado de romper la imagen urbana; la falta de parámetros de crecimiento en esos espacios vivenciales y de cobijo, son un factor que influye en las transformaciones mal hechas, esta consecuencia se produce por la falta de planeación y la pereza mental de sus diseñadores, por ello el hábitat del usuario tiene que tener una caducidad limitada, sin embargo, en la actualidad el habitante está sometido a constantes cambios los cuales hacen que se provoque una transformación constante en el espacio que habitan.

Esto ocasiona un desorden urbano por las malas remodelaciones o crecimientos desmedidos sin una buena planeación; este problema genera un desorden visual y caótico, pero con la elaboración de un sistema rítmico estructural, creará un desarrollo sucesivo de orden en los espacios, lo cual se concibe a través de redes espaciales muy diferente a las convencionales.



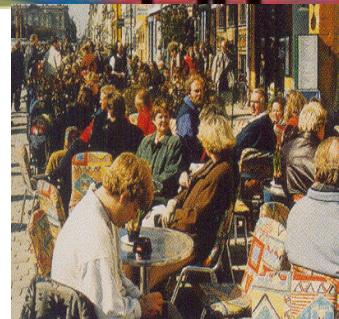
#### IZQUIERDA Y ABAJO:

La emigración del campo a la ciudad genera desarrollo pero de formas muy agresivas, provocando caos y desorden dentro de la ciudad, limitándolas, a crecer.



**ARRIBA:** Un sistema flexible provocaría una mayor adaptabilidad dentro de los espacios.

**DERECHA:** En consecuencia, en los lugares flexibles se producen zonas de convivencia social que ayudan a la comunidad a interactuar.



Posteriormente tendrían como consecuencia la flexibilidad estructural que generaría versatilidad en los espacios, este se adaptaría mas rápido a su contexto por la articulación de sus espacios al terreno, para crear una validez adecuada en estos lugares de convivencia y de cobijo, se implementan alternativas de modulación espacial, provocando un nodo de encuentro inter-social, en donde todas las familias se reunirían a conversar y a divertirse colectivamente, dejando un escenario con una mejor calidad de vida dentro de estas áreas, interactuando con la naturaleza sin provocar un desequilibrio ecológico por un mal uso de los recursos del lugar.

Por su finalidad, estos espacios habitacionales casi siempre están sujetos a una sola función y por lo regular no se diseñan para abordar otro tipo de función, la red estructural no solamente puede ser para módulo de cobijo, sino también puede ser para oficinas portátiles o edificios de oficinas; este modo cambiante de funciones se puede hacer en los módulos, esto dejará una pauta alternativa de construcción, de modo de vivir, ya que su espacio tendrá mejor versatilidad, creando una mejor calidad de vida para los habitantes.



# Capitulo 2



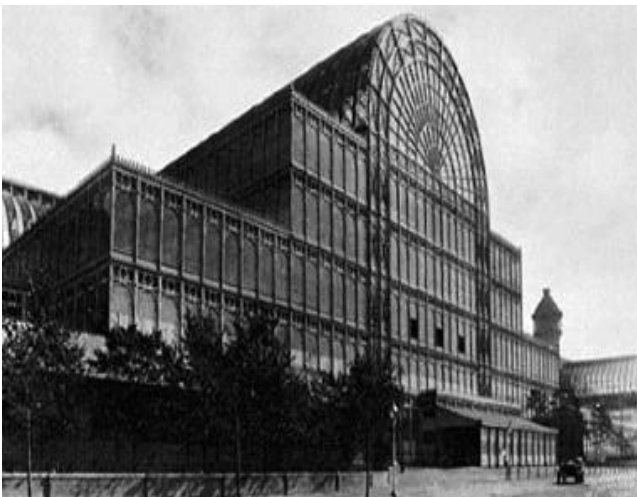
## EVOLUCIÓN DE SISTEMAS INDUSTRIALES.

Desde la antigüedad, los materiales han marcado un papel muy importante en la construcción de edificios arquitectónicos.

Es por eso que las grandes obras se basan en los materiales empleados, ya que el objetivo principal era diseñar un edificio más resistente, con un sistema estructural esbelto y estético, esto genera parámetros de diseño que tratarán de justificar la implementación de un sistema tecnológico en un edificio con estructuras flexibles que tengan espacios versátiles fáciles de adaptarse a un contexto, este será el principal objetivo de una búsqueda analítica en la historia.

Anteriormente las construcciones eran enormes masas de piedra; posteriormente se buscó la manera de evolucionar el estilo de vida de las personas y crear medios más económicos, esto implica crear edificaciones más grandes pero con menos material; y para finales del siglo XVIII, aproximadamente en el año 1970, hace su aparición el **hierro**. Este material tan versátil con mucha resistencia y la ventaja de ser ligero, vino a revolucionar la industria de la construcción.

Unos años después de darse a conocer el hierro, varios arquitectos diseñaron grandes edificaciones, esto dejaba una clara noción de que el hierro era muy fácil de utilizar en construcciones grandes y complejas; cabe decir que estas estructuras de hierro eran muy costosas y pesadas, solamente mantener su uso era de un costo excesivo; sin duda el lugar en donde se dieron a conocer estas primeras obras y que llamó especialmente la atención, fueron las **exposiciones universales** a mediados del siglo XIX, ya que el solvente económico era grande.

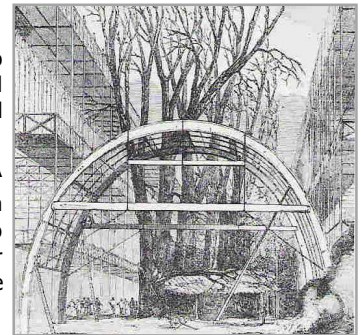


### ARRIBA Y DERECHA:

Se pueden apreciar el arco de la que se utilizó en el centro de la exposición del Palacio de Cristal.

### ABAJO A LA

**IZQUIERDA:** Imagen del Palacio de Cristal visto desde fuera; se puede ver la enorme estructura que lo conforma.



La obra más conocida de ese tiempo a la fecha, construida como recinto de la primera exposición universal, es el Palacio de Cristal de Joseph Pastón en 1851.

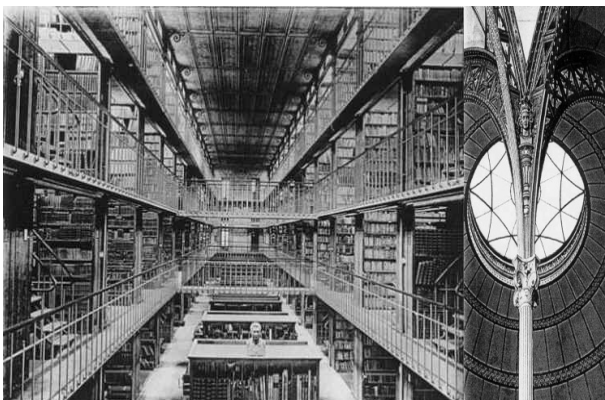
La edificación consiste en una gran nave de 555,30 m de largo [1851 pies, simbolizando la fecha de la Exposición] por 137.16 de ancho, cubierta de forma escalonada a distintas alturas y cruzada por una bóveda de cañón de mayor altura. La estructura principal consistía en unas piezas de madera serradas a máquina, formando arcos de 7,3 metros de claro, con ménsulas de hierro fundido y un tirante de hierro forjado. Sobre esta estructura se levantaba la cubierta, en la que las aguas se dirigían a unas bajantes situadas dentro de las columnas huecas de hierro.

La retícula exterior de perfiles de hierro fundido, hierro forjado y madera, se montó con elementos prefabricados coordinados. Mediante unas persianas horizontales de acero, accionadas mecánicamente, se regulaba la circulación del aire. En el acristalamiento de la cubierta y de la parte superior de los muros, se utilizaron por vez primera grandes láminas de vidrio, de más de 1,2 metros de altura y de 25 cm de anchura, lo cual en conjunto le daba su forma.

Unos años después un nuevo diseño se presentó en la exposición mundial en Francia con la Galería de Máquinas del Arq. C. L. F. Dutert, en 1889; esta galería se fabricó para mostrar la supremacía industrial y artística que podía poseer Francia.

Esta edificación quería desafiar la elasticidad de la estructura, ya que sus dimensiones eran enormes y robustas; en cuanto a su forma, era amplia como un puente, esto porque no contaba con medios apoyos. Con este fin, evolucionó un sistema de confección, ingenioso en su simplicidad, que apenas necesita apoyos laterales para absorber la enorme carga de la cúpula. Estos descansaban en bases de concreto que hizo posible que la cubrieran los 11 metros de la galería, que daba la apariencia de ser una construcción flotante.

Los elegantes arcos curvos se colocaron de modo que cualquier cambio en la estructura causado por las variaciones de temperatura, fue considerado por espacios con crestas constituidas por piezas de 43 metros por encima del piso de la sala. Las 20 vigas principales fueron unidas por vigas secundarias; de esta manera se logró una longitud total de 423 metros.



**ARRIBA:** Imagen exterior de la Galería de Máquinas de la primer exposición mundial en Francia.

**ABAJO A LA IZQUIERDA:** En la primer imagen, el interior de la Biblioteca de Sainte-Genevieve, en la segunda imagen la Biblioteca Nacional, hechas por el Arq. Henry Labrouste.

Unos años antes aparece la arquitectura **neoclásica estructural**. Se inspiró en las formas grecorromanas más que en el resurgimiento de las formas antiguas; el neoclasicismo relaciona hechos del pasado con los acontecidos en su propio tiempo, esta arquitectura evolucionó en respuesta a grandes cambios que tuvieron en la sociedad, originando una nueva formación cultural. Uno de los principales arquitectos que aplicaban esta tendencia, era el Arq. Henry Labrouste; su principal obra fue "La Biblioteca de Sainte-Genevieve", en 1843; la edificación consiste en muros perimetrales de libros que encierran un espacio rectilíneo, la estructura hecha de hierro fundido soportaba una techumbre en forma de bóveda, está colocada en el centro con una serie de columnas para soportar la unión de las grandes bóvedas; las columnas esbeltas le dan la ligereza al edificio, la estructura prefabricada se concibió para facilitar el montaje de este espacio arquitectónico.

Otra obra sobresaliente fue la Biblioteca Nacional del mismo arquitecto, hecha en 1860-1868, La edificación tiene dos naves, una de lectura y otra de depósito, en donde la primera nave de lectura formada por unas finas columnas de fundición de nueve metros de altura y soporta una vidriera. Las cúpulas, en forma de cáscara de huevo, contribuyen a dar sensación de ligereza al conjunto. La cumbre metálica tiene una cubierta de cristal en donde deja pasar la luz natural de sol. Junto a esta sala se hizo un espectacular depósito, su estructura era apoyada por 16 columnas dispersas simétricamente para soportar la techumbre de hierro.



La aparición de los nuevos materiales dio paso a que los ingenieros aprovecharan la flexibilidad de las nuevas tecnologías logradas hasta ese momento. **La eficiencia del hierro en la geometría** se adjuntó para optimizar las estructuras en el espacio; uno de los ingenieros pioneros en aplicar geometrías complejas en la estructura, fue Vladimir Shukjhov con sus estructuras hiperbólicas en donde se notó la máxima capacidad que puede alcanzar la flexibilidad del hierro,

Dirigió su atención al desarrollo de una eficiente geometría estructural para la construcción de varias torres de radio, en las cuales aplicó la misma superficie hiperbólica a todas; una de las más famosas es la torre de Shukjhov que está situada en el sur de Moscú, de ahí que también se la conozca como torre Shabolovka; es una torre de retransmisión de radio y televisión diseñada por V. Shukjhov entre 1919-1922; estructura hiperbólica en acero con 160 metros de altura. Reconocida como uno de los más hermosos y prominentes logros de la ingeniería internacional, en especial por su entramado metálico en la forma de una cavidad hiperbólica única.

Esta estructura de acero abierto combina fuerza con luminosidad, por tanto es muy liviana (usó 3 veces menos metal por unidad de altura que la Torre Eiffel) y experimenta un mínimo efecto por el viento. Está montada en una base de concreto de 40 metros de diámetro y 3 de profundidad. Fue construida por método telescópico, sin andamios ni elevadores: cada segmento era ensamblado dentro del inferior y por medios de poleas eran subidos uno a uno.



**ARRIBA:** Se puede apreciar la torre de hierro hiperbólica, la cual utiliza un menor porcentaje de material.

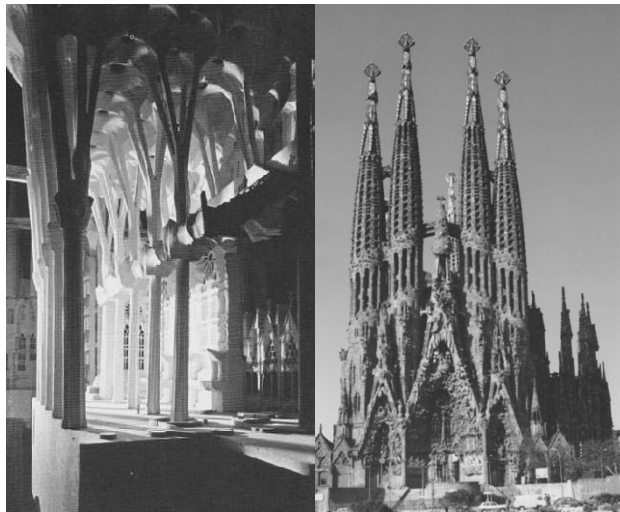
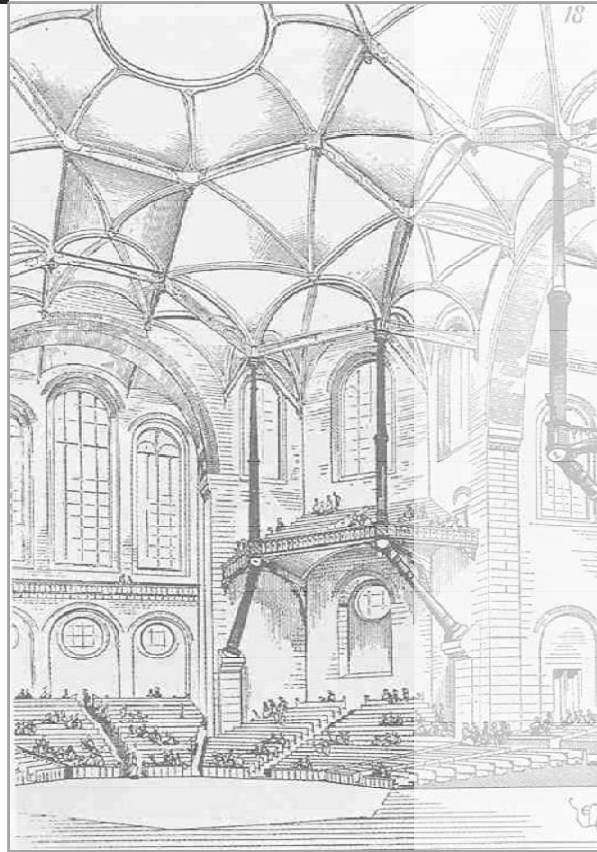
**ABAJO A LA IZQUIERDA:** Shukjhov, la fábrica de tiendas Vyksunskogo, Shuhovym en Rusia, en 1898; la fábrica fue diseñada por vigas curvas en las cuales se alcanzó una envergadura más grande en el espacio.

Entre lo más interesante que diseño, fue la fábrica de tiendas Vyksunskogo, Shuhovym en Rusia, en 1898. Por primera vez en el mundo la práctica de construcciones demuestra la posibilidad de vincular dimensiones rectangulares para cubrir la doble curvatura con continuos elementos básicos; la construcción de esta fabrica fue hecha con vigas súper-posicionadas la cual ahorró metal hasta un 30%. Estaban colocadas en una red de alambre de metal con doble curvatura sobre la base de arcos.

La construcción interior cónico-rectangular alargada es generada por cinco grandes arcos de cáscara, ayuda al espacio a no tener columnas intermedias, las fachadas Laterales crean una sensación de mayor capacidad de las instalaciones. La totalidad de la carga se transfiere a los arcos de bisagra a cada 15 metros de separación, unida por vigas secundarias en forma curva; esto crea un marco duro, el cual recibe el techo ligero hecho de láminas delgadas, hasta el momento se trataba de un nuevo edificio industrial, alto, brillante, con una figura nunca antes vista.

Después del descubrimiento del hierro y el concreto armado, otra tendencia utilizó estas técnicas de armaduras para aplicar estructuras modulares, corriente que se llamó **racionalismo estructural**, pero se tendió más al concreto armado. La definición del racionalismo consiste en aprovechar al máximo las áreas de un espacio arquitectónico que lo hace más sencillo; sus cualidades estructurales son la simpleza de la estructura y el maximizar el espacio con una abstracción geométrica que sirva a las necesidades del edificio.

Esta tendencia se originó con Eugene Viollet-Le-Duc; escribió el diccionario de la arquitectura que presentó por primera vez en La Ecole des Beaux-Arts, Francia, en 1853, donde describía una arquitectura racional, en donde fue influenciado por las innovaciones y materiales de la época, en donde trata de aplicar las nuevas tecnologías en edificios. En esa época el hierro forjado aparecía como un material precioso que permitía perfeccionar el equilibrio alcanzado por los maestros medievales, pero para ello consideraba indispensable la "sinceridad" en su uso, es decir el reconocimiento de su verdadera capacidad funcional y la aplicación justa de sus posibilidades; sólo así podría descubrirse una nueva arquitectura.



**ARRIBA A LA DERECHA:** Imagen de refuerzo constructivo del diccionario de arquitectura de Viollet-Le-Duc.

**ABAJO:** Vista interior y exterior de la iglesia de la sagrada familia, se observan sus formas orgánicas, en toda la estructura.

El arquitecto que siguió con este principio racional fue Antonio Gaudí, pero él combinaba las formas orgánicas de la naturaleza; toda su vida estudió el crecimiento natural de los organismos y cómo se adaptaban a su ambiente, y en su etapa de madurez logra una unidad en su concepción plástica: decoración y estructura, sometidas a una sola ley común.

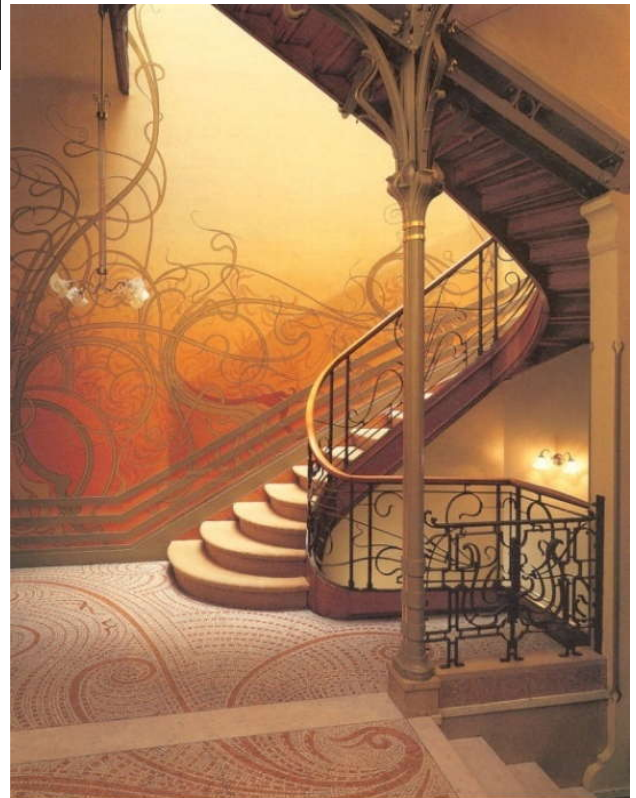
La síntesis de todos sus estudios se dio en La Iglesia de la Sagrada Familia, 1915-1926, cuya nave central se sostiene sobre estructuras arborescentes, inspiradas en un parangón entre puntales y árboles, y capiteles y hojas. Sus columnas adoptan la apariencia de un hiperboloide, logrando formas equilibradas muy semejantes a las exhibidas por el medio natural y sus diversos componentes.

Este método de réplicas naturales, se conoce como Naturalismo. Esta tendencia está presente en casi todas las construcciones del arquitecto catalán, en hechuras que imitan la conformación de células, flores, capullos, pasto, ramificaciones vegetales, laderas montañosas y hasta cuevas. "Me inspiro en la naturaleza, el gran libro que siempre hay que leer", dijo el destacado creador.

Para finales del siglo XIX encontramos un movimiento que también utilizó el hierro en la arquitectura y en el arte de la decoración orgánica, a este movimiento se le conoció como el **Art Nouveau**.

La primera aplicación se dio en la casa de Tassel realizada en Bruselas, en 1892, del Arq. Victor Horta; lo más sobresaliente era el uso del hierro y la manipulación del material para dar apariencia orgánica dentro de la vivienda, este elemento prefabricado se utilizó por primera vez en esta residencia, la casa ofrece un inagotable surtido de formas bidimensionales, resultado de un estudio minucioso de plantas y flores; suelos, paredes y techos se cubren de "líneas látigo", también llamadas "líneas Horta", serpentean, se entrelazan, ondean y ascienden por los montantes del acristalamiento, rodean las patas de los muebles y retornan sobre sí; su presencia a veces excesiva, desborda todos los requisitos de la construcción.

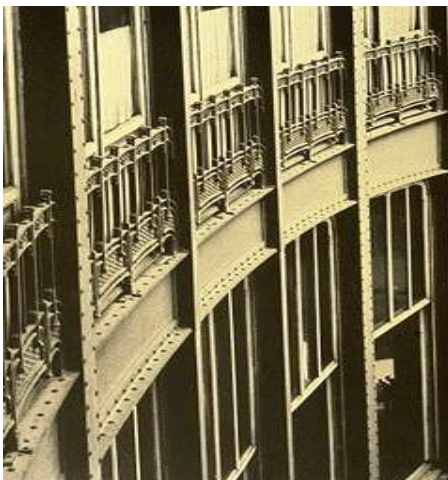
Pero la obra mas destacada fue la Maison Du Pouple, del Arq. Víctor Horta construida en 1897. Este edificio está constituido de estructuras de hierro y amplias cristalerías en el que sólo los escasos tramos de piedra gris y ladrillo posibilitan un diálogo de la casa con los edificios que comparten su entorno (ubicado en una plaza en el terreno que enmarcan dos estrechas calles). Las vigas estructurales se repiten en el interior con una perfecta resolución de las articulaciones. Los materiales se entregan unos a otros sin dificultad lo que hace que todo ello, a su vez, tenga una valoración decorativa; unificando toda la estructura exterior con la decoración que daba una sensación volumétrica.



**ARRIBA Y DERECHA:**

Vista interior y exterior de la Casa de Tassel, del Arq. Víctor Horta, la primera construcción de hierro en una residencia.

**ABAJO:** La Maison du Pouple, de Horta, utiliza el hierro en la mayoría de la construcción como uso estético.



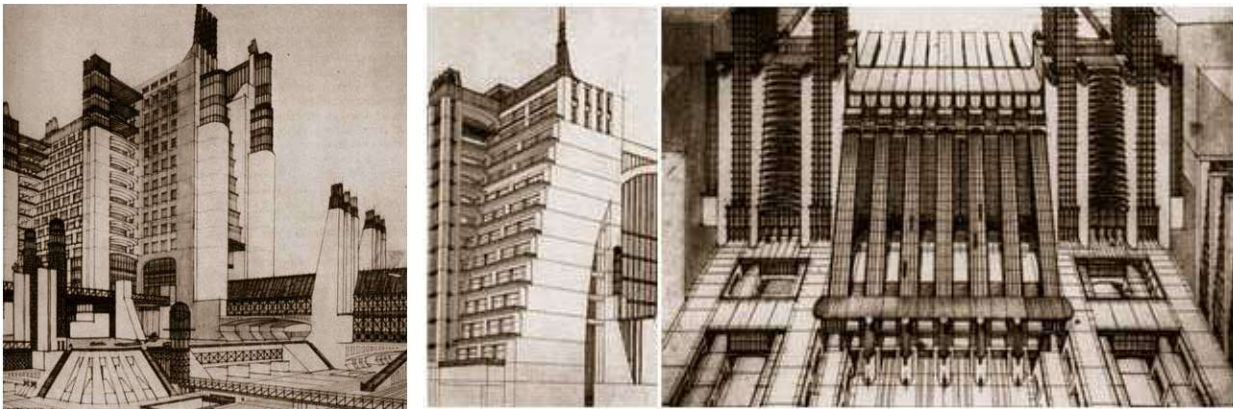
En Francia, el Arq. Hector Guimard definió la línea de conocimientos del Art Nouveau, es también un precursor de la estandarización industrial, en la medida en que desea difundir el nuevo arte a gran escala.

Una de sus obras que aplica esta industrialización decorativa es en las entradas del Metro, poniéndola en práctica en 1899; con la construcción en serie del Metro de París, estas entradas y salidas de Metro construidas a base de hierro fundido estaban diseñadas con molduras de elementos naturales, las entradas de las estaciones del metro parecían ramas que salían de la tierra, se fusionaban con la imagen de la ciudad, e incluso la tipografía y la iluminación de las entradas, estaban diseñadas de tal forma que resaltaba la naturaleza y no un objeto inerte.



**ARRIBA:** Vista exterior de la entrada del Metro en París.

**ABAJO:** Vista exterior del dibujo de la ciudad utópica de Casa de Gradinate para la Citta Nuova.



Después de todos los avances tecnológicos de la revolución industrial, un grupo llamado los **arquitectos futuristas** aparece a principios del siglo XX, con una visión diferente de la arquitectura, se justificaban con los adelantos tecnológicos de concreto armado y del hierro fundido; el futurismo es la aplicación de los adelantos tecnológicos a la arquitectura, formando un nuevo cuadro de la modernidad en la ciudad. El futurismo en principio era un medio de expresión que limitado por las tendencias que se desenvolvían a su alrededor.

Uno de los principales exponentes de esta tendencia fue el Arq. Antonio Sant'Elia, dibujó el cuadro de "La Casa de Gradinate" para Citta Nuova, dibujo que mostraba cómo debería de ser el escenario diario de la ciudad y cómo sería y cómo se puede crear una ciudad que asumiera las nuevas tipologías de la construcción. Era una ciudad pensada para grandes aglomeraciones de gente, y realizada con materiales que permitiesen ser sustituidos sin problemas. El dinamismo radica en la arquitectura efímera y el movimiento de la ciudad, con distintas vías de circulación. Es en ese dinamismo donde los futuristas encuentran la belleza y el lirismo de la ciudad.

Posteriormente, otra corriente que aplica la arquitectura del hierro con una expresión escultórica es el **constructivismo ruso**. Apareció en 1920, en la Unión Soviética, y provocó un movimiento cultural como consecuencia de la revolución interna del país, acción que provocó que la nación cambiara de régimen monárquico a socialista y tratara de resolver los problemas ocasionados durante la guerra civil; el presidente de esta época fue Lenin, que se dio a la tarea de fundar escuelas que se dedicaran al arte y oficios que eran indispensables para la reconstrucción del país.

Dentro de la etapa de compromiso social con el país, surgieron grandes exponentes en donde el arte reflejaba la vida social de la ciudad, uno de los artistas con esta influencia fue Vladimir Tatlin, que en 1920, diseñó una torre alta de hierro, vidrio y acero que ha empujado a la Torre Eiffel en París (el Monumento a la Tercera feria Internacional era un taller en 400 metros de altura). En el interior del hierro y del acero de la estructura de doble espiral, el diseño prevé la construcción de tres bloques, cubierta con ventanas de cristal, que giran a velocidades diferentes (el primero de ellos, un cubo, una vez al año; el segundo, una pirámide, una vez un mes; el tercero, un cilindro, una vez al día).



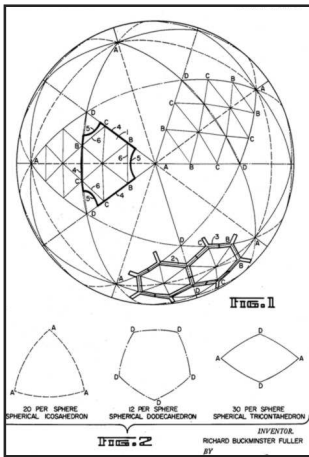
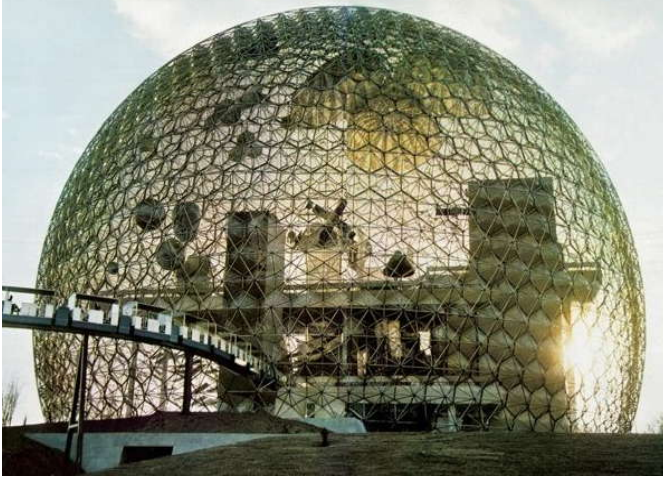
**ARRIBA A LA DERECHA:** Maqueta de la torre de hierro de Tatlin en la exposición mundial de 1920.

**ARRIBA:** Vista exterior de la casa Dymaxion, una de las primeras obras de R. B. Fuller.



Ya entrando en el siglo XX, aplica la arquitectura ensamblable, en respuesta a una sociedad de crecimiento rápido. Dio paso a generar nuevas aleaciones y materiales, la aparición de la estructura de acero como forma en las construcciones grandes y esbeltas, le dan más flexibilidad a los espacios; este material se aplicó más en la **Tecnología Norteamericana**.

Uno de las primeras obras fue realizada por R. B. Fuller, con una vivienda muy diferente a la convencional, llamada "Dymaxion", diseñada en 1927 y realizada en 1930, este diseño era una casa aislada que contaba con una estructura ligera de acero; la propiedad más importante de esta casa era la facilidad de montar y desmontar la estructura, construida con metales ligeros y plásticos. Tiene un núcleo de aparatos mecánicos y servicios (instalaciones de baños y cocina) con una gigantesca cúpula, busca dar libertad dentro del espacio; esta casa en forma de paraguas no tuvo mucho éxito ya que los muebles estándares eran ortogonales y no podían distribuirse de manera natural dentro de este modelo, pero con esto Fuller intentó expresar que la vivienda debería de ser fácil de construir.



**ARRIBA:** Vista exterior de la Cúpula Geodésica del pabellón de USA en Montreal 67.

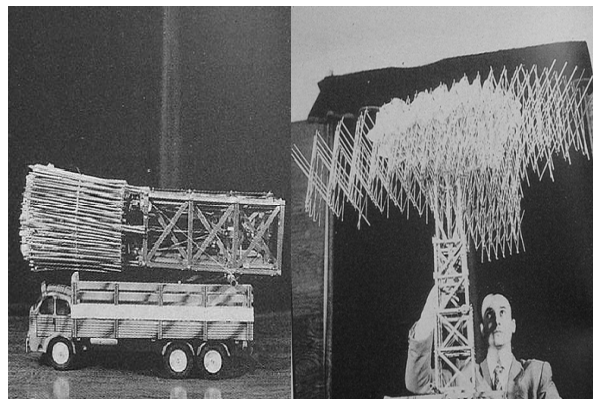
**IZQUIERDA:** Esquema geométrico de cúpula tetraédrica de Fuller.

Dentro de este mismo ámbito de descubrimiento de sistemas estructurales a través de la geometría aparece Emilio Pérez Piñero quien desde la licenciatura mostro dotes de genialidad con la estructura transportable, en 1961. Su oportunidad se presentó al mostrar sus habilidades en el VI congreso de la unión internacional de arquitectos celebrado en Londres. Allí los alumnos debían presentar un proyecto de "teatro ambulante".

Mientras estudiaba el proyecto, Emilio llegó a la conclusión de que la clave del teatro ambulante era fijar los elementos estructurales de montaje y desmontaje rápido y económico, su solución fue novedosa y se basaba en una estructura que no hubiera que descomponer en piezas para su transporte, resolviendo el problema geométrico de articulación de barras, de forma que todas giraran y se adaptaran sin obstaculizar unas a otras, esto lo demostró mediante la construcción de maquetas; llegó a diseñar una estructura reticular que podía plegarse y desplegarse

Las exposiciones y congresos mundiales ayudan a mostrar la innovación de los sistemas estructurales, también demuestran los avances constructivos en la arquitectura e ingeniería, estos desarrollos dan paso a brindar visiones futurísticas con los nuevos métodos estructurales y muestran el progreso de la industrial en los edificios. Uno de los principales personajes que brindaron muchas demostraciones tecnológicas fue R. B. Fuller, su investigación se inclino a la geometría esférica proponiendo formar una geometría reticular flexible en donde podía alcanzar grandes espacios, su observación en la célula de carbono le condujo a plasmar las formas tetraédricas en una escala mayor.

La propuesta más relevante de la vida de Fuller, se observó en la exposición mundial de 1967, en Montreal, donde construye una gran cúpula geodésica que encierra todo el pabellón norteamericano, el principio de diseño se basa en la utilización de módulos estandarizados de acero entrelazados con formas tetraédricas, generando una geometría geodésica; la estructura está compuesta por dos esferas superpuestas, hecha a base de secciones hexagonales cubiertas con paneles de acrílico transparente y otras cuantas de acrílico opaco, en donde Fuller imaginó a estos últimos como un dispositivo de paneles móviles que se desplazaban sobre la fachada interior del domo, accionados por motores de energía solar y siguiendo el curso del sol, lo cual hacía que la configuración de la piel de la estructura cambiara.



**ARRIBA:** Imagen de la maqueta de teatro ambulante de Emilio Pérez Piñero.



**ARRIBA:** Vista exterior del pabellón de Alemania en Montreal 67.

**ABAJO A LA DERECHA:** Imágenes de la Ciudad Caminante de Ron Herron.

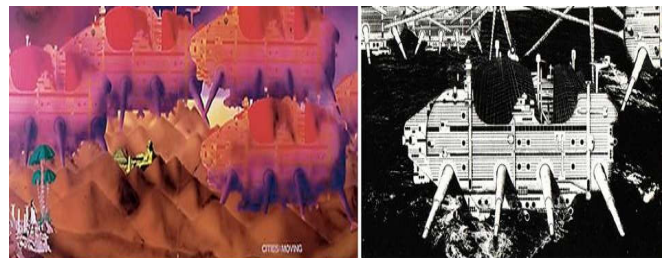
Ya entrando a la década de los 60' encontramos un grupo de arquitectos en Inglaterra con muchas nuevas ideas e influenciados por Buckminster Fuller, a este grupo se le llamó **Archigram**. Sus objetivos eran la alta tecnología utilizando siempre mega estructuras; tenían como meta la ciudad futurista, ésta relacionado con la optimización de espacios, y la flexibilidad en estos proyectos se presenta como la vivienda prefabricada como un posible modo de vida.

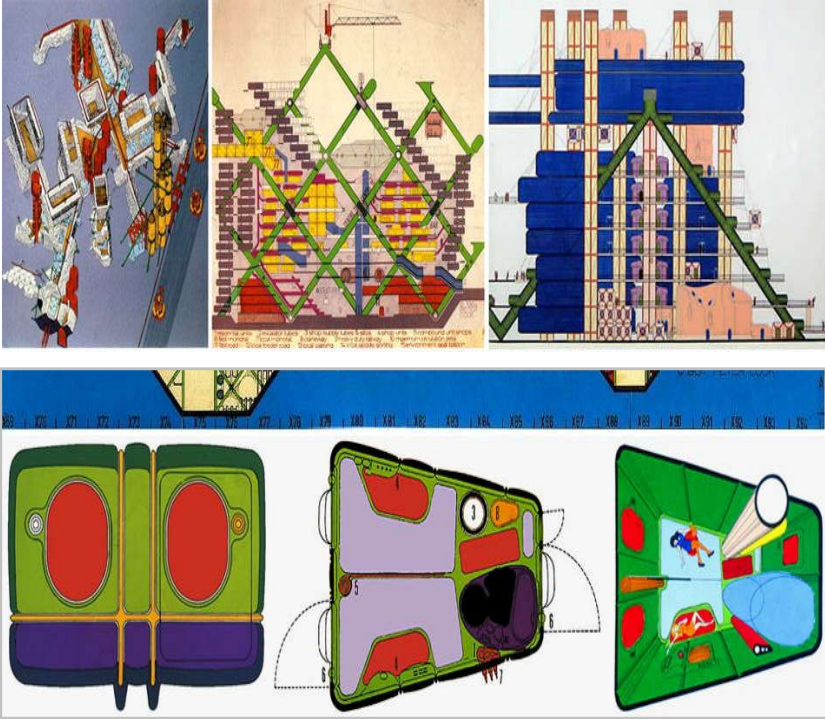
A nuestra manera de ver, el proyecto más impresionante es la Ciudad Caminante (Walking City) de Ron Herron en 1963. Como su nombre lo dice, trata de una ciudad que puede andar de un lugar a otro utilizando máquinas para poder mover sus enormes patas telescópicas, esto aplicaba un sistema de plegado hidráulico reducible a cuatro tercios de su volumen; y podía ser desplegado al tamaño total para la estancia temporal en cualquier parte.

La vivienda que se diseña para esta ciudad caminante, es una cápsula con un diseño inspirado en la tecnología espacial y concebida como una célula autosuficiente y transportable.

Otra incursión en el área de descubrimientos tecnológicos en la arquitectura fue la de Frei Otto; su investigación se fundamenta en geometrías traccionadas, descubrió que las formas naturales tienen pieles livianas, estos modelos hechos con cristales de jabón, generan formas geométricas que utilizan eficientemente el mínimo de espesor para equilibrar su cuerpo, fue entonces que comprendió que estas formas podrían ofrecer una tracción perfecta a las estructuras.

El estudio de las membranas tiene como base una estructura liviana y flexible, éstas podrían cubrir grandes claros, la disposición estructural podía hacer el espacio multifuncional y móvil, dada su flexibilidad su tendencia a cambiar de forma requiere un mecanismo de estabilización en la medida que se modifican las cargas, esto se basa en la forma del mecanismo del mástil. Su trabajo se materializó en la exposición mundial de Montreal, Canadá en 1967. Construyó un pabellón que estaba formado por mástiles, cables y telas, elaborado bajo un concepto de translucidez y suspensión, el principio de diseño tenía un estudio de las tenso-estructuras muy bien tratado en sus uniones, su flexibilidad en los espacios internos se resuelve con tarimas modulares que se adaptan a la planta arquitectónica.





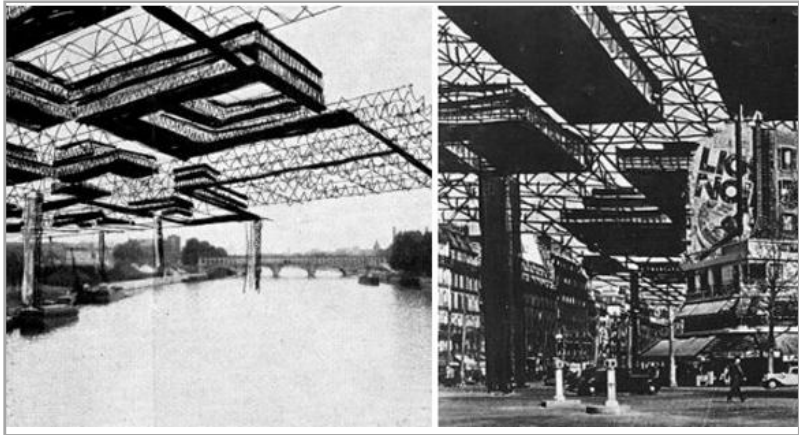
Al año siguiente Peter Cook diseña la Ciudad Enchufable (Plug-in City), basada en megatorres estructurales, en las cuales había la posibilidad de disponer de un mundo intercambiable.

Se diseñaron células habitables que podían ser transportables y enchufables a las mega torres. Según Peter Cook esto estaría relacionado con un modo de vida basado en el constante movimiento de las

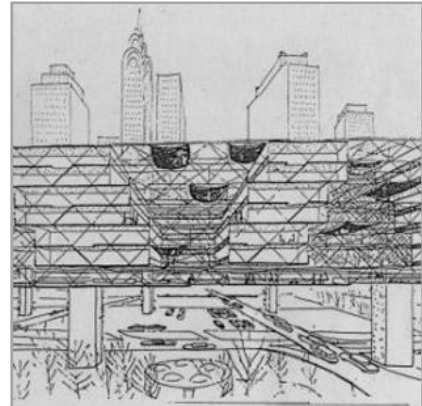
**IZQUIERDA:** Imágenes de la Ciudad Enchufable, de Peter Cook.

Otro idealista del concepto de mega estructura fue Yona Frideman con su dibujo "Urbanisme Spatial" 1961; su proyecto se desarrolló por medio del uso de la estereo-estructura que rigidiza toda la armadura, él pretendía que los espacios de las armaduras se llenara de cápsulas de vivienda con estructuras flexibles, adaptables y móviles.

El planteamiento tenía como fin todo el descongestionamiento de la ciudad y la interacción personal de los usuarios, así como la movilidad de las partes de las mega-estructuras.



**ARRIBA A LA DERECHA:** Imágenes del dibujo del Urbanisme Spatial de Yona Frideman.







**ARRIBA:** Vista del exterior del Museo de Pompidou, del Arq. Piano y Rogers, primera mega estructura flexible hecho en base a conceptos de Archigram.

Siguiendo con esta visión futurista de Archigram, se crea en Japón un grupo llamado los **Metabolistas**. Sus conceptos eran la mega estructura, las formas orgánicas, y porque era una búsqueda de adaptación del hombre con la naturaleza, esta tendencia se consideró una de las principales topologías de mega estructuras en la historia de la arquitectura.

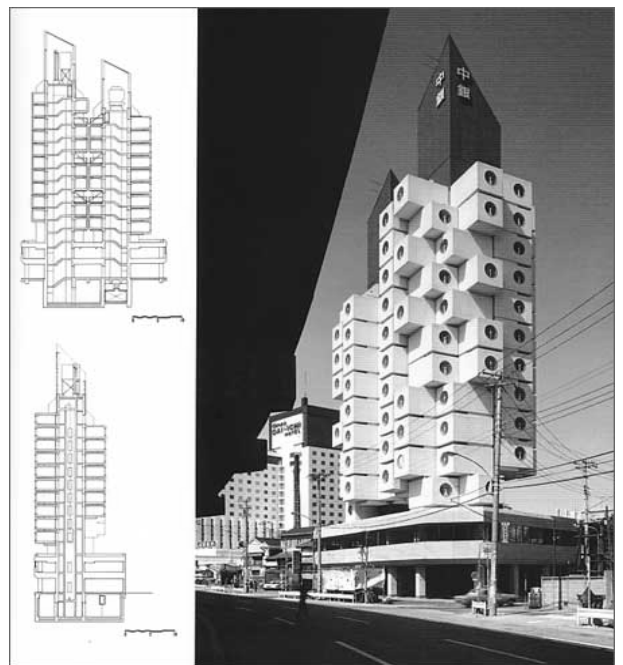
En 1971, se construye una obra que es un gran paso para la arquitectura, ya que es el primer edificio con cápsulas prefabricadas enchufables a una estructura; el ensamblaje de unidades de vivienda mínimas están conectadas a una mega-estructura con un soporte hecho en concreto, las unidades son reemplazables ya que se hallan unidas a la estructura principal en sólo 4 puntos. Cada unidad prefabricada mide 4 x 2.5 m y tiene una ventana circular, una cama empotrada y una unidad de baño, además de TV, radio y reloj alarma, estas piezas son flexibles, y están diseñadas para alojar a una persona, pero al conectarse entre sí pueden acomodar a una familia; en sus 14 pisos, la torre aloja 140 cabinas.

Antes de culminar con las utopías, es importante resaltar que fue en los años 70', cuando se logró por parte de Archigram edificar su obra cumbre, ya que es la primera que realizan y se trata del Centro Pompidou de París en 1977, diseñado por los arquitectos Richard Rogers y Renzo Piano.

El edificio estaba contemplado como un contenedor que permitiera una alta flexibilidad en su uso y operación, simultáneamente con ser una máquina de comunicación dinámica; los arquitectos imaginaron un centro que no sólo fuese atractivo para el especialista, sino también para el turista y para el habitante común de la ciudad, entregándoles un lugar de encuentro verdaderamente dinámico, en el que las actividades pudieran traslaparse dentro de espacios flexibles

así que el sistema estructural se basó en una superestructura de acero desmontable a la vista, con pisos de hormigón armado, los servicios se colocaron hacia el exterior donde dan el detalle y la escala a la fachada, mientras que el flujo se recoge mediante escaleras mecánicas y ascensores que también se ubican exteriormente, dejando el espacio libre de instalaciones.

**ABAJO:** Vista exterior de la Torre de Nagakin en Tokio, del Arq. Kurokawa, edificación hecha con principios metabólicos.





**ARRIBA:** Vista exterior de la Compañía Lloyds del Arq. Richard Rogers.

Para mostrar un ejemplo de esta arquitectura, qué mejor que uno de los primeros intérpretes de estas técnicas, el Arq. Richard Rogers, que diseña un edificio que a nuestro criterio es el que mejor representa este movimiento y es la sede de la Compañía Lloyds en Londres en el año 1979. La obra es una de las primeras apariciones de la arquitectura high tech, su principio es la implementación de tecnología al edificio, La flexibilidad fue un elemento clave en el diseño, ya que era necesario crear un espacio ininterrumpido para albergar las actividades, a partir de este concepto emerge la forma del edificio, alojando todos los elementos renovables al exterior, de manera que el mantenimiento y la reparación, se hiciera sin interrumpir el trabajo y dándole la jerarquía y escala a la fachada, esto crea una estructura muy legible y expresiva.

Otro exponente sobresaliente de esta tendencia es el Arq. Norman Foster, que diseña el Banco de Shanghai en Hong Kong, en el año de 1985, la edificación del banco fue uno de los primeros edificios para oficinas, que no depende de los ascensores para el tránsito vertical, los usuarios se desplazan en los diferentes niveles a través de escaleras mecánicas, la característica principal del diseño de Foster, es que el edificio no tiene estructura en el interior, sino que depende de un exoesqueleto perimetral, otro detalle importante es que la luz natural es la principal fuente de luz del interior del edificio; se colocaron un grupo de enormes espejos en la parte superior del atrio central, que reflejan la luz natural al interior del mismo.

Otro movimiento importante que se presentó a finales de los 70' en Inglaterra es el **High Tech**. Este movimiento tiene como principios la búsqueda de la modernidad en su máxima expresión en la arquitectura, puesto que se presenta tecnología avanzada en las edificaciones, se busca exagerar las partes estructurales de la construcción, fusiona la tecnología y la ciencia, y las expresa formalmente; otro punto muy importante que se maneja, es la colocación visible del material para que éste le de una expresión de arquitectura diferente y propia de vanguardia,

**ABAJO:** Vista exterior del Banco de Shanghai, del Arq. Norman Foster.





El segundo edificio es el **Museo de Ciencias Príncipe Felipe, terminado en el año 2000**, la edificación se configura como una gran cubierta soportada por una fachada vidriada y transparente al norte y por una fachada sur convenientemente opaca, ambas adaptadas a las particulares condiciones de la luz valenciana, su concepto espacial completamente innovador, está realizado por planos en sección.

La principal característica de esta obra arquitectónica son sus espacios abiertos y su gran cortina de cristal plegada, situada en la fachada norte, que inunda de luz al edificio y abre visualmente el espacio interior al paisaje urbano; la fachada sur, con su silueta dentada, funciona como un colchón sin juntas de dilatación, esto es, porque la estructura se dilata y se encoge con el calor como un acordeón, la fachada se articula sobre una compleja combinación de formas romboidales quebradas.

La estructura está compuesta en forma de nodos que tienen una gran complejidad geométrica; en la construcción, una de las piezas arquitectónicas que caracterizan al museo son los llamados árboles, denominados de este modo, por estar compuestos por un tronco principal que se ramifica en dos direcciones; tanto el tronco como sus ramas principales, son huecas y se han construido en concreto, el juego geométrico descrito por estas ondas acuáticas de 45 metros de longitud, son generadas por celosías de acero en forma de arco inclinado

Unos años después en la década de los 90', aparece el High Tech evolucionado en formas más orgánicas y adaptable al contexto, a esta arquitectura se le llamó **Arquitectura Biónica o de Bioforma**; su principal manera de expresión son las formas orgánicas y biónicas en las cuales surgen estructuras escultóricas naturales, creando una nueva manera de concebir la arquitectura de manera más natural.

Una de las obras más significativas de esta tendencia es el Museo de Ciencias y Artes de Valencia, diseñada por el Arq. Santiago Calatrava en 1992; el primer edificio que diseñó en el centro de las ciencias y las artes fue el Hemisférico (Planetario) terminado en 1998. La parcela donde se ubica la edificación ocupa una superficie de 200 x 1300m, es decir de unos 26.000m<sup>2</sup> está situada entre los edificios del museo de las ciencias y el palacio de las artes,

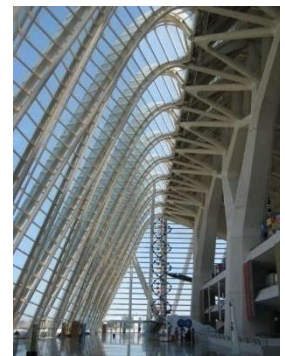
Está flanqueado por dos estanques rectangulares al norte y al sur respectivamente, en donde emerge de entre los estanques como un gran caparazón formado por una parte central fija (la cubierta opaca) con elementos laterales móviles, el diseño se compone de tres elementos: la cubierta, la esfera y la estructura móvil, en el interior de la cubierta se encuentra una gran esfera con una pantalla de 1200 m<sup>2</sup> utilizable como fondo de proyección al aire libre.



**ARRIBA A LA IZQUIERDA:**

Vista exterior del Hemisferio del museo de la ciencia.

**ABAJO Y DERECHA:** Vista exterior del edificio del Príncipe Felipe del museo de ciencia.





La última intervención que Calatrava hizo a la ciudad de las ciencias y las artes, fue el Palacio de las Artes Reina Sofía, terminado en 2002; el edificio destaca por su originalidad y rotunda forma, que vincula las artes a las ciencias, y que se presenta como una gran escultura de alto contenido simbólico: sus formas náuticas se desarrollan por figuras de las olas del mar e integran al edificio al contexto escultórico que tienen las otra edificaciones, es la innovadora arquitectura de este edificio de 37.000 metros cuadrados y una altura de más de 70 metros.

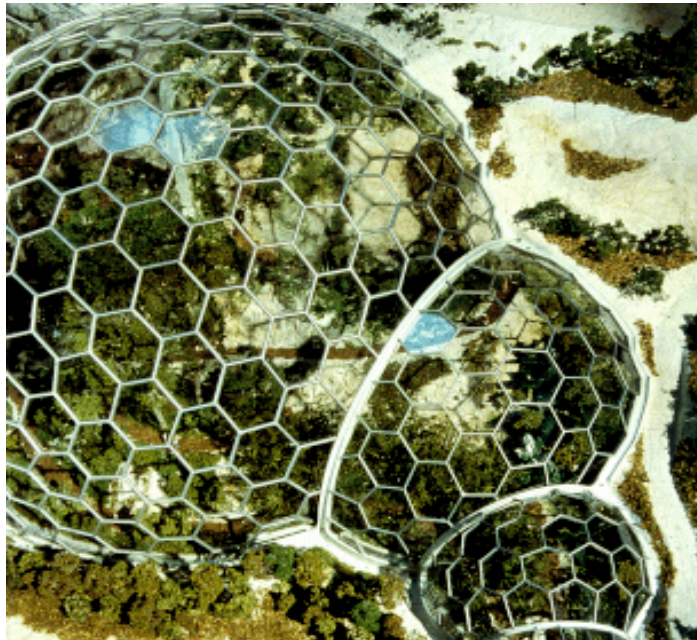


**ARRIBA E IZQUIERDA:**  
Vista exterior del Palacio de la Reyna Sofía del museo de ciencias.

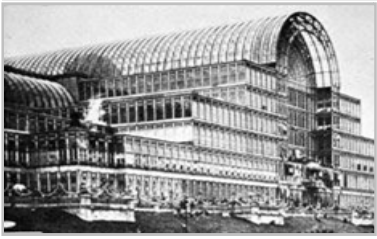
El contraste entre lo opaco de estas cáscaras de chapas de acero y lo transparente de los espacios acristalados del auditorio, producen sensaciones cambiantes de luz y sombra al recorrer el edificio, la forma global de la edificación se desarrolla bajo una gran cubierta o “pluma metálica”, soportada mediante un apoyo, hecha de concreto armado blanco y que forma de la gran cubierta estructural; está enchapada de acero blanco, mientras que la segunda cáscara puesta como envolvente del edificio, se fabricó para proteger la sala del auditorio.

Otro tipo de obra con la misma finalidad es el Proyecto Edén del Arq. Nicholas Grimshaw, hecha en 1996; su diseño tecnológico y estético tiene principios biomecánicos, estructura que se creó a base de formas celulares hexagonales, las cuales rigieron el diseño de las cúpulas geodésicas de la edificación, generando un gran organismo viviente en sus espacios interiores y exteriores, adaptando el esqueleto geométrico a una piel muy orgánica; hablando conceptualmente del diseño del proyecto edén, la estructura está constituida por bóvedas que tienen un tamaño variable que oscila de 37m a 124m de diámetro y alturas de 20 a 40m,

La estructura autoportante de acero de las ocho bóvedas son extremadamente ligera, si se tiene en cuenta su impresionante tamaño, el diseño de esta estructura de acero siguió un proceso de desarrollo en varias etapas, con objeto de obtener la máxima luminosidad posible.



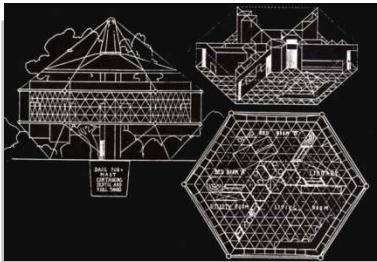
**ABAJO:** Vista exterior del Proyecto Edén, desarrollo orgánico y bioclimático



**Arq. Joseph Paxtón, 1851.**



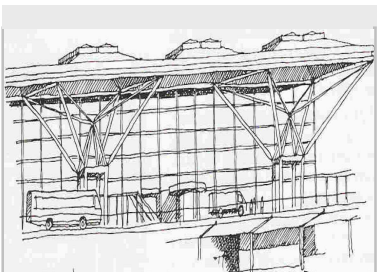
**Arq. Hector Guirmad, 1904.**



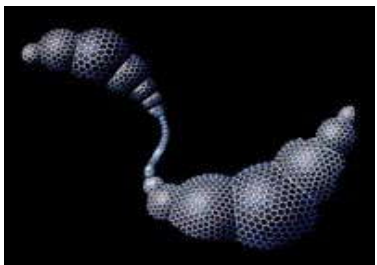
**Arq. R. B. Fuller, 1930.**



**Archigram, 1960.**



**Arq. Norman Foster, 1991.**



**Arq. Nicolás Grimshaw, 1996.**

**PRIMERA ETAPA:** La estandarización de la piezas estructurales ayudó a crear nuevos diseños más fluidos, éstos cambiaron la manera de construir los edificios, posteriormente dieron paso a desarrollar sistemas estructurales más complejos que aplican formas más esbeltas y simples de montar.

**SEGUNDA ETAPA:** La creación de utopías genera una nueva forma de diseñar habitats a través de propuestas de mega estructuras flexibles con tecnología futurista.

**TERCERA ETAPA:** la estructura toma un aspecto más formalista como expresión arquitectónica, evolucionando con el uso de conceptos orgánicos, éstos se adaptan mejor al contexto generando una forma de crecimiento más natural.

Después de toda esta reseña y referentes históricos, se encontraron conceptos que tendrán como resultado crear pautas de diseño en las cuales pueda integrarse a un modelo iconográfico, la comprensión de la evolución de las estructuras hace que se analicen las alternativas de sistemas estructurales, éste estudió comprende conceptos de estandarización de piezas y espacios adaptables, estas bases se generaron directamente en las etapas históricas:

-La primera etapa se dio con la aparición de la industrialización de la estructura del hierro en la Revolución Industrial y los diseños naturales del Art Nouveau que dieron aplicaciones de diseños más fluidos; posteriormente, el acero apareció en la tecnología norteamericana en todo su esplendor, al cual se aplicaron diferentes sistemas estructurales innovadores y articulados.

-Las segunda etapa fueron las ideas radicales del grupo Archigram, éstas implementaban diseños que aplicaban conceptos de mega estructuras que hacen desarrollar un sistema estructural flexible y manejable en todo tipo de contexto, en donde sus partes podían transportarse y cambiar constantemente su apariencia, diseño y espacio. Esta tendencia sirvió como detonante en otra corriente como el metabolismo, cuyos conceptos mega-estructurales tenían tendencias naturales, las cuales se integraban al entorno natural del lugar creando el espacio del área para el usuario.

-La tercera etapa dio paso al Alta Tecnología desarrollando conceptos en donde la estructura tiene que ser generada bajo un diseño de envolvente, esto determina que la estructura será la que dicte la flexibilidad dentro de un edificio y su apariencia, llegando hasta el estado actual en donde la estructura nace de formas naturales como la Biónica y las Bioformas; estas aplicaciones de estructuras se adaptan al contexto del lugar manejadas por diseños que se acoplen a los fenómenos del entorno.

La consecuencia directa de estos referentes provoca que el desarrollo de la investigación tienda a la comprensión de formas naturales y de estructuras estandarizadas no convencionales, que su sistema sea esbelto y resistente, ya que así se obtiene la mayor flexibilidad de un espacio. Con esta comprensión analítica de la historia se podrá justificar la elaboración de un desarrollo conceptual de ensayos en el cual encontraremos el diseño de un sistema estructural que se adapte al contexto, y desarrollar un nuevo modelo de edificio flexible en el espacio arquitectónico de la ciudad.

Después de ver los referentes históricos internacionales de estructuras flexibles industrializadas, buscamos una referencia de estructuras ensamblables en México, las cuales se encuentran en la tendencia del **Art. Nouveau en México** aunque fue un movimiento principalmente desarrollado en Europa, éste se manifestó en ambas áreas de la arquitectura, tenía su principio en las formas orgánicas de la naturaleza, las líneas curvas y largas le daban su característica principal al Art. Nouveau.

Uno de los primeros ejemplos fue el Palacio de Bellas Artes, situado en el Centro Histórico de la Ciudad de México, sorprende por la su fantástica arquitectura en la que se integran armónicamente dos estilos difíciles de combinar, como son el Art Nouveau en su exterior y el Art Decó en el interior, edificio que empezó a construirse en 1904 a cargo de Adamo Boari, originalmente la construcción del edificio duraría cuatro años pero los trabajos se vieron interrumpidos varias veces debido a problemas técnicos de hundimiento de suelo (que llegó a hundirse un metro y medio aproximadamente, debido a errores de cálculo de la cimentación), la revolución mexicana en 1910 y la salida de Boari del país en 1916, hasta que en 1932 se reinician las obras bajo la dirección del arquitecto mexicano Federico Mariscal, quien la concluyó en el año 1934.

En la construcción se emplearon los últimos adelantos técnicos, como el emparrillado con plancha de concreto y estructura de acero, permitiendo la disposición de grandes espacios. El vestíbulo se divide en tres cúpulas hechas de acero y con formas curvas y adornadas con detalles de naturaleza muerta y vitrales coloridos, la cúpula central está rematada con una cúspide escultórica hecha de acero en forma de una flama, La fachada principal también se divide en tres cuerpos.



**ARRIBA Y DERECHA:**

Vista interior del Gran Hotel de la Ciudad de México.

**ABAJO A LA**

**IZQUIERDA:** Vista exterior del Palacio de Bella Artes.



Otra edificación que se construyó con el mismo estilo que el Palacio de Bellas Artes, es el Centro Mercantil, que actualmente es el Gran Hotel de la Ciudad de México, el edificio data de 1898 obra del ingeniero y arquitecto Daniel Garza su arquitectura corresponde a la ideología del porfiriato.

Originalmente era neogriego con estructura metálica. Convirtiendo a éste como el primer edificio en el que se empleaba el procedimiento llamado "De Chicago" (emparrillado de viguetas de fierro ahogado en concreto). También se convirtió en la primera obra que se localizara en México con decoración Art Nouveau, donde se puede admirar el vitral firmado por Jaques Gruber de la escuela Nancy, Francia.

El exterior impone por su grandeza, la entrada principal ostenta grandes columnas dóricas acanaladas de concreto, rematadas con cabezas de león. Destacan sus balcones superiores, cuyo espacio está limitado por un barandal realizado en elegante herrería, con formas que insinúan una enredadera. Además, la majestuosidad y la fuerza de los ventanales contrastan con los elaborados frisos y cornisas.

Una de las edificaciones que son un símbolo en México por su característica de fabricación y diseño, es el palacio municipal de Orizaba, Veracruz, cuya estructura hecha a base de hierro fue fabricada en Bélgica, por la Societé Anonyme des Forges D'Aiseau, fue transportada en barco por la compañía Trasatlántica Francesa y ensamblada en la ciudad de Orizaba, entre las calles Francisco I. Madero y Av. Poniente, en 1894, construido por ingenieros belgas. Antiguamente usada para pabellón de exhibiciones tecnológicas, la edificación está constituida por estructuras hechas a base de hierro, su prefabricación constructiva le da rapidez de ensamblar el edificio, su carácter arquitectónico está en el principio de las figuras orgánicas; en sus líneas curvas se nota la tendencia del Art. Nouveau en el edificio.

El interior del edificio está distribuido en una planta rectangular con detalles orgánicos en las estructuras, sus decoraciones en los muros son ornamentos moldeados de color crema, su torre central crea el remate visual del edificio, en donde parte la edificación por la mitad, su infraestructura también maneja los detalles orgánicos del palacio, integrando el estilo de la edificación con sus adornos arbotantes, en la actualidad el Palacio de Hierro es un símbolo de la ciudad de Orizaba.



**ARRIBA Y DERECHA:** Vista exterior del palacio de hierro en Orizaba, Veracruz.

**ABAJO A LA IZQUIERDA:** Vista exterior del museo del chopo en la Ciudad de México.

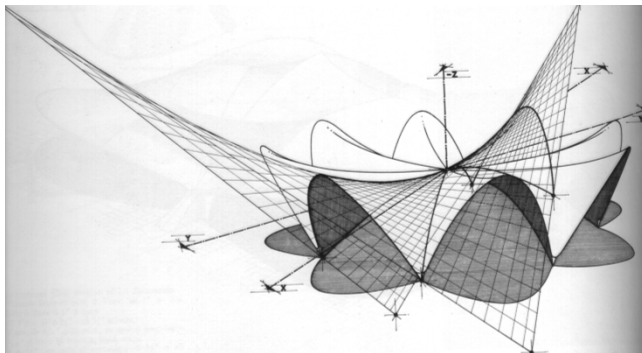


El Museo del Chopo, construido en 1902 en Alemania, en la ciudad de Oberhausen por la empresa alemana Gutenhoffnungshutte. el cual fue para una exposición en esa ciudad, pero la empresa mexicana de exposición permanente lo compró para uso estable en la ciudad de México; el edificio se reconstruyó en la colonia Santa María de la Ribera en 1903 - 1905, encargado por los ingenieros Luis Bachmeister y Ruelas Domer, su estructuras de hierro era fácil de transportar y desmontar, su sistema constructivo estaba hecho a base de montaje y desmontaje como se había planeado anteriormente, la estructura funcionaba con otros materiales como el ladrillo y el vidrio, cuyo fusión crea la estabilidad masiva del edificio.

La tendencia del edificio nace del Art. Noveau, éstas se delatan por los detalles esculpidos en las cumbres de las torres del museo, al igual en su interior se notan algunas formas curvas orgánicas que adornan el espacio del edificio. En primera instancia este museo estuvo abierto hasta 1913, cerrado por cuestiones económicas de mantenimiento; ya en 1975, fue adquirido por la Universidad Nacional Autónoma de México, lo cual restauró y habilitó; y en la actualidad es uno de los museos históricos de la Ciudad de México.

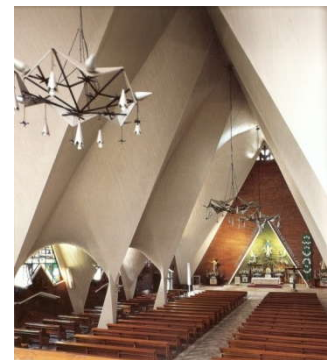
Posteriormente, después de la Revolución Mexicana hubo un cambio de paradigmas dentro del país, ya que la pelea por el poder tuvo consecuencias con el origen de nuevas tecnologías en el país, que en épocas de reconstitución sólo quería construcciones progresistas que tuvieran funciones sin ningún estilo arquitectónico innovador; esto cambió con la llegada de refugiados extranjeros al país (1939 - 1947), en donde se encontraban grandes maestros europeos con diferentes disciplinas que podían destacar en el ámbito de la arquitectura, uno de ellos fue Félix Candela. En México encontró las condiciones idóneas para hacer realidad las **cubiertas ligeras** que había estudiado años antes, en la escuela de arquitectura de Madrid entre 1927 y 1935.

Una de las obras más emblemáticas donde participó fue la Iglesia de la Virgen de la Medalla Milagrosa en la Ciudad de México en 1953 -55, proyectada por el mismo Candela, esta obra maestra del género de membranas polidireccionales de concreto armado fue un laboratorio de exploración de las posibilidades espaciales que ofrecía la geometría de los hypars; se proyectó en una planta cuyo acceso se abre al sur ocupando prácticamente todo el espacio de (31 x 53m). La fachada central se encuentra levemente retranqueada para evitar que se alinee con las construcciones vecinas, creando así un atrio de acceso; el flanco oriental se inicia con una nave secundaria que precede a una capilla y, hacia el oeste, se abre la iglesia con dos hileras de cuatro columnas torsionadas. No hay crucero, pero sí exaltación del presbiterio mediante la elevación de la estructura y el cambio de la intensidad luminosa.



**ARRIBA Y DERECHA:** Vista exterior e interior de la iglesia de la Virgen de la Medalla Milagrosa.

**ABAJO A LA IZQUIERDA:** Vista exterior del restaurante Xochimilco, y esquema de geométrico de la cubierta.



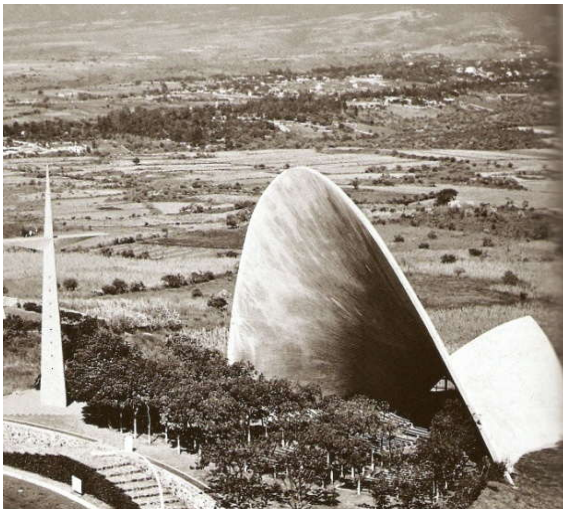
Otro ejemplo significativo en donde participó Félix Candela, fue el restaurante Los Manantiales, obra hecha en 1957 en Xochimilco; el problema arquitectónico planteado fue la creación de un local para mil personas con una sala de restaurante, sustituyendo una estructura de madera que había sido consumida por el fuego. La decisión de Candela y sus asociados fue diseñar una bóveda de planta circular, formada por la intersección de ocho gajos provenientes del encuentro de cuatro hypars, el resultado fue una especie de bóveda hiperbólica itinerante con apariencia de flotación, su altura máxima externa de 8.25m, la cual se reduce en el interior a 5.90m, la zona más baja del centro; el éxito de Candela fue las soluciones acertadas sobre la figura geométrica que se debía traducir en la membrana de concreto armado, así como el cuidado de los detalles con los que resolvía la conexión de la geometría hiperbólica.

La madurez de la intuición tecnológica de Candela, le permitió eliminar la viga del borde y concentrar la descarga del peso de la estructura en los apoyos de arranque, que se encuentra remitido en el borde externo de los paraboloides.

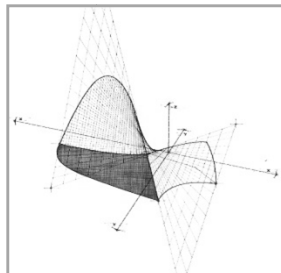


Su formación profesional fue evolucionando tan rápido que se aventuró a construir geometrías mecánicas más imponentes; un ejemplo de esta madurez se dio en la Capilla de Lomas de Cuernavaca, de 1951-52. situada en la parte superior de la cima, se emplaza su planta arquitectónica en forma de abanico, la figura final de capilla dependió de falta de los recursos espaciales, ya que la planta estaba situada en una zona de difícil acceso y se llegó a la conclusión de generar una geometría hiperbólica de revolución cuyos bordes mayores tienen una altura de 22m y 30m de base; la membrana de la cubierta crea una profunda sombra que refresca el área de asientos de la capilla.

Candela llevó la propuesta geométrica de la capilla al límite de las posibilidades de estabilidad, utilizando el borde libre, desarrollando la superficie cuadrática correspondiente a la figura hipars, la dramática altura de las parábolas evidencia la unión de dos parábolas hiperbólicas diferentes, creando una forma muy suave en el espacio arquitectónico.

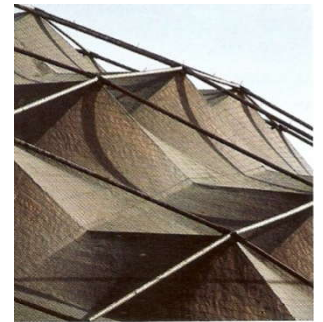


**ARRIBA Y DERECHA:** Vista exterior de la capilla de Cuernavaca, y dibujo del trazo de la cubierta de la capilla.



**ARRIBA:** Vista exterior del palacio de los deportes en Ciudad de México.

**DERECHA:** Vista exterior de los paneles hypar en el casquete del estadio.



La obra más significativa de Félix Candela es el Palacio de los Deportes, en México, 1968-1971, la solución consistió en alojar el espacio dentro de un casquete esférico rebajado, formado por dos ejes de arcos con distintos radios. Los arcos de celosía miden 5m de altura y los entrecruzamientos se producen cada 14m, dejando, en palabras de Candela: paneles que no son rectangulares.

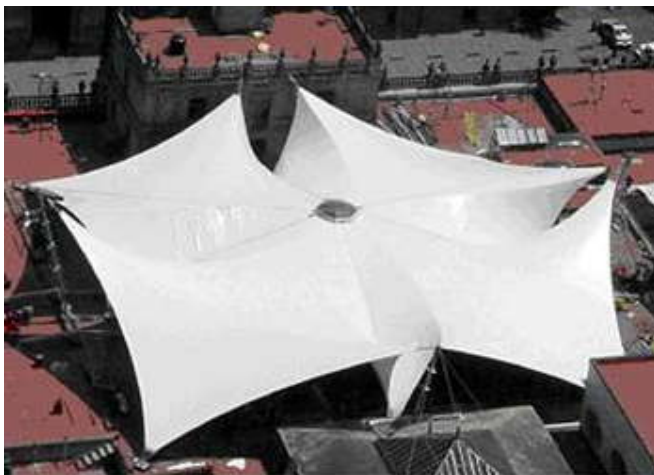
En el centro tenemos ángulos rectos, en las esquinas, los ángulos son de 120 grados, todos los paneles son distintos y están cubiertos con paraboloides hiperbólicos. Se trata de un uso poco común del hypar orientado por la lógica geométrica ante el problema de la diversidad.

De acuerdo al pensamiento de Candela, la apariencia final integró la estética con la estructura, ya que el lomo del casquete formado por hypars recubiertos con lámina de cobre es el elemento estético predominante en el exterior; los arcos tuvieron que salvar claros de 190m en un sentido y 132m en el otro, la solución estructural de la cubierta constituye una de las características que le han dado singularidad al proyecto.

La adecuación de los paneles hypars se fué dando por medio de uniones tetraédricas, están arraigadas a los arcos y ellos a las soportes finos de concreto, en donde su singular forma de remate en el suelo se conjuga con la forma del casquete circular

Posteriormente la **evolución de las tecnologías en México** fue creciendo hasta alcanzar un nivel de grado técnico en donde los investigadores universitarios sacaron la casta de innovar nuevas formas en la arquitectura y la ingenierías; la constante modernización de los materiales y los sistemas estructurales hacen que el cambio de paradigmas en la arquitectura sea constante y se tenga que aplicar nuevas técnicas y tecnologías que se adapten al edificio arquitectónico, esto se empezó a notar cuando empezaron a parecer sistemas estructurales distintos a los que se estaba acostumbrada a ver la sociedad mexicana.

Uno los investigadores entusiastas que tenía la filosofía de generar sistemas transportables y fáciles de adaptar en sitios, es el Dr. Juan Gerardo Oliva Salinas, quien ha incursionado en diferentes tipos de estructuras, entre ellas las velarías. Cabe mencionar trabajos como el MODUNAM, 2003. Sirve para varios funciones espaciales, fácil en transportar e instalar, este patente cuenta con dos arcos de alma abierta las cuales tensa a membrana (velaría), están sujetas por cables y apoyadas por anclaje, los arcos se unen por cables que tensionan y estabilizan el módulo, la velocidad con la que en se monta es de siete horas y se desmonta e cinco horas; esta flexibilidad de estructura tiene ventajas muy útiles para otros espacios. Por otra parte también puede ser usado para cubrir espacios emergentes para exposiciones.



**ABAJO:** Vista exterior de la cubierta del Palacio de Minería, patente del Dr. Juan Gerardo Oliva Salinas.



**ARRIBA:** Vista exterior de MODUNAM patente del Dr. Juan Gerardo Oliva Salinas.

Un ejemplo de su aplicación profesional en el ámbito de las estructuras ligeras, se ve en la participación de la cubierta del Palacio de Minería. El resultado fue la implementación en el año 2002 de una velaría, término que se refiere al uso de una cubierta con base a una membrana tensionada y cuya geometría obedece a una doble curvatura inversa resistente al viento, lluvia y granizo, que protege al patio central y, gracias a su diseño, evita la generación del efecto de invernadero.

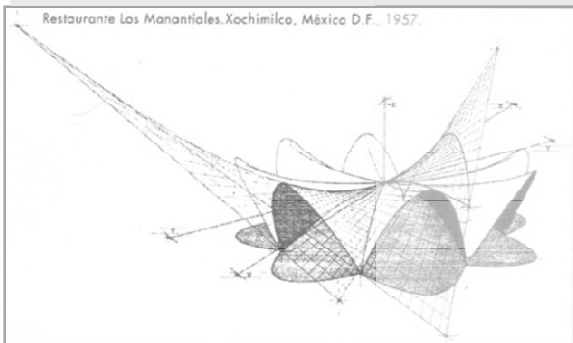
Este tipo de estructuras son muy ligeras, y al analizar adecuadamente los sistemas de apoyo y anclaje, no producen daño a la edificación ya existente, ni resultan peligrosas en caso de sismo, lo que las hace ideales en recintos históricos, sobre todo en aquellos que sufren de constantes hundimientos, como es el caso del Palacio de Minería. En cuanto al armazón que sujeta la membrana, generalmente es utilizado el acero de uso común; es decir, un material de fácil acceso. Asimismo se utilizan cables y herrajes del mismo material, pintados o bien con acabados de galvanizado o inoxidables.

Estas intervenciones de investigadores en la práctica profesional, hacen innovar las tecnologías y el diseño en la arquitectura en la ciudad, creando formas adaptables al contexto.



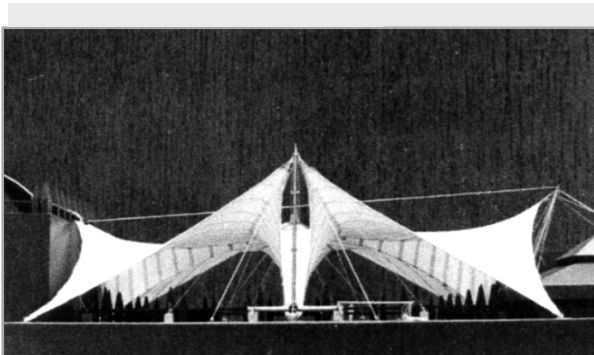
**Ing. Luis Bachmeister, 1894.**

**PRIMERA ETAPA:** La compra de sistemas estandarizados del extranjero ayudaron a crear nuevos diseños más fluidos, éstos cambiaron la manera de construir los edificios, posteriormente dieron paso a implementar sistemas estructurales más complejos que aplicaron formas más esbeltas y simples de montar.



**Arq. Félix Candela, 1957.**

**SEGUNDA ETAPA:** La aplicación de geometrías flexibles en las estructuras ligeras ayudó a economizar la construcción de grandes claros en las edificaciones, que contribuyó a generar nuevas formas arquitectónicas, esto gracias a estructuras ligeras que utilizan menos material y dan el máximo de su rendimiento.



**Dr. Juan G. Oliva Salinas, 2005.**

**TERCERA ETAPA:** La tecnología en México tiende actualmente a desarrollar formas arquitectónicas que ayuden a integrarse más al ambiente, ya que el clima es muy variable y se necesitan estructuras flexibles para adaptarse en zonas variables.

Para tener referencias históricas del tema, encontramos conceptos en las líneas de tiempo de la arquitectura mexicana, que tendrán como resultado encontrar pautas de diseño, en las cuales pueda integrarse a un modelo iconográfico; la comprensión de la evolución de las estructuras en México, hace que aterricemos en cosas concretas que se han hecho en el país y se analicen las alternativas de sistemas estructurales, comprendiendo conceptos de estandarización de piezas y geometrías flexibles, cuyas bases se generarán directamente en las etapas históricas:

-La primera etapa se da con la compra e incorporación de sistemas estructurales en México, generando construcciones industrializadas de estructura de hierro en todo el país; los diseños industriales naturales del Art. Nouveau en México dieron aplicaciones de diseños más fluidos, posteriormente, la aplicación del diseño estructural flexible, cambió conceptos de tecnologías más rígidas en cuanto a la construcción, pero geoméricamente eran muy flexibles para adaptarse en casi cualquier tipo de forma.

-La segunda etapa constituyó casi en su totalidad la época de innovación geométrica estructural ya que en México sufrió la atraso de tecnologías, aun así las aplicaciones geométricas en el concreto armado tenían muchas aplicaciones tanto en la arquitectura como estéticas y de diseño estructural por su forma, en donde se destacaron también por su fácil fabricación y lo económico que era hacer este tipo de estructuras parabólicas.

-La tercera de etapa la arquitectura en México cambia gracias a las formaciones de conceptos tecnológicos que generan diferentes tipos de sistemas estructurales, unos se mejoran y otros son empleados con diseños adaptables al clima por el constante cambio climático del país, que afecta a gran parte de la población; también se aplican sistemas estructurales en grandes masas para crear una imagen diferente dentro de las ciudades, por otra partes también surgen sistemas de situaciones emergentes que ayudan a crear espacios más versátiles.

La consecuencia directa de estos referentes en México, es que se tiende a la comprensión de formas de estructuras estandarizadas no convencionales, que en su sistema se obtenga una mayor flexibilidad en el espacio. Con esta comprensión analítica de la historia se podrá justificar la elaboración de un desarrollo geométrico, flexible, conceptual en los ensayos, en los cuales encontraremos el diseño de un sistema estructural y espacial que se adapte al contexto y sus cambios constantes.

Se presentarán estos antecedentes actuales para marcar el sistema constructivo de grandes estructuras y edificaciones. Se analizarán varias construcciones que están hechas con un principio de sistemas modulares estandarizados espacialmente dentro de los edificios, y dejarán imágenes de principios análogos que ayudarán a crear un panorama más amplio de la forma conceptual del proyecto.



**Aeropuerto de Stand en Inglaterra,  
(1990, Arq. Norman Foster.)**

Otro ejemplo es el aeropuerto de Stand, Inglaterra, por el Arq. Norman Foster, 1982-1990, él utilizó el principio de las estructuras como carga expresiva del edificio, su forma modular genera una versatilidad espacial muy notoria, sus uniones le dan más rapidez a su montaje y crean una estandarización estructural. La espacialidad interior era suficiente para la función que se requiere, su sistema estructural tiene el principio de estructuras espaciales moduladas en pares para desarrollarse en cualquier momento, la techumbre está resuelta con unos soportes principales que sirven a la tracción por medio de barras que se unen a la estructura base, para estabilizar el empuje lateral de las estructuras; en la techumbre notamos que tiene una abertura que sirve como tragaluz y le permite la penetración de luz natural al interior y tiene difusores que hacen que la luz natural se expanda en todo el lugar, en sus apoyos se colocan todas las instalaciones y señalizaciones para mantener el concepto de translucidez y flotación del edificio.



**Centro de Distribución de Renault en Londres,  
(1983, Arq. Norman Foster.)**

Un ejemplo de este principio es el centro de distribución de Renault en Londres, de Foster, 1982-1983, cuyo sistema de modulación está constituido por postes, cables, unidos con brazos metálicos estandarizados y aligerados con círculos cortantes, estabilizados con tensores sujetos al piso; el concepto de expresión es notorio, la flexibilidad de expandir y adecuar el espacio por medio de la modulación y el ensamble se relaciona, como se ve en el alzado.

Sus conceptos bioclimáticos se notan en la losa translúcida en el techo, que sirve para la penetración de la luz natural; sus partes están estandarizadas por una posible ampliación de espacio arquitectónico de la agencia, la cubierta consiste en una lámina plegada con aberturas para la penetración de luz y se mantiene suspendida por tensión y sujeta a una viga para rigidizar el conjunto.



**30 St. Mary Axe, Swiss Re HQ en Londres,  
(2004, Arq. Norman Foster.)**

Un ejemplo más evolucionado del Arq. Norman Foster es el 30 St. Mary Axe, Swiss Re HQ. en Londres Inglaterra, 1997-2004, cuya edificación tiene el principio geométrico fractal, ya que su forma curva está hecha por tramas triangulares en forma de romboide que se entrecruzan y ayudan a estabilizar la construcción; también su estructura refleja una carga expresiva de alta tecnología; su principio ayuda a que la construcción sea más fácil de desensamblar, su base de forma cilíndrica cónica fragmentada, ayuda a rigidizar las uniones del sistema estructural, el remate de la punta del edificio sujeta el enlace de las vigas creando un anillo de compresión que le da la forma alargada al edificio.



**Hearst Headquarters en Nueva York,  
(2004, Arq. Norman Foster.)**

El último ejemplo es la Universidad de Berlín Alemania, 1997-2005, del Arq. Norman Foster, cuya edificación está anexada al edificio original; su principio de diseño es la simbiosis orgánica, la cual se aprovecha para abastecerse de energía del otro organismo anexo a él; sus estructuras curvadas formadas por una retícula triangular con principios estructurales de cubierta activa la cual distribuye sus esfuerzos en toda su techumbre para reducir su espesor en el techo; esto le aligera y resiste la forma estructural del edificio, soportando un espacio interior más pesado; su piel está conformada por una doble estructura que sirve para proteger y dejar pasar la iluminación natural; su unión con el edificio le da una forma de capullo que tiene relación biomecánica y que sirve como un principio de diseño, su estructura interna es topológica muy orgánica y se adapta a la forma del edificio logrando que los espacios sean más dinámicos; la versatilidad de estas formas ayuda a que el edificio sea enchufable y se fusione con un contexto urbano distinto a la forma de la edificación.



**Pabellón Itinerante de la IBM en París,  
(1986, Arq. Renzo Piano.)**

Otro ejemplo de esta evolución es el edificio Hearst Headquarters en Nueva York, 2002-2004, del Arq. Norman Foster. Notamos que tiene el mismo principio estructural de un enjambre, pero en este sentido es más ortogonal; sus rectas diagonales dan la rigidez y estabilidad del edificio; su forma tetraédrica es la que le da resistencia y corta las fuerzas gravitacionales, su piel es la expresión arquitectónica del edificio, sus esquinas son de punta de diamante fractal que ayuda a disparar la luz del sol al exterior, su piel de vidrio deja pasar luz natural de manera muy tenue, esto para iluminar el espacio interior del edificio, su base está hecha de una doble estructura que sirve de soporte para la torre, también notamos que sus soportes están unidas al primer volumen del edificio, su forma estructural tiene formas biomecánicas que hacen que la construcción se adapte mejor al terreno y rompa con el contexto ortogonal de la ciudad.



**Universidad de Berlín en Alemania  
(2005, Arq. Norman Foster.)**

El primer ejemplo de arquitectura modular es el Pabellón Itinerante de la IBM, en París, en 1983-1986, de Renzo Piano. En esta edificación, su transportación era de vital importancia, así que sus piezas fueron diseñadas a base de un nodo, que ayudaría a transportar el edificio de manera más rápida; su forma cilíndrica tetraédrica ayudará a darle estabilidad a toda la estructura, su base hecha de vigas joins, genera un montaje aún más rápido, sus accesorios triangulares transparentes dejan pasar la luz natural hacia el módulo, dándole una buena iluminación a toda la galería.

Su estructura es fácil de montar por el nodo que se adapta a una viga de madera que crea una serie de arcos, que a su vez se unen a un anillo de compresión que sujeta a las estructuras del módulo, sus técnicas bioclimáticas son aplicadas directamente en los accesorios triangulares en donde se colocan mallas protectoras cuando hay mucho sol; en la base del módulo hay ductos de ventilación que aceleran el viento exterior hacia el interior para dar un mejor confort al usuario.

Otra tecnología que utiliza Renzo Piano es la estructura tensada en la cual hace formas y cuando la industrializa se vuelve más ligera, tal es el ejemplo de la galería de exposición de Columbus, en Génova, Italia, 1985-1992. Su principio se nota en el diseño de flexibilidad de montar las piezas; la obra tiene todas las piezas armables y por su forma de tensión ayuda a estabilizar la velaría, aquéllas están afianzadas a una viga tubular curvada sujeta a un mástil, que mantiene rígida la estructura; la tensión se logra en las uniones de las telas con los cables, atadas con una pequeña desviación al mástil. Su flexibilidad interior se adapta a cualquier tipo de actividad requerida, su planta y elevación armonizan y se modulan al edificio dándole la adaptación adecuada; en los aspectos bioclimáticos se colocarán veleros que desvían los aires fuertes y reducen la velocidad del viento, sus tragaluzes hechos de PVC, le dan la iluminación natural dentro de la edificación,



**Exposición de Columbus en Génova, Italia, (1992, Arq. Renzo Piano.)**



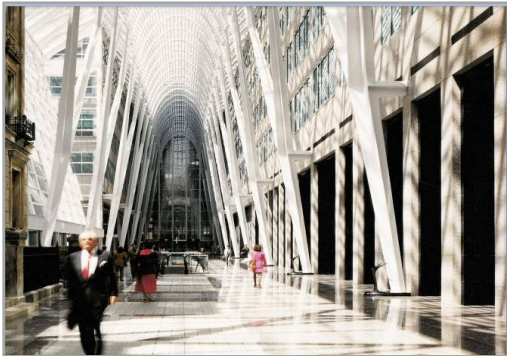
**Aeropuerto de Osaka en Kansai, Japón, (1994, Arq. Renzo Piano.)**

Un ejemplo es el centro cultural de Jean Marie Tjibacu en la nueva Caledonia, 1991-1998. La edificación fue generada para maximizar la ventilación, aprovechando la vegetación y la brisa de la laguna para crear corrientes ascendentes de aire, que posteriormente son disipadas por torres de extracción, con una forma muy distinta en la parte elevada del edificio, en lo alto de la colina; además de satisfacer el confort ambiental, la estructura industrializada puede montarse más rápido por sus dispositivos estandarizados, creando una arquitectura más apta para el contexto en donde se emplaza. También notamos que sus estructuras industriales de acero se fusionan perfectamente con las vigas de madera, que generan una mejor adaptación del material de la región con procesos industrializados, con lo que crea el diseño de un nodo estructural versátil, fácil de manipular con otros materiales, en este caso con madera.

En la búsqueda de formas nuevas vemos que Renzo Piano utiliza la estructura como un medio de expresión y la evoluciona con formas más orgánicas, tal es el caso del aeropuerto de Osaka en Kansai, Japón, 1988-1994. Podemos notar en el edificio que su forma conceptual es la de una ola de mar, cuya forma biónica ayuda a que la edificación se adapte a su contexto agresivo, ya que está colocado en el mar. Su forma ayudará a resistir los vientos fuertes del mar, su estructura es la que marca la estética del edificio; sus uniones estabilizan a la estructura de la edificación, sus soportes se unen en un solo punto en forma de arco, que ayuda a que resistan las fuerzas cortantes de la gravedad, su forma biónica deja un principio estructural muy interesante, ya que se acopla al terreno y no rompe el contexto natural del lugar, también observamos que por la versatilidad de la estructura industrializada su montaje es mucho más rápido, su interior es amplio y da una sensación de movimiento constante por la forma de la techumbre.

**Centro Cultural de Jean Marie Tjibacu en la Nueva Caledonia, (1998, Arq. Renzo Piano.)**



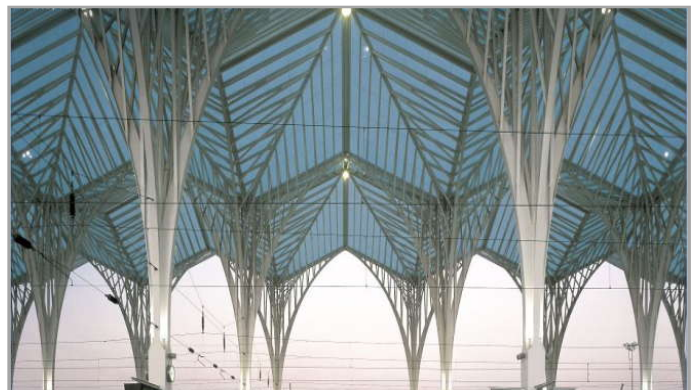


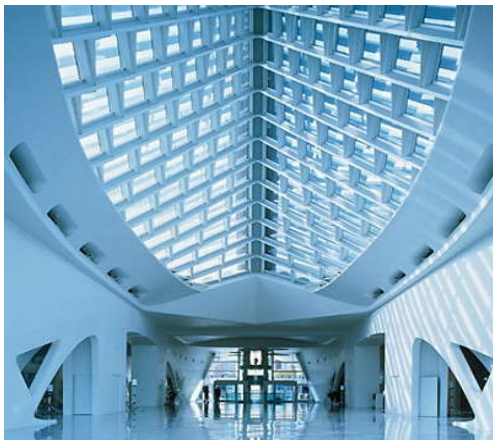
En esta obra analizaremos la edificación de Santiago Calatrava; su forma de expresión arquitectónica recae en la estructura del edificio, sus formas nacen directamente de la biónica y de la biomecánica; sus diseños son esculturas hechas edificios, esto deja un principio estructural orgánico muy interesante en el tema de investigación, un ejemplo es la Place Gallerie BCD, en Toronto, Canadá, 1987-1992. Notamos en la estructura que su configuración son diseños biomecánicos inspirados en las ramas de los árboles; sus vigas en forma de ramas se asemejan a las copas de arbustos; los soportes se anclan en la estructura de los edificios, que ayudan a estabilizar la estructura; las techumbres dejan pasar la luz natural en la galería, las uniones ayudan a atiesar el sistema de la estructura; los enlaces centrales crean la sensación de un bosque; también observamos que en las techumbres centrales los soportes son más orgánicos y dejan un principio estructural de bioforma.

**Place Gallerie BCD en Toronto, Canadá,  
(1992, Arq. Santiago Calatrava.)**

Otro ejemplo de arquitectura biónica es el de la Estación de Oriente, Lisbon, 1983-1998, del Arq. Santiago Calatrava. Su obra arquitectónica está realizada con un principio biónico de un árbol; en sus detalles de uniones dan la apariencia más abstracta de una copa de arbusto, los apoyos principales tienen el diseño estructural de un puente; las vigas estabilizan la construcción y dan la sensación de espacialidad; el techo translúcido deja entrar la luz natural al espacio interior. Su volumen controla el peso del edificio perfectamente, rigidizando el armazón estructural crea una composición arquitectónica, así como la composición de una arquitectura de luz muy tenue, sus paraboloides están compuestas de costillas atiesadas que controlan la fuerza cortante del edificio arquitectónico; también notamos que sus espacios están modulados; la modulación le da más versatilidad en las áreas interiores ya que puede crecer en determinado momento.

**Estación Oriente Lisbon,  
(1998, Arq. Santiago Calatrava).**





**Museo de Arte Milwaukee en Wisconsin, USA, (2001, Arq. Santiago Calatrava.)**

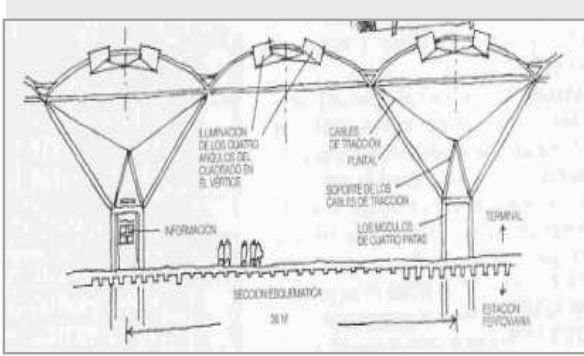
En otra obra de Calatrava se ve la evolución arquitectónica de la biomecánica con el principio estructural del puente, tal es el caso del Museo de arte, Milwaukee, Wisconsin, USA, 1994-2001. En este edificio arquitectónico vemos los principios estructurales de un puente en combinación con las formas biológicas de una costilla humana; la forma de la nave grande son costillas que atiesan la estructura principal del edificio, estabilizan el volumen de la edificación, y notamos que tiene una doble estructura que se cierra automáticamente en las noches; se abre durante el día para aprovechar la luz natural. Notamos en el interior que se compone de una viga principal que sostiene y une diferentes áreas del museo, sus formas de hoja cerrada sirve como techumbre del edificio que, deja una composición arquitectónica muy actual y de vanguardia; así podemos ver que el edificio exhibe una nueva imagen de tecnología en la ciudad.

Un ejemplo de biomecánica en la estructura es High Rise in Malmo, Suecia, 1999, Arq. Santiago Calatrava. La estructura tiene como principio la agrupación celular en sentido vertical, también podemos notar que su forma helicoidal le da una composición arquitectónica muy interesante; su propia torsión le da una jerarquía a la edificación; su rigidez se compone por la forma aerodinámica de objeto, cuyo principio estructural proviene de la torsión de un tórax humano, el cual se sujeta a una columna vertebral que estabiliza el edificio desde su base. Podemos notar que la estructura ayuda a mantener la forma y la estabilidad del edificio; su característica orgánica le da una estética diferente de otras edificaciones, también sus uniones controlan el balanceo del edificio ya que la misma torsión corta las fuerzas del viento, y deja una composición arquitectónica muy bella e interesante.

**High Rise in Malmo en Suecia, (1999, Arq. Santiago Calatrava).**

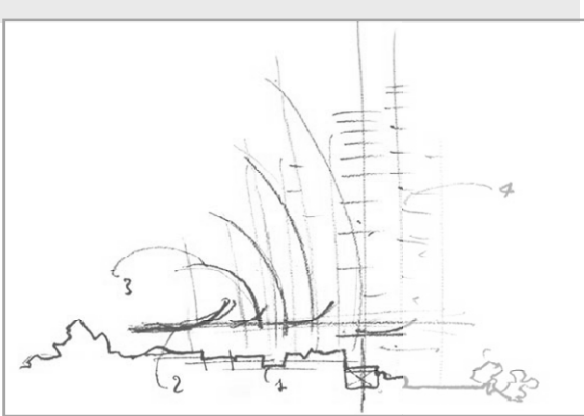






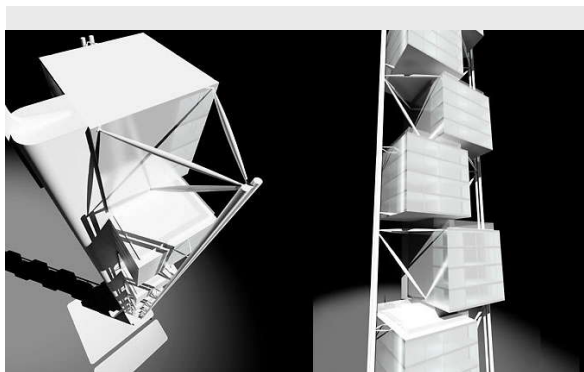
**Mtro. Norman Foster, 1990.**

**PRIMERA ETAPA:** Encontramos que los diseños son para tener una carga expresiva de la estructura, pero con una geometría modular en donde sus partes se ensamblan a través de piezas industrializadas para tener un montaje fácil en su construcción.



**Arq. Renzo Piano, 1998.**

**SEGUNDA ETAPA:** Sus sistemas estructurales se forman por medio de inspiraciones naturales, en donde sus partes estructurales son modulares con materiales industrializados, una de las características más significativas de estos diseños es que provienen de diseños orgánicos.



**Dr. Santiago Calatrava, 2003.**

**TERCERA ETAPA:** el diseño de los sistemas estructurales se basan en las formas biónicas, estos generan una integración más acorde con el contexto y le dan una nueva identidad a la imagen de la ciudad; su forma estructural es más efectiva ya que aplica diseños mecánicos inspirados de estructuras óseas.

Para tener referencias actuales del tema encontramos conceptos estructurales modernos que tendrán como resultado encontrar pautas de diseño que puedan integrarse a un modelo iconográfico. La comprensión de la evolución de las estructuras en esta época hace que aterricemos en obras concretas que se han hecho en todo el mundo y así se analicen las alternativas de sistemas estructurales, que abarcan conceptos de estandarización de piezas y geometrías flexibles, en bases biónicas que se generan directamente en las formas orgánicas:

-La primera etapa de estudio se da con el Arq. Norman Foster, sus diseños recaen en la expresión de la estructura, que se genera a partir de formas flexibles y fáciles de montar; sus desarrollos estructurales son modulares y tienen principios de diseño bioclimático mejorando el confort interior de sus espacios, la construcción de sus edificios siempre radican en la estandarización de sus partes; en sus recientes obras aplica una geometría más dinámica y flexible en donde el carácter del edificio recae en la estructura.

-La segunda etapa se enfoca hacia el Arq. Renzo Piano, el aplica en el diseño de estructuras las formas orgánicas y adaptables al contexto, manipulando en ocasiones los materiales industrializados con los rústicos, que generan una mejor integración de la estructura con su medio ambiente, aunque en algunos de sus diseños sólo aplica la geometría orgánica como expresión, tiene principio de diseño que se adapta a su contexto, desarrollando conceptos de estructuras flexibles.

-La tercera etapa se orienta hacia el Arq. Santiago Calatrava. Sus principios estructurales provienen del diseño biomecánica de los sistemas óseos y de las formas orgánicas que ayudan a generar el concepto de diseño estructural en el edificio arquitectónico; sus principios estructurales se siguen basando en la conformación de una estructura escultórica que simule la forma natural, la aplicación de estos conceptos generan principios de jerarquía de diseño en la ciudad dándole una nueva imagen al contexto.

La consecuencia directa de estos referentes contemporáneos, provoca que el desarrollo de ciertas consideraciones en la tesis, se tienda a la comprensión de formas estructurales estandarizadas no convencionales; que de su sistema se obtenga una mayor flexibilidad en el espacio. Con esta comprensión analítica de las estructuras se podrá justificar la elaboración de un desarrollo geométrico flexible conceptual en los ensayos en el cual encontraremos el diseño de un sistema estructural-espacial que se adapte al contexto.



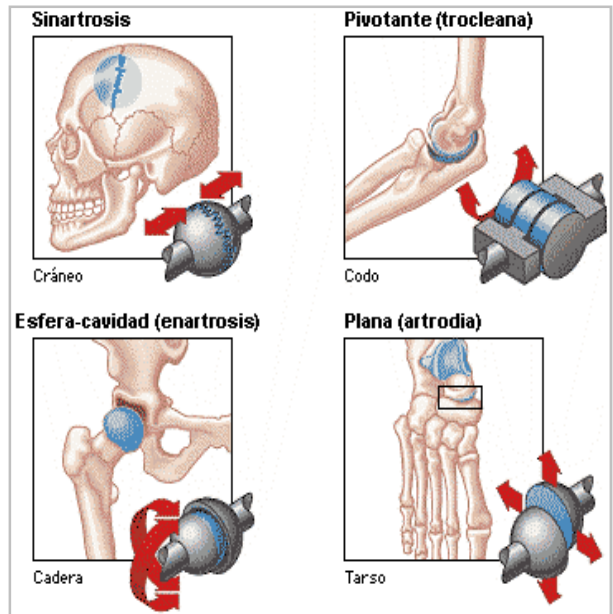
# Capitulo 3



EL CRECIMIENTO ORGÁNICO COMO SISTEMA.

Para el desarrollo experimental se elaborará un modelo iconográfico que se base en la experimentación de los conceptos, esto hará desarrollar un principio de diseño con sistemas tecnológicos más aptos para un contexto de clima intenso y variable en su entorno, generando pautas de composición y adaptación al entorno natural, éstas se aplican posteriormente a las propuestas del proyecto arquitectónico, que se fundamenta en las consideraciones sobre las formas y principios existentes en la naturaleza. Se realiza una observación en el comportamiento de las funciones y la morfología de las estructuras orgánicas; para proveer de nuevas ideas de diseño, éstas tendrán dos etapas definidas: la biónica y la bioforma como diseño.

La biónica nos ayudará a encontrar un principio de diseño de estructura flexible, el cual tendrá como origen la anatomía humana y de la naturaleza, esto nos ayudará a tener esa articulación de movimientos dentro de un modelo, creando así un mejor sistema estructural y versátil, en cuanto a la bioforma, nos ayudará encontrar una pauta de diseño adaptable al contexto, creando composiciones más coherentes y adaptables al contexto, así el espacio creado por este principio no alterara el entorno sino que se integrara de forma más natural al espacio.



**ARRIBA:** La articulación humana ayuda a crear un principio de diseño biónico que conduzcan a desarrollar una estructura mas flexible y adaptable.



**IZQUIERA Y ABAJO:** Las formas naturales como la medusa se adaptan a una situación extrema, pueden ser tan frágiles a simple vista, pero son resistentes en su entorno.

Uno de los tópicos a abordar se remonta a la analogía orgánica; para entenderla y poder aplicar un modelo arquitectónico que se integre al contexto, se tiene que apreciar las formas de la naturaleza, en este caso las formas biónicas; un ejemplo son las articulaciones humanas que por su ligereza y resistencia pueden aguantar grandes cargas y mantener su equilibrio; su articulación crea la forma de adaptarse a casi cualquier posición, da versatilidad de movimiento.

Otra forma biónica es la medusa de mar, su forma se integra al paisaje del mundo submarino, su cuerpo no contiene esqueleto, esto le proporciona ligereza para flotar e integrarse a su entorno.



Las formas orgánicas se pueden ver en la arquitectura contemporánea empleada como forma de expresión y adaptación, la cual es de mucha importancia ya que se integran a su entorno, generando una jerarquía nueva en la imagen de la ciudad. En cuanto a su principio estructural, los edificios están regidos por estos conceptos: simetría, equilibrio, resistencia, ligereza, adaptabilidad y articulación,

Un buen ejemplo de la arquitectura biónica es el Arq. Santiago Calatrava, él aplica los conceptos orgánicos como una manera de expresión en la estructura del edificio, creando un espacio más acorde al contexto.

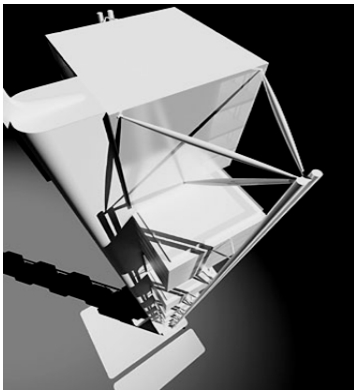
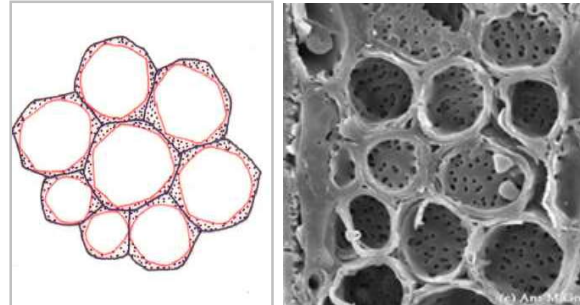
El aeropuerto de Lyon, es una obra en donde el Arq. Calatrava refleja los conceptos biónicos de una estructura articulada, su propia forma le da resistencia y la ligereza de mantener su peso equilibrado, el principio estructural de la edificación proviene de una estructura ósea, ya que su forma tiene una columna vertebral que une a toda la subestructura.

Las bioformas se basarán directamente de la figura orgánica éste ejemplo se ven en los principios celulares, con los cuales se realizará un sistema de redes y ritmos espaciales, los cuales tendrán la labor de dimensionar y adaptar el área del espacio, integrando un sistema estructural flexible pero estandarizado, para comprender el fenómeno de la bioforma, se analizarán las agrupaciones celulares, esto para crear el sistema modular dentro del modelo iconográfico, como ejemplo, tenemos la célula madre que vista en planta es una red espacial donde su traza parte de un nodo retórico, el cual en tres dimensiones provocan crecimiento rítmicos agrupado para adaptarse a un cuerpo grande, esta forma de agrupación deja como principio de diseño generar una traza reticular abstracta de la célula madre.



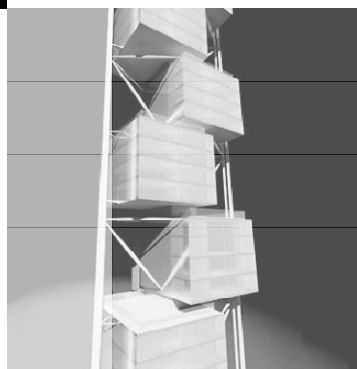
**ARRIBA:** Aeropuerto de Lyon del Arq. Santiago Calatrava, tiene principios estructurales en base a la biónica humana.

**ABAJO Y DERECHA:** Las formas orgánicas en el diseño establecen un principio espacial en el modelo, sus agrupaciones tridimensionales crean una composición de adaptación al medio.



**ABAJO E IZQUIERDA:**

Proyecto Torre Sur de Nueva York, del Arq. Calatrava, edificación conformada de cubos habitacionales sujetos sobre un poste principal, el cual ayuda a estabilizar la forma del edificio.

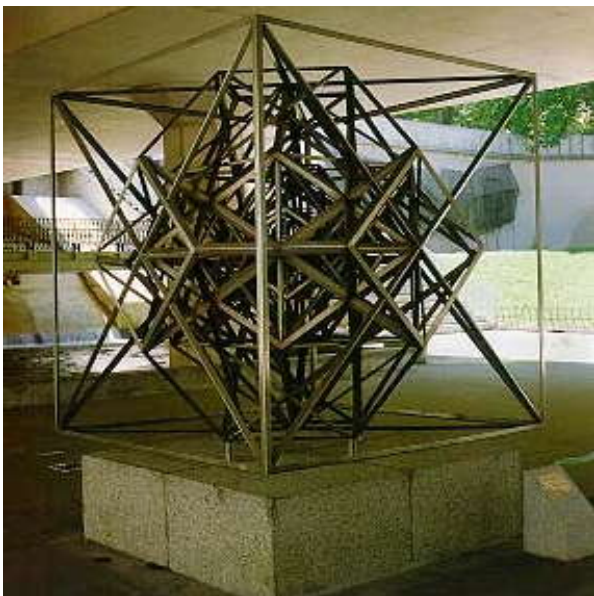


Estas analogías se pueden ver en la arquitectura contemporánea, un ejemplo de ello es la Torre Sur de Nueva York, este diseño hecho por el Arq. Calatrava tiene como principio la agrupación celular, el edificio está sujeto a un eje central donde se agrupan los cubículos, el eje estabiliza y simetriza la traza vertical del sistema estructural-espacial, sus segundos ejes soportan los catiliver de los cubos habitacionales, éstos sujetos a unas armaduras tubulares que se anexan en los soportes secundarios.

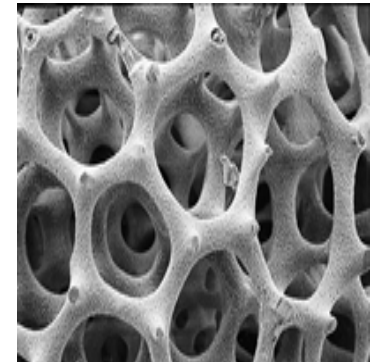
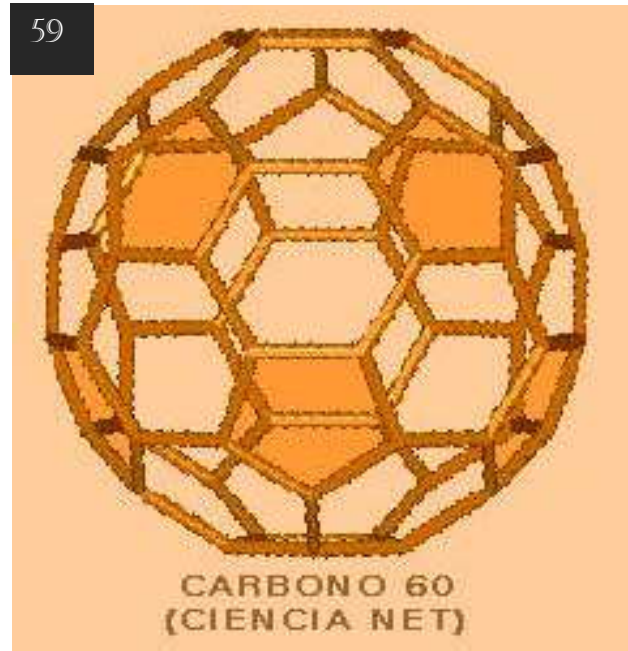
En consecuencia de los análisis anteriores se elaborarán ensayos que contengan los principios conceptuales que se han propuesto para la proyección del modelo iconográfico final a seguir, ya que éste es más aproximado al proyecto arquitectónico.

El impacto que tiene el modelo iconográfico conceptual final, se implementará por los conceptos orgánicos de la biónica y bioforma, este desarrollo orgánico trae como consecuencia la comprensión del crecimiento de las formas naturales, la biónica genera la estructura articulada que se requiere para un sistema flexible y la bioforma la adaptación del espacio en el contexto, juntando esto nos deja un principio de diseño para crear un sistema de redes espaciales, las cuales tendrán un ritmo integral en el modelo conceptual; los conceptos de diseño nacerán por todas estas aplicaciones conceptuales, las cuales provienen de células orgánicas, así este modelo experimental debe de adaptarse a su contexto pero de forma congénita al ambiente en que se desarrolle.

Estos estudios se inclinan a la observación de redes naturales como la estructura celular de una molécula, su forma de crecimiento ayuda a formar una red espacial y flexible que se acople a su entorno, generando conceptos de sistemas estructurales de desarrollo progresivo, en las cuales el espacio es manipulado constantemente por esta expansión del espacio, comprendiendo la naturaleza de crecimiento progresivo se aplicarán los conceptos respectivos a los modelos.



**ARRIBA:** Estructura hiperpoliédrica, hecha por el Arq. Rafael Leoz, la cual tiene como función las subdivisiones geométricas del cubo lo que tiende a generar más caras en el interior marcando límites espaciales de crecimiento.



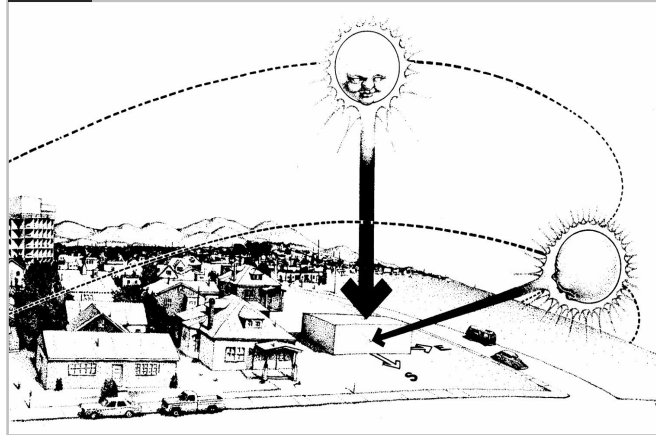
**ARRIBA Y DERECHA:**

Las células de carbono son un claro ejemplo de cómo un sistema orgánico se expande de manera ordenada, creado por una red resistente y articulada para su crecimiento.

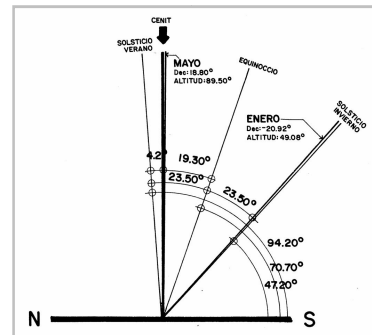
Una referencia de este concepto de sistemas de redes y ritmos se ve con el Arq. Rafael Leoz, con su estructura hiperpoliédrica del espacio, esta red sistémica busca la flexibilidad del espacio optimizando toda la estructura, esta práctica nació por la experimentación de las subdivisiones geométricas del espacio, en la cual el cubo es el principal volumen para esta modulación, estas subdivisiones están hechas para comprender los límites del espacio dentro de un entorno.

Esta comprensión analógica experimental del espacio nos da como resultado que la estructura es la base principal de los experimentos, y como su sistema estará compuesto de conceptos orgánicos y geométricos dará paso a la generación de pautas de diseño en modelo final del proyecto, creando la adaptabilidad del espacio en un contexto natural, esto implica que el desarrollo del modelo iconográfico será basado en un geometrización orgánica y estandarizada, en donde la adaptabilidad climática del entorno influye en el modelo final para el proyecto.

Para integrar el modelo iconográfico en un entorno natural, se aplicarán todos los conceptos orgánicos en un experimento bioclimático, esto nos ayudara a comprender cómo el proyecto final se acoplará en un contexto natural con formas orgánicas, los conceptos básicos del bioclimatismo se encuentran por el análisis de los fenómenos climáticos del lugar, esto ayudará al modelo a adaptarse al contexto, aunque sólo se analizaran los conceptos en el experimento, para poder entender qué cosas se deben tomar en cuenta para integrar el modelo en el ambiente; se tienen que tomar dos consideraciones principales: una es la orientación del modelo con respecto a la incidencia solar, ésta servirá para poder saber qué tipo de implementos se le pueden agregar al modelo para una mejor adaptabilidad al entorno, teniendo así la capacidad de poder aplicar herramientas o estrategias las cuales pueden ayudar a proteger o a beneficiar el modelo, tal sea el caso podrá tener una mejor adaptación en el contexto del lugar en donde se coloque el módulo.



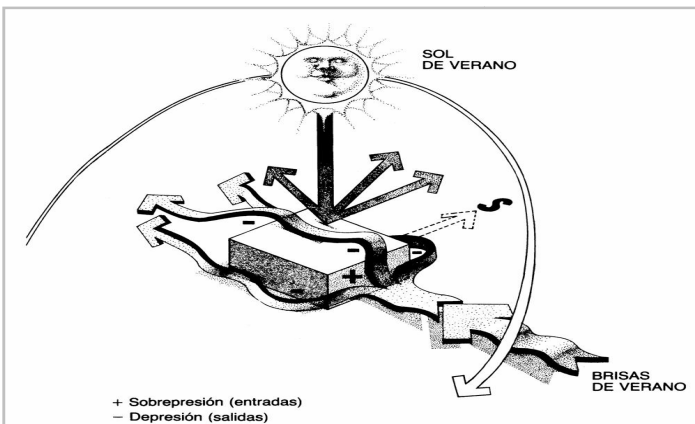
**ARRIBA Y DERECHA:** La correcta orientación del modelo en el lugar, ayudará a saber qué tipo de incidencia solar tendrá el modelo en todo el año y que técnicas se pueden aplicar para tener una mejor protección o beneficio.



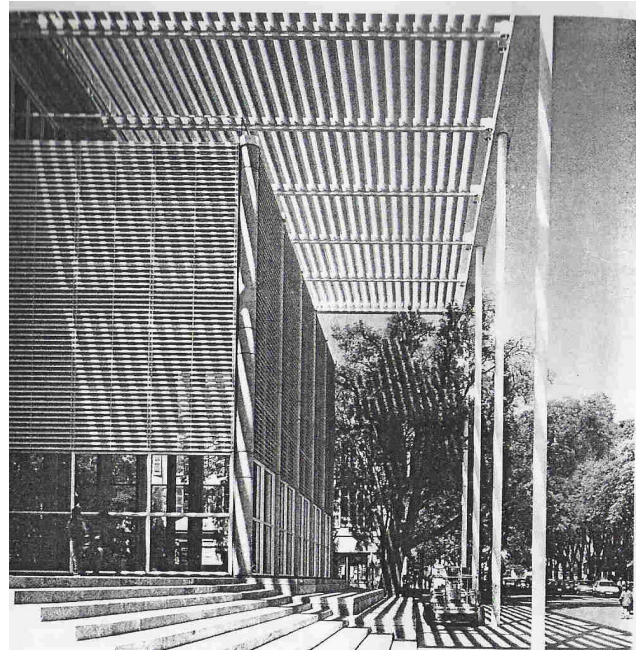
#### IZQUIERDA Y ABAJO:

La detección de los vientos dominantes en el lugar ayudará a aplicar técnicas bioclimáticas más coherentes para el modelo, generando un mejor confort para el módulo

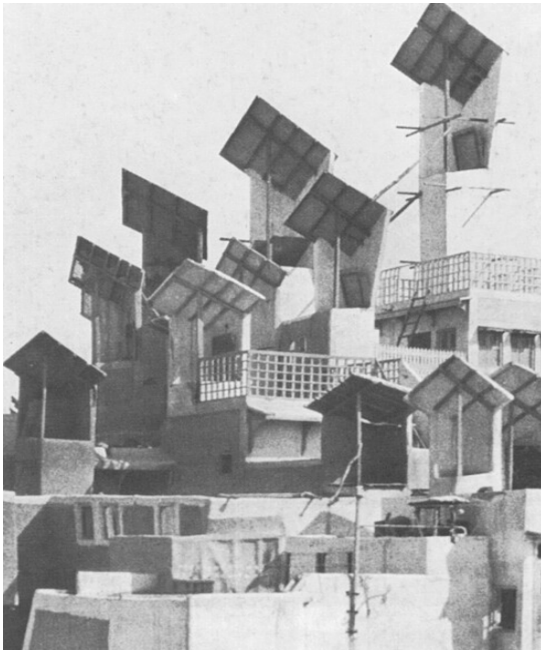
En esta adaptación influye también el efecto del viento, ya que este fenómeno atmosférico interviene directamente en la regulación del clima; conocer los vientos dominantes del lugar ayudará a tener una mejor ubicación de las áreas del módulo experimental, teniendo un mejor aprovechamiento de los recursos climáticos de la zona; esto ayudará en dado momento a que el modelo iconográfico tenga esa mutación climática en la cual se integrará al contexto de forma más coherente, comprendiendo que es mejor acoplarse al entorno que destruirlo.



Las adaptaciones bioclimáticas tienen como goce que el espacio obtenga un mejor confort aprovechando el entorno que lo rodea; para entender mejor cómo se aplica cada principio, tenemos que tomar las dos consideraciones ya antes mencionadas. Un caso de adaptación solar es la colocación de persianas en las fachadas con influencia solar, una referencia de este método es el Museo Cultural de Nimes de Norman Foster, esta edificación tiene como principal objetivo protegerse de la luz solar, pero aprovechando su iluminación natural sin que se sobrecaliente el edificio; esto se resolvió por la colocación de una subestructura con dispositivos de protección solar, los cuales están colocados estratégicamente para que el calentamiento solar no penetre tan abruptamente, dejando pasar sólo la luz necesaria al edificio.



**ARRIBA:** Museo de cultura de Nimes de Norman Foster. Esta edificación tiene como adaptación bioclimática una subestructura con persianas, las cuales protegen el espacio interior de la proyección solar, dejando pasar sólo la iluminación natural.



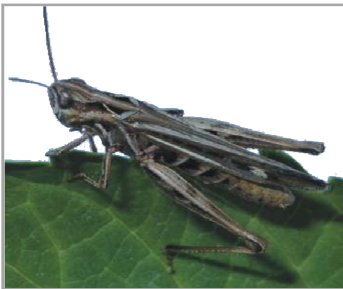
**ARRIBA:** Torres de captación de viento en Hyderabad Pakistán. Estas chimeneas sirven para orientar el aire dentro de los espacios creando un microclima diferente al externo, la colocación de sus aperturas son reguladas por marcos de madera que direccionan el aire exterior hacia el interior.

Un ejemplo de aprovechamiento de aire son las torres de viento, éstas se encargan de que incida el aire dentro de los espacios interiores de un edificio; un ejemplo de esta magnitud son los edificios en Hyderabad Pakistán, estos edificios tienen dispositivos especiales para captar el viento (torres de viento), éstos hacen que entre el aire a las estancias. Este elemento se conoce como “bagdir”, que es una chimenea empotrada en la pared, que llega hasta el punto más alto de la techumbre y con unas amplias aperturas dispuestas en diagonal respecto de la dirección predominante del viento, haciendo que baje la temperatura dentro del edificio.

Todas estas consideraciones y análisis de casos tiene como efecto el desarrollo y análisis de esquemas bioclimáticos conceptuales, los cuales ayudarán a generar un volumen sistemático de accesorios los cuales se integrarán a un sistema estructural; éste deberá acoplarse al entorno natural del ambiente, creando así el concepto de evolución celular en el modelo iconográfico final.

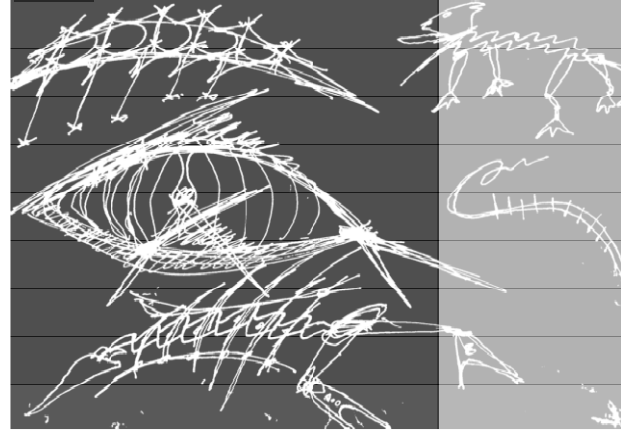
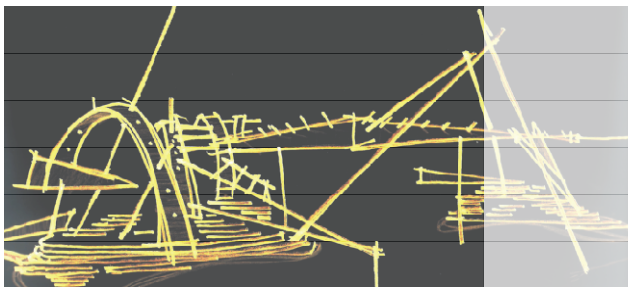
Para desarrollar el proceso de diseño experimental se generan los principales **conceptos estructurales en el diseño biónico** mediante el dibujo, el análisis análogo de la forma orgánica de algunos seres vivos (pez globo, mantaraya, lagartija y escorpión), con ellos se experimentará sus características de adaptación al medio ambiente, llegando a la conclusión de que son formas ligeras, sencillas y equilibradas, que a la vez son resistentes, flexibles y adaptables, que permiten generar nuevas ideas de diseño para el modelo arquitectónico de este trabajo; comprendiendo esta fase conceptual se genera por medio del proceso de diseño conceptual, la utilización de herramientas de ensayos como el dibujo y modelo tridimensionales, puesto que por medio de un modelo iconográfico se comprenderá la aplicación de procesos al proyecto final, generando una guía de experimentaciones análogas de la forma para la elaboración de un sistema estructural versátil.

Para desarrollar este proceso se tomaron tres figuras biomecánicas: la estructura orgánica del grillo, los huesos de las aves y el embrión humano, ya que cada una de estas formas biónicas tiene como principio la flexibilidad de adaptarse en contextos variables, éstos desarrollan un crecimiento estructural versátil para lograr su integración al entorno.



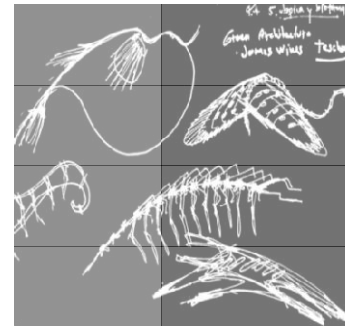
#### IZQUIERDA Y ABAJO:

La observación de la forma biónica en el grillo genera un modelo conceptual de estructura, la cual aplica principios de flexibilidad y fragilidad que se pueden aterrizar EN un modelo experimental de diseño.



#### ARRIBA Y DERECHA:

La experimentación por medio de dibujo nos hará comprender la estructura orgánica biónica de forma análoga, esto para entender el sistema biomecánico de un esqueleto.

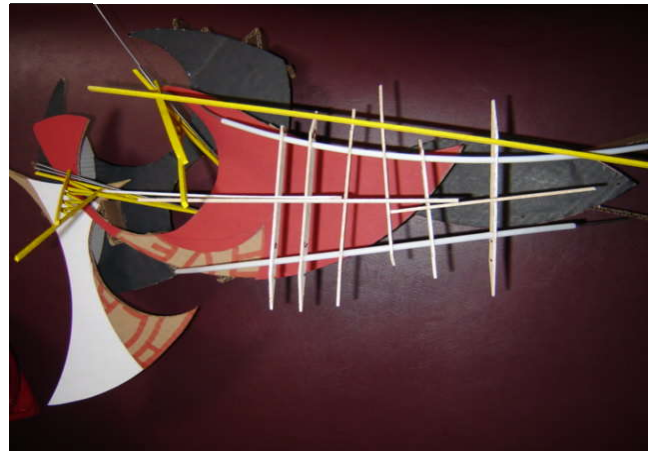


El primer análisis a desarrollar es la **estructura orgánica del grillo**, así como su comportamiento en su hábitat natural. Interpretación de las patas en la estructura de desplazamiento que propone operar mediante la tecnología del sistema telescópico, con amortiguamientos generados por una serie de resortes y pivotes, que le permiten al edificio estar desplazado del terreno a manera de palafito [flotando].

Se genera un bosquejo para comprender la forma ligera del grillo, el cual nos brinda una estructura fácil de elaborar con principios de adaptabilidad al contexto, toda esta interpretación nos deja como conceptos la fragilidad, la esbeltez, la ligereza, la adaptación y el mimetismo con su contexto, esto nos crea un modelo conceptual tridimensional de sistemas flexibles naturales, gracias a la ligereza de esta forma estructural grillo, ya que su fragilidad nos genera el concepto de adaptabilidad e integración a su entorno por medio de su exoesqueleto, el que nos brinda la estabilidad de todo el modelo, su propia ligereza nos da como base la flexibilidad de poder transformar su estructura, en donde también crea la protección necesaria por medio de paneles situados de manera diagonal, así se podrá prevenir en zonas críticas climáticas, dejándonos un principio de diseño estructural biónico transformable en su entorno.



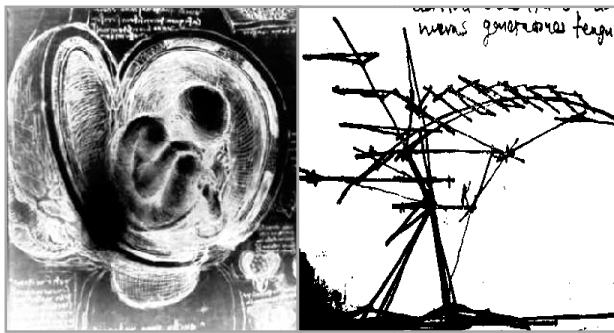
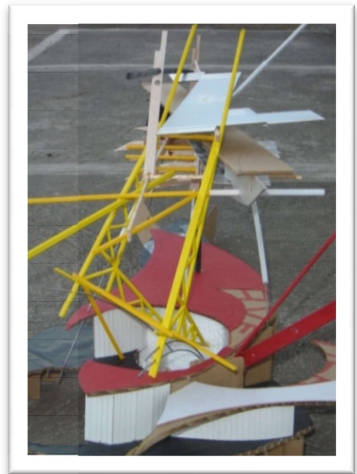
Otra estructura orgánica flexible y ligera son **las formas de los huesos** de las aves, ya que el interior de ellas es hueco y están llenos de aire, lo que los hace ser muy livianos; a su vez son muy fuertes y muchos de ellos están fusionados, lo que crea un esqueleto rígido, su forma genera conceptos como ligereza, flexibilidad, adaptación, fragilidad, a partir de esta serie de conceptos y elementos que se derivan del ave se generan ideas de diseño, haciendo metáforas y analogías aplicadas a las características de la estructura que se requieren en el modelo arquitectónico. En los dibujos se estudia el vuelo de los pájaros, en donde el aleteo muestra la característica referida.



Se hace la interpretación del esqueleto del ave para entender cómo trabaja esta estructura y poder llevarla a un modelo arquitectónico. Se crea el modelo tridimensional en donde se propone la estructura del ave como principio de diseño, el cual genera una estructura versátil y ligera la cual se basa en las patas que constituyen apoyos articulados que sostienen la estructura completa, las costillas complementan la estabilidad de la estructura con sus uniones esbeltas, las alas y el pico generan el espacio dentro de la estructura y las plumas sirven como protección al modelo, obtenidas por planos colocados estratégicamente para proteger el espacio, con ello generamos una analogía biónica adaptable a un entorno.

**ARRIBA Y DERECHA:**

Los principios estructurales de huesos de las aves tienen la propiedad de ser ligeros y resistentes, que ayudan a generar principios estructurales versátiles, tales que generan conceptos experimentales de diseño.



**ARRIBA Y ABAJO:** El embrión humano proporciona un sistema estructural adaptable dado que su forma geodésica ayuda a proteger el interior, esto nos da como principio de diseño la generación de una estructura curva que protege y transforma su espacio para adaptarse a su entorno.

Otro ejemplo de diseño biónico es **el embrión humano**, el cual desarrolla la idea de diseño mediante el trazo de la forma curva geodésica, la cual precisamente por su forma tiene estabilidad y una geometría adecuada a ello, con esto buscamos los significados biónicos en la forma del feto para que tengan una aplicación al modelo experimental, en el cual encontramos conceptos como fluidez, ligereza, curva geodésica, protección y adaptabilidad a su ambiente; todos estos principios de diseño se aplicarán al proceso de diseño estructural embrionario, el cual tiene la forma articulada del feto humano, adquiriendo jerarquía estructural por medio de la figura del embrión.

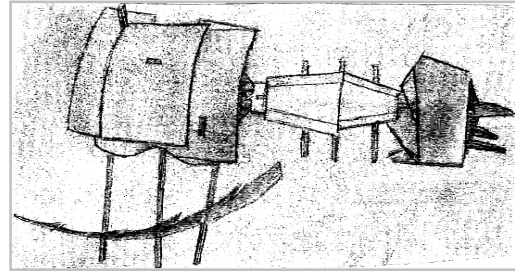


Su desarrollo experimental comienza mediante el dibujo de la forma del embrión, en donde se detecta su red geométrica y su imagen de crecimiento sistemático en la estructura; este desarrollo prepara la aplicación a un modelo tridimensional, utilizando las formas curvas de la placenta del embrión, que servirán para proteger el espacio interior del modelo; al igual se desarrollan sobre-estructuras de protección para adaptarse a su contexto, la sobre-estructura se sostiene por una curva principal que sirve como cordón umbilical de la forma biónica, creando un modelo iconográfico biónico.

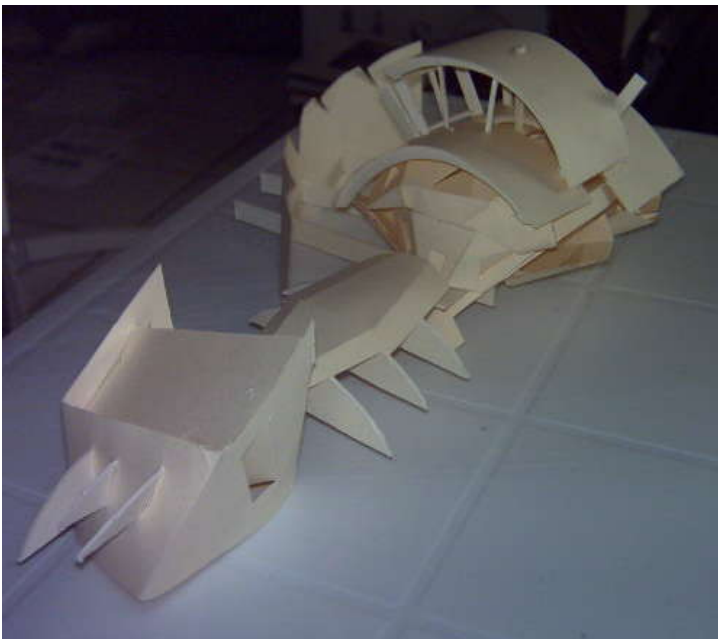


**ARRIBA Y DERECHA:** Ensayos de experimentación que producen un principio de estructura adaptable a su contexto.

**ABAJO:** El modelo experimental es un principio conceptual de la forma biónica en la estructura y muestra cómo puede evolucionar hasta adaptarse a su entorno.



Comprendiendo que la naturaleza brinda principios de diseño estructural, desarrollaremos un sistema estructural que se pueda adaptar a formas naturales; aplicando la **analogía Biónica** que realizamos en los ensayos, encontramos que la estructura ósea humana es la más resistente y delgada, pero por su propiedad porosa, hace que su estructura se adapte a un sistema estructural más flexible, haciendo que su integración sea menos agresiva a una convencional, aporta una mejor calidad de espacio al modelo



En cuanto a la estructura se forma un principio estructural biónico dinámico, éste se desarrolla por la integración de sus espacios al entorno, la geometrización de las partes irregulares, y forma una traza geométrica irregular, sus espacios se articulan con una línea rectora que le da un eje principal al modelo.

Adaptamos la forma del modelo a un esqueleto estructural en donde sus partes se integren a un cuerpo de manera simple, este se desarrollará en un contexto extremo donde la subestructura proteja a la edificación con dobles pieles, y composiciones coherentes a un entorno natural.

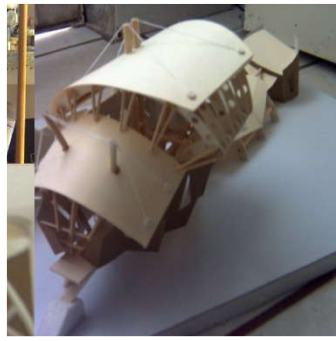
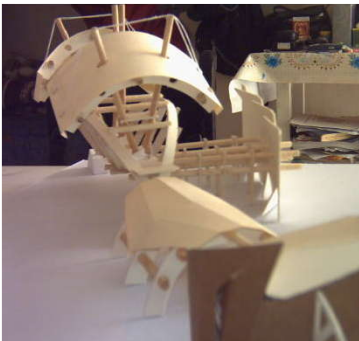
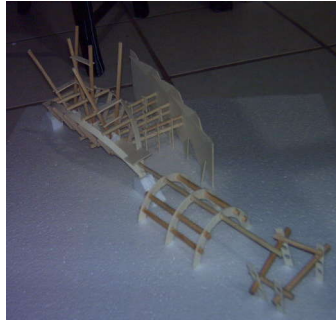
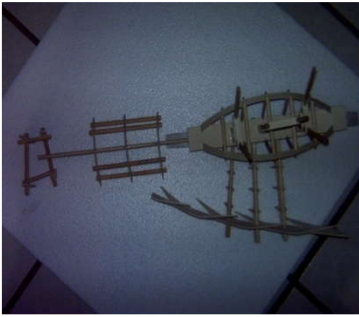
Reinterpretando los procesos de diseños anteriores dedujimos un principio de diseño que tuviera todos los alcances de una estructura flexible y adaptable a su entorno, estas aplicaciones se realizan en dos etapas; la estructural y la subestructural.

La primera etapa es la estructural, tiene un principio de diseño de la articulación humana, las partes que lo componen son ligeras, su forma crea un sistema estructural de espacios continuos y cambiantes que hacen una composición arquitectónica,

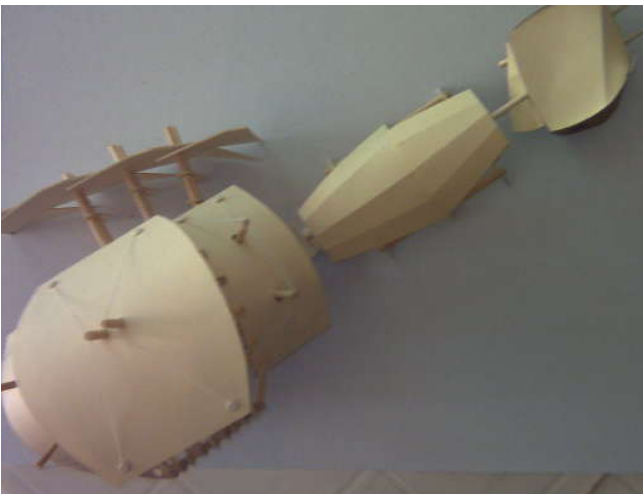
La segunda etapa es la piel de la estructura, la cual se va sobreponiendo de acuerdo al entorno del lugar; la subestructura crea una doble piel en el modelo, esto lo protege de fenómenos externos que se puedan ocasionar en el sitio.

Su techumbre tiene formas cónicas, las cuales sirven para proteger de la incidencia solar y para captar vientos, esta adaptación orgánica en la subestructura genera varios tipos de fachadas, las cuales están diseñadas para protección y composición arquitectónica del modelo iconográfico.

En todo el desarrollo se encontraron conceptos estructurales biónicos que se pueden aplicar a un sistema estructural, en el mejor de los casos la adaptación del modelo en un entorno extremo es uno de los principios que se aplican al proyecto, también la generación de protección por medio de la subestructura generó principios conceptuales aplicables al proyecto arquitectónico.

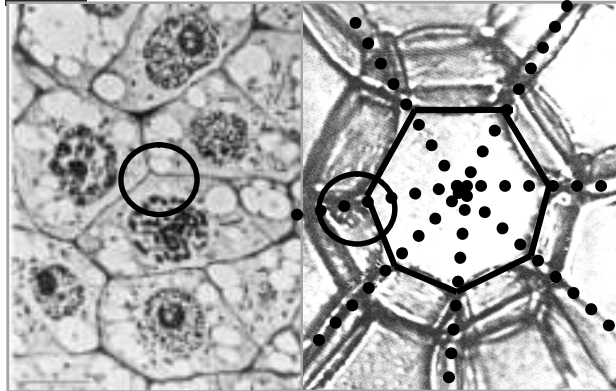


**ARRIBA Y ABAJO:** El proceso de ensamble del modelo dejó un principio de sistemas estructurales, ésta se adecua cuando muta para adaptarse al entorno, dando como resultado un modelo iconográfico de adaptación orgánica en el contexto extremo.



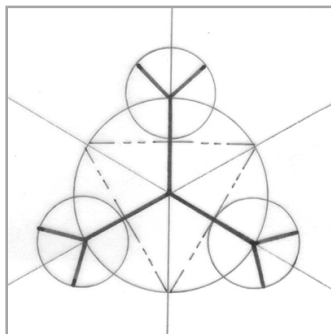
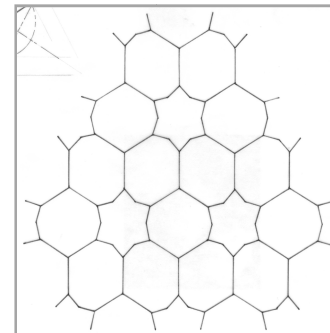
Para desarrollar el proceso de diseño experimental se generan los principales **conceptos estructurales en el diseño biomórfico** mediante el dibujo, en donde se analiza la geometría orgánica de algunas agrupaciones celulares, cuyo crecimiento ayuda a generar conceptos de adaptación al terreno variable, esto permitirá generar nuevas ideas de diseño para el modelo arquitectónico de este trabajo; comprendiendo esta fase conceptual, se genera por medio del proceso de diseño conceptual la utilización de herramientas por medio de ensayos como el dibujo y modelos tridimensionales, ya que por medio de un modelo iconográfico se comprenderá la aplicación del proceso al proyecto final.

Generamos una guía de estudio para la elaboración de un sistema estructural versátil; en el desarrollo de este proceso se tomaron dos figuras orgánicas; la primera la célula vegetal como desarrollo de crecimiento espacial geométrico, en donde podremos generar un sistema de redes y ritmos espaciales de manera natural, la segunda la estructura orgánica de la célula, nos ayudará a generar una estructura versátil en el espacio rítmico, en consecuencia se mostrará de manera análoga cómo se desarrolla una célula en un ambiente variable.



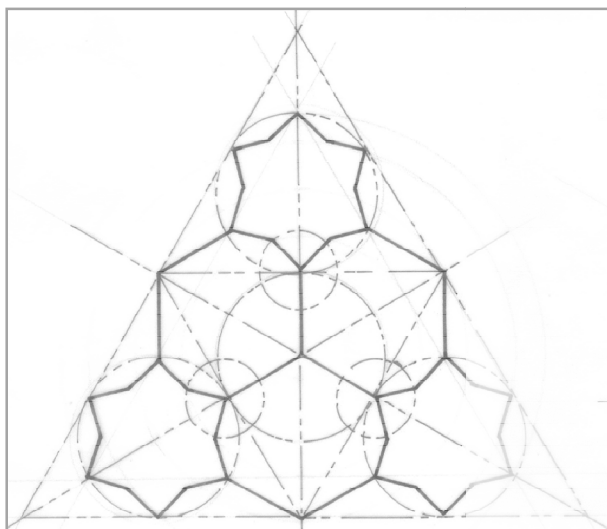
**ARRIBA Y DERECHA:**

Red de núcleos celulares de desarrollo continuo la generación de espacios flexibles que provocan estructuras cambiantes.



**IZQUIERDA:** Unión de tres células formando un nodo geometrizado (generador de crecimiento).

**ABAJO:** Polígono irregular esquematizado en un triángulo equilátero, (formación de agrupaciones en la traza).



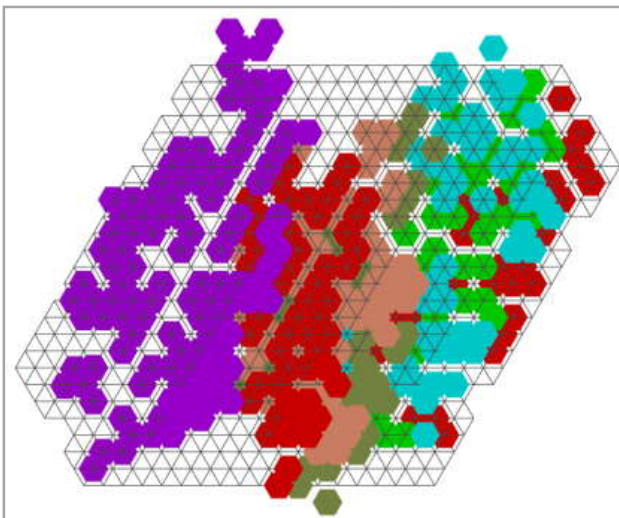
Partiendo de los referentes empíricos anteriores se analizará cómo se podría simular una geometría natural aplicada a una analogía organicista del **crecimiento celular geométrico**, éste desarrolla un sistema de redes espaciales, podemos observar que el diseño más coherente para general principios conceptuales de diseño, se puede obtener de la geometría celular ya que permite entender cómo un "organismo" resultante de una agregación de unidades elementales se agrupan en estructuras cada vez más complejas: el análisis parte de las unidades más elementales y se analizan posteriormente las formas de crecimiento, agrupación, división, densificación y transformación; a su vez se estudia el tejido estructural a través de sus paredes y sus encuentros nodales (aristas), fundamentales para unir los puntos importantes.

Para desplazar las fuerzas ejercidas por la misma célula que pasa a dar acceso a más espacio, con el crecimiento de sus conexiones convierte su entorno en un cuerpo más complejo, esta adaptación al entorno se geometriza por triángulos y puntos de encuentro; al realizar el análisis de una célula vegetal, se encontró que la forma recurrente son las envolventes poligonales de las múltiples aristas, siendo las más comunes las de seis aristas.

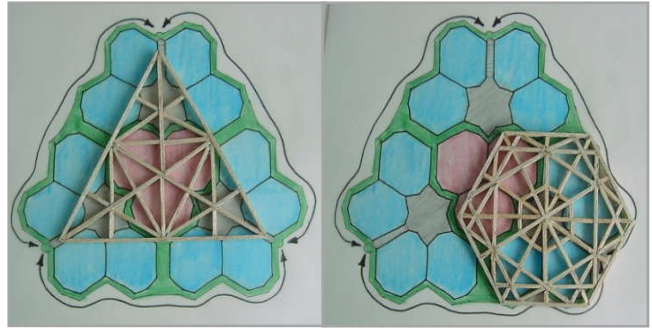
Estos cuerpos constituyen la base en la que se desarrolla el crecimiento de la célula y la cual se estabiliza. Estas se identifican por la traza reticular que generan a la hora de desarrollarse en su espacio, seleccionamos un patrón recurrente en estas uniones de las células y se procede a geometrizar sus trazas, las cuales en sus puntas originan los triángulos, con esta forma direccional del perfil hexagonal de la célula, podemos observar que el patrón también tiene como figura el punto radial, en la cual es proporcional al triángulo y al hexágono.

Con esta forma básica, se generan las subsiguientes buscando todos los posibles ensamblajes y acomodos, siguiendo siempre los ejes que se definieron en la primera geometrización. Por la deliberación de dar al segmento básico ejes a 90, 30 y 150 grados, se observa que las figuras resultantes se encuentran esquematizadas dentro de sistemas triangulares.

Así pues, aunque las formas específicas parecieran polígonos irregulares, la forma genérica básica es el triángulo equilátero, incluso en el hexágono. Una de las propiedades de los triángulos regulares es su modulación y el consecuente desarrollo de formas contiguas que pueden generar una red o sistema. Si bien el segmento generador tiene una geometría muy simple, la red generada puede llegar a ser muy compleja, así que es necesario definir los límites en que el desarrollo de la red será suficiente para satisfacer la organización y función que se busca aplicar.

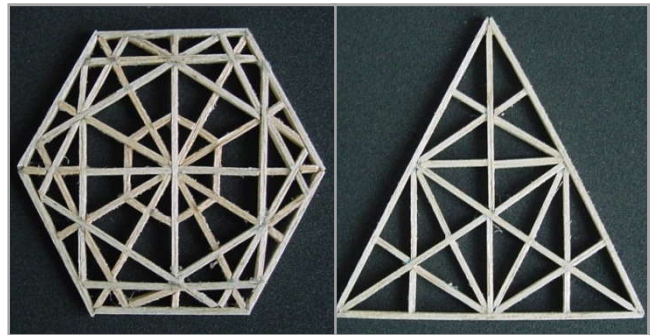


**ARRIBA:** Se generan sistemas de redes y ritmos espaciales que ayudan a crear una base de crecimiento celular.



**ARRIBA:** La red se subdivide en trazas triangulares en donde se desarrolla espacios versátiles.

**ABAJO:** Dentro de la red también se encuentran otras formas y trazas que ayudan a hacerla más flexible.



Se opta por la utilización de tres células hexagonales superpuestas en dos de sus seccionales cada una. Para entender la unidad celular independiente, desde un punto de vista geométrico, se procede a encontrar los trazos reguladores del sistema.

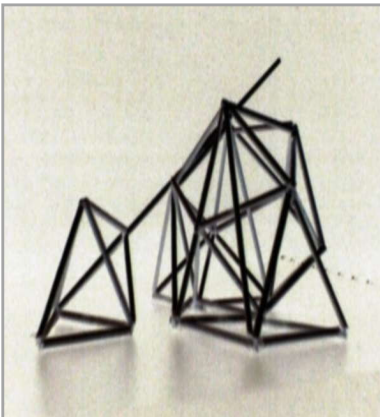
Básicamente es una agrupación triangular conformada por tres formas hexagonales superpuestas en una sección. Al analizar las relaciones existentes entre los ejes y puntos "clave" de las figuras internas, se desarrollan sistemas de triangulación interna muy peculiares. Mediante la geometría triangular, se puede traducir una forma visualmente irregular como los polígonos celulares a sus formas genéricas más simples, en las cuales estas redes pueden llegar a ser más grandes y acoplarse como un sistema de red espacial, generando pautas y ritmos en el espacio; ya construida la red geométrica triangular, es posible someterla a una aplicación de formas que se pueden agrupar en los espacios.

Siguiendo con la misma analogía celular, se desarrolla una **estructura celular orgánica** dentro de una red triangular; generando una geometría en donde la forma estructural simulará la forma de la estructura natural de una célula, delimitamos el espacio interior de esta traza triangular, tomaremos un sistema estructural simple y con esto recurrimos a formas modulares simples de triángulo; adoptamos como modelo el icosaedro, esto nos brinda un sistema estructural resistente, y una modelación triangular que ayude a delimitar el espacio, para estructurar el sistema, descomponemos el icosaedro a sus líneas de unión y nodos.

Principalmente se trata de dos cinturones principales, dando forma a un pentágono cada uno de ellos; luego cada uno se une a un punto vértice formando dos pirámides y finalmente se unen a por la unión de cada punto de las bases de las pirámides. La intención es que el modelo responda específicamente a las necesidades de la función, el espacio, la forma y la estructura.

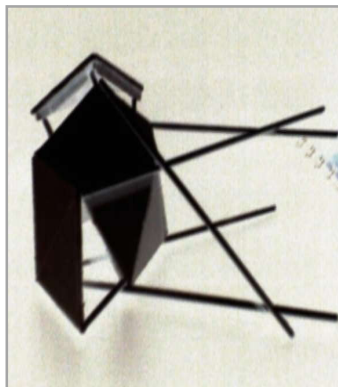
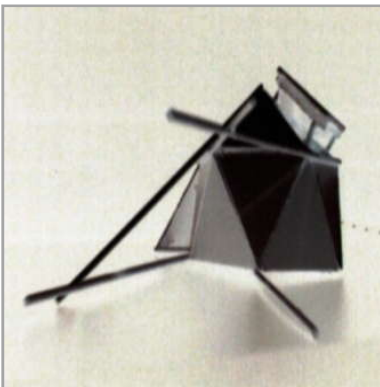


**ARRIBAY DERECHA:** El icosaedro es una de las figuras geométricas más resistentes en sus uniones nodales.



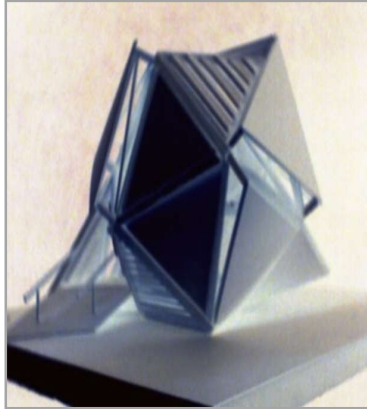
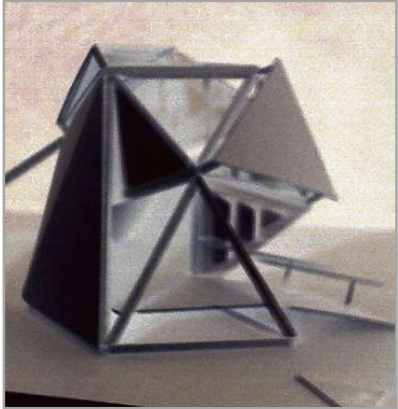
**IZQUIERDA Y ABAJO:**

Cuando la geometría se vuelve estructura y se transforma, se adapta y crea diferentes tipos de formas para integrarse a su contexto.



Con esta geometría pentagonal y triangular se trabajará como esqueleto estructural a base de principios que utilizarán elementos de la estructura para delimitar su espacio, con la idea de llevar a una industrialización, éste podría ser un sistema estructural fácil de armar en sitios muy accidentados o de difícil acceso.

Se busca un sistema ligero y resistente; las cargas se disiparán a través del esqueleto estructural, así los muros podrán ser más ligeras y construir espacios más flexibles y adaptables. Estos muros o paneles se sujetarán a la estructura y en un sistema similar al cancel, a modo de que permita el movimiento o abatimiento de ciertos paneles en búsqueda de movimientos constantes, para permitir una mejor adaptación en su entorno. Debido a la ligereza que le brindan los muros, se propondrá una cimentación de elementos aislados, o una losa de cimentación.



**ARRIBA Y ABAJO:** La transformación de su forma crea aditamentos en la estructura que ayudan a integrarse a su ambiente; la delimitación del espacio y la forma, hace más versátil su espacio y su sistema estructural.



Así tendrá como principio un modelo formado a partir de planos que mantengan movimiento, de modo que su estructura le dé la capacidad de adaptarse a su ambiente aprovechando los recursos naturales, como coleccionar el viento o protegerse contra el asoleamiento.

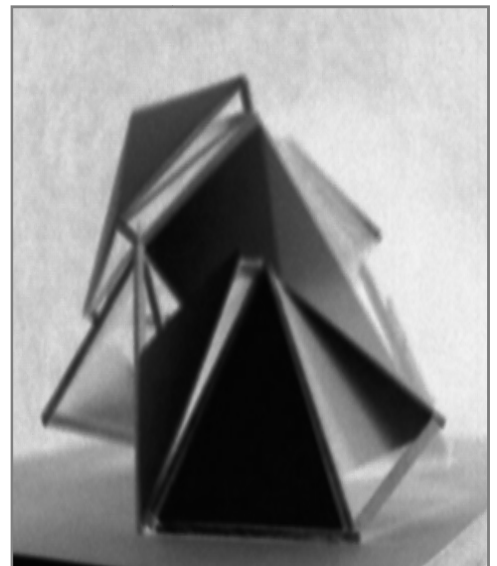
El modelo será soportado totalmente por la geometría de la estructura, traveses y columnas, permitiendo así trabajar una caja estática, que empiece a presentar movimiento y transformación de planos a vanos de absorción de energía. Los elementos sobre-estructurales ayudarán a un mejoramiento en el control térmico, adaptados sólo como principio en los elementos del modelo, sus propios planos abatibles, dobles muros y doble techumbre, aunque emplearemos sistemas reticulares que nos permitan un mejor aprovechamiento de los recursos naturales como las corrientes, y un menor calentamiento térmico.

Este podrá ser emplazado en cualquier situación, y por medio de su estructura se podrá disponer dentro de un complejo estructural urbano, o adosar otros módulos para crecer el espacio.



**DERECHA E IZQUIERDA:**

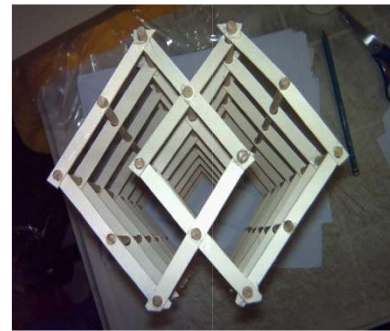
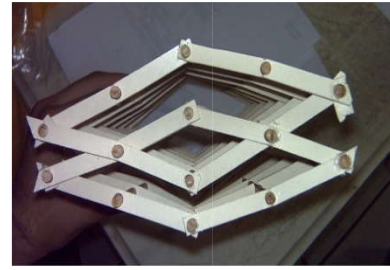
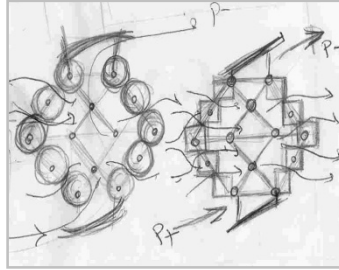
La formación de paneles triangulares que son utilizados como dispositivos de protección y regulación dentro del modelo; los espacios de ventilación se forman por medio de chimeneas térmicas, esto provoca movimiento continuo en la figura del modelo.



Para aplicar ideas de **Bioforma** a un modelo iconográfico se elaboraron ensayos de conceptos de estructuras y espacios flexibles, estas formas nos darán el origen de un modelo, el cual tiene como base una forma orgánica, la que se manipula; para una mejor comprensión se divide en dos etapas: el ensayo estructural y el espacial.

En el ensayo estructural se elaboró una estructura en forma de tijera, la cual forma varias "X" dándole más flexibilidad y movilidad a la estructura, esta forma hexagonal ayuda a crear una mejor adaptabilidad estructural.

El origen principal de la estructura es la transformación del espacio, ésta se puede dividir hasta crear un hábitat dentro y fuera de ella; estos conceptos se manejan para una aproximación conceptual de modelo iconográfico, ya que estas características ayudarán a crear una estructura resistente y ligera.



**ARRIBA Y DERECHA:** El proceso de diseño se conceptualizó por medio de una estructura retráctil que pueda albergar una mega-estructura portante.



**IZQUIERDA:** Su elaboración conceptual del espacio se rigió por la agrupación de módulos de vivienda en una estructura retráctil y orgánica, la cual pudiera cambiar constantemente de acuerdo a las necesidades espaciales.



**ABAJO:** El crecimiento rítmico de mega-estructura le da un principio conceptual muy formal para crear pautas de diseño dentro del espacio, así como composiciones espaciales dentro de la estructura.



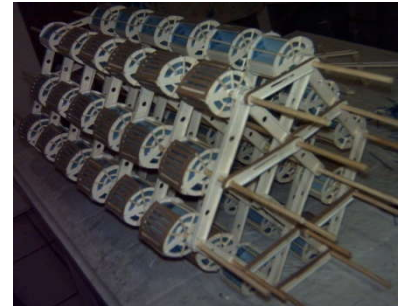
En el ensayo espacial se elaboró una serie de espacios rítmicos dentro de la estructura flexible, se sobrepuso a una sobre-estructura que pueda manipularse de forma continua pero con pautas coherentes.

Los elementos de la estructura pueden llegar a crecer dependiendo de la situación en la que se encuentre; esta forma aparenta una torre de cápsula en posición horizontal, la diferencia de este modelo es que su forma funciona como un órgano celular que crece para integrarse al entorno de una manera menos agresiva.

Definimos la forma de este modelo por la modulación de sus espacios y la flexibilidad de su estructura, dejando principios de diseño que se integran al modelo iconográfico.



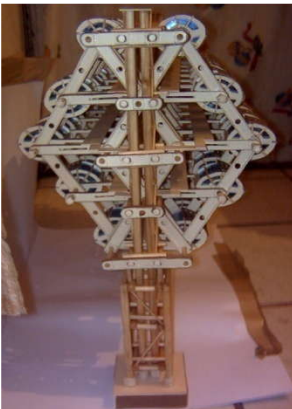
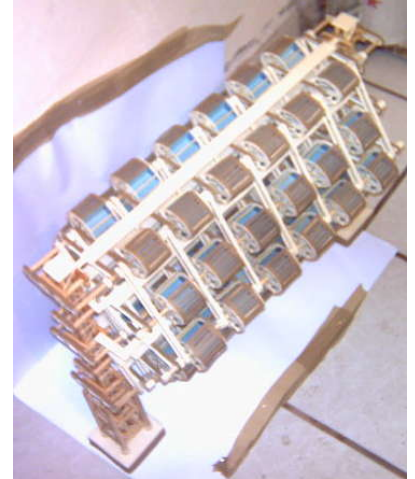
Reinterpretando los conceptos y referencias de Bioforma llegamos a la elaboración de un modelo iconográfico de una mega-estructura orgánica a base de una estructura retráctil, la cual tiene formas modulares que se pueden adaptar a ésta misma; para comprender mejor el fenómeno de la mega-estructura, se dividirá en dos escalas, la mega-estructura como el todo, el espacio micro del módulo.



En la mega-estructura como un todo, se elaboraron dos distintas maneras de desarrollar una estructura enchufable, la cual tiene como base el hexágono en forma de tijereta; la estructura en sí puede ser modulada con cubos o con módulos cilíndricos, pero para un mejor estudio se indagó más en la forma cilíndrica ya que ésta tiene como ventaja su forma redonda; esta forma ayuda a que los vientos fuertes entren de forma más aerodinámica, si se estabiliza todo el sistema estructural.

**ARRIBA:** El modelo puede tener dos tipos de adaptación, cúbica y cilíndrica, pero el que se adapta mejor por forma es la cilíndrica, ya que tiene la figura aerodinámica para soportar grandes vientos.

**DERECHA:** El modelo consta de una mega-estructura retráctil que alberga habitáculos cilíndricos que pueden crecer y decrecer en dado momento si así fuese necesario.



#### **ABAJO E IZQUIERDA:**

La estructura del modelo está constituido por formas orgánicas hexagonales, ésta se alarga horizontalmente en forma de puente, sostenida de dos mástiles principales lo cual sirve como brazo mecánico para mover la mega-estructura si hay una situación extrema en el sitio.

Otra característica del modelo es que la mega-estructura puede ser desmontada completamente y transportarse a otro lugar; sus pilares principales tienen la forma de un brazo mecánico lo que ayuda a darle la movilidad y mantenerlo inmóvil, ésta sólo se limita a que su fijación debe ser rígida, ya que su peso y presión que ejerce la estructura en las uniones, son muy pesadas.



El concepto de movilidad se desarrolló porque la ciudad actual se mantiene siempre en constante movimiento, éste debe estar acorde con las necesidades del usuario.

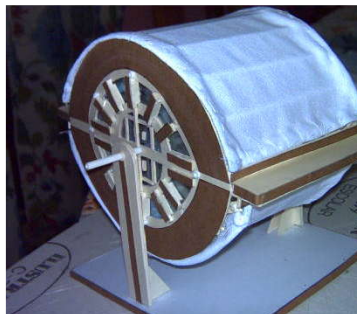
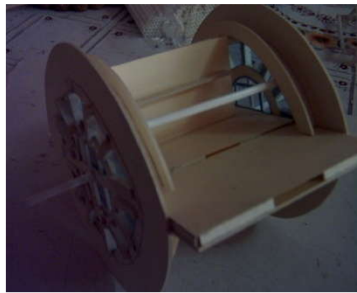
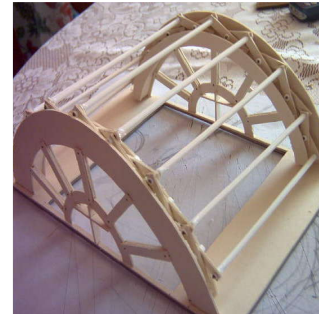
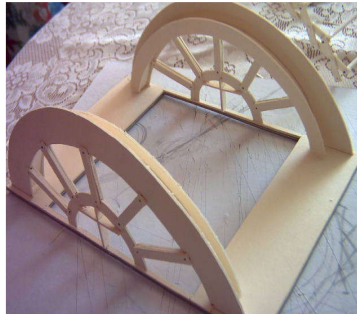
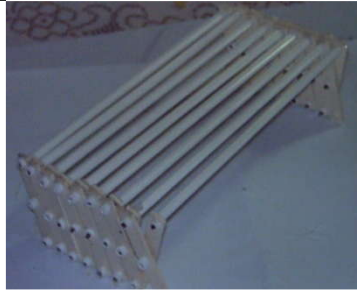
Su forma en general representa un buen principio de adaptación al contexto puesto que sus módulos están protegidos por persianas móviles que ayudan a impedir la incidencia solar dentro del módulo y la mega-estructura.

El **espacio micro** en el módulo se estudió en el ensamble de sus partes para la utilización de un hábitat dentro de estos módulos.

El modelo iconográfico de la módulo-cápsula se inspiró en la células cambiantes de la ciudad enchufable de Archigram, este modo de agrupación es para una ciudad más dinámica, la versatilidad de este habitáculo ensamble es que se acomoda de forma muy fácil en la mega estructura.

Está compuesta por piezas modulares e industriales, las cuales están formadas por vigas principales que sostienen el cubículo, éstas reciben una armadura en forma de "X", la cual ayuda a plegar la techumbre primaria, el módulo está hecho de tres techumbre, la primera es la retráctil que cubre la forma cilíndrica para dar más privacidad al interior, la segunda techumbre está constituida de un muro cortina de vidrio que cubre la cubierta de lluvias, la tercera son persianas móviles que ayudan a proteger el modelo de la incidencia solar, en las áreas interiores se encuentra una serie de paredes modulares que se acoplan y forman las áreas de las habitaciones, las paredes tienen la versatilidad de cambiar si fuese necesario, ésta adaptación de estructura y subestructura, crea una doble piel en el modelo, la cual se integra con el entorno del lugar.

En el modelo experimental se encontraron conceptos estructurales flexibles y modulares que se pueden aplicar a un sistema estructural, éste es adaptable a un clima extremo y adaptado a su entorno, esto por la fabricación modular de sus piezas y protecciones subestructurales, estas aplicaciones se pueden implementar en el proyecto arquitectónico.



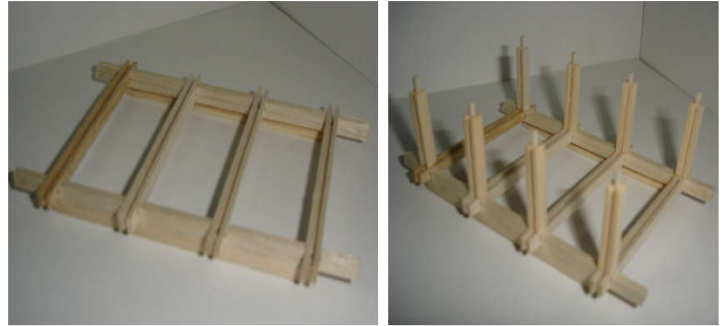
**ARRIBA:** Este proceso de sistema prefabricado nos da un principio de diseño aplicando una modulación en un sistema estructural. La estandarización de las piezas da como resultado una construcción más rápida del modelo.

## SISTEMA PREFABRICADO.

Otra **propuesta alternativa** del espacio micro se desarrolla con el principio anterior a base de elementos prefabricados, diseñados para ensamblarse y transformar el espacio de acuerdo a su entorno, ésta se desarrolla a base del concepto de cápsula abierta, lo cual la hace más flexible; su forma se genera con una serie de piezas creadas por marcos estructurales que soportan la techumbre curva unida con nodos lo cual estabiliza la estructura, su base también se une con una curva o se adapta a un cimiento fijo o móvil.

Para este caso se desarrollara con una geometría curva para adecuarse al experimento de la mega estructura flexible, con ella se fabrican las piezas para que deslicen en los marcos y sus uniones tengan mayor versatilidad de movimiento en la piezas, este modelo también genera sus propios dispositivos bioclimáticos para darle al sistema una mayor adaptabilidad; en una de sus fachadas genera una protección prefabricada que se puede unir fácilmente, la fachada de mayor incidencia de viento se mantiene abierta dejando pasar el aire, la abertura en la techumbre sirve para generar succión y acelera el viento en el módulo teniendo una mejor térmica en el espacio.

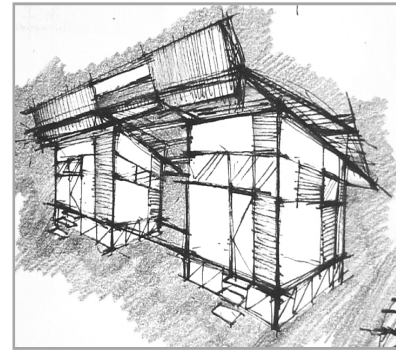
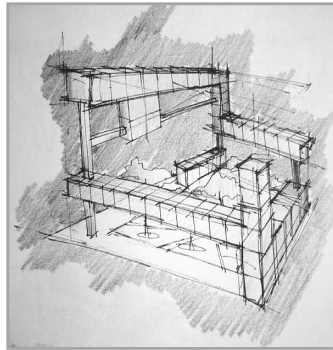
Este modelo está desarrollado para un clima cálido-húmedo, lo cual explica que debe ser muy abierto para paso de los vientos y protegido en las zonas de mayor incidencia solar; los conceptos de prefabricación modular, proyectan como una estructura versátil que se puede adaptar a un contexto variable y agresivo, comprendiendo que el modelo se desarrolla por módulos habitables que pueden ser armados y desarmados para poder ser transportados con mayor facilidad, y satisfecha también las necesidades de mantenimiento; se pretende que este módulo pueda ser utilizado en terreno firme o de lo contrario pueda ser colgado de una estructura y no tenga que ser modificada la forma de éste, en consecuencia nos da las pautas que tenemos que considerar para el proyecto final.



**ARRIBA:** Se desarrolla a base de conceptos de fabricación, se elabora a base de piezas industrializadas y moduladas, ésta se unen y forman marcos estructurales fuertes en donde se colocan paneles en su base y vigas de ligue en sus puntos; la estructura tiene la capacidad de deslizarse, esto ayuda a que pueda transformarse constantemente al igual que transportarse.

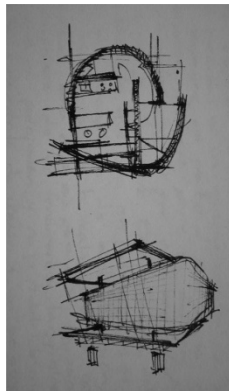
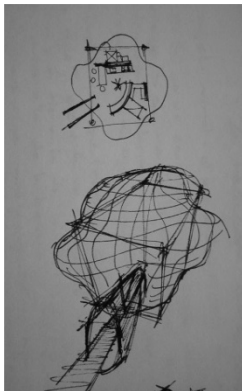
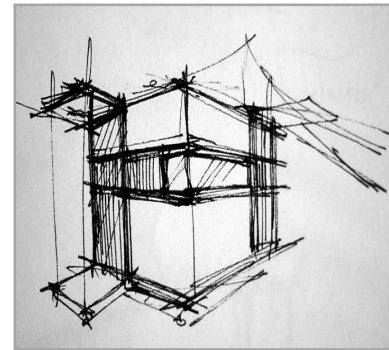
El diseño geométrico sistematizado se fundamenta en las consideraciones sobre las formas y principios existentes en la naturaleza, como su crecimiento y orden estructural en los organismos; se realizará una observación en el comportamiento de las funciones y morfología en las estructuras orgánicas a base de una geometría fractal, la cual nos ayuda a comprender cómo se debe de adosar una estructura a un terreno variable; en consecuencia se formarán sistemas de redes y ritmos integrales al contexto en donde sus espacios puedan integrar una estructura más adaptable al entorno.

Reuniendo los conceptos de crecimiento orgánico y la idea de poder crear el habitáculo, emplazándolo en cualquier sitio, poder desdoblarlo, asumir el espacio y al final del día poder recoger sus cosas y marcharse, como cuando uno realiza un picnic o campamento. De tal forma uno puede llevar su modo de vida de un lugar a otro, sin necesidad de cambiar de apartamento.



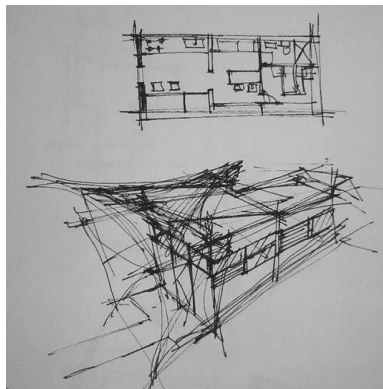
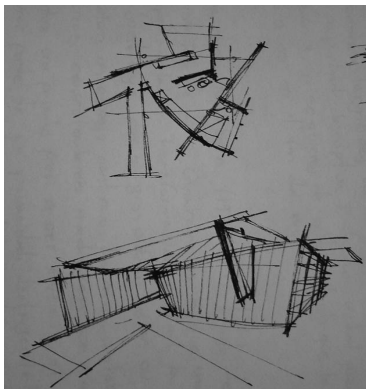
#### ARRIBA Y DERECHA:

Espacios esteras, que se van adosando unos con otros, y a su vez sobre otros; todos sobre una estructura que soporte todo el complejo, le proporcione servicios y sirva de circulación entre el mismo complejo.



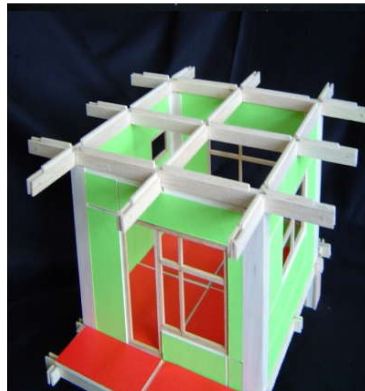
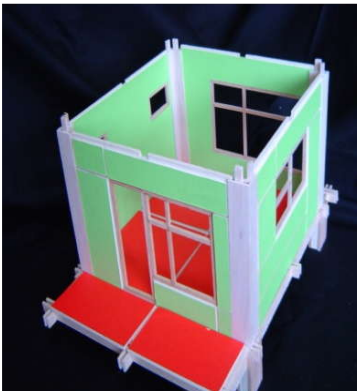
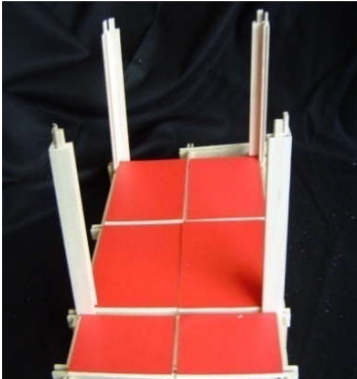
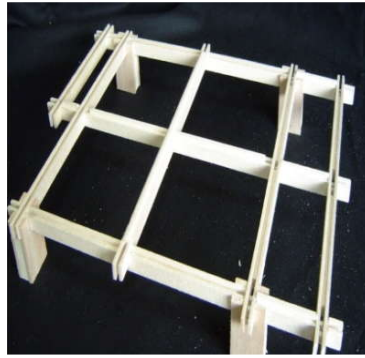
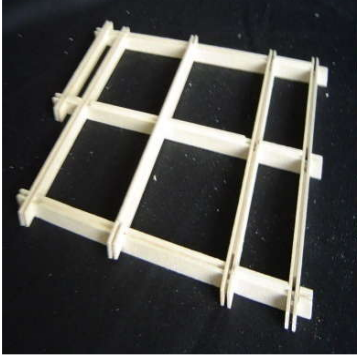
#### IZQUIERDA Y ABAJO:

Las soluciones de espacio en un sistema prefabricado se desarrollan por medio de una traza geométrica en donde el espacio interior se resuelve por medio de la forma cúbica en donde puede tomar diferentes figuras, en donde el espacio se deforma e integra gracias a la flexibilidad geométrica del sistema.



De particular importancia es referirse al diseño de todas las piezas; nodos, ensambles, desplantes, fijaciones y el sistema en sí; de manera que se provea al prototipo de versatilidad de usos y de mecanismos, logrando versatilidad de adaptación al medio.

La idea de habitáculos contenedores, que realmente resulten versátiles, en cuanto a que se puedan adosar en una estructura en la ciudad, o simplemente descansar en cualquier parcela o espacio abierto, solucionándose así mismo sus necesidades de servicio, energía y desperdicio. La idea es trabajar sobre un módulo que tenga la facilidad de disponerse en cualquier lugar (campo, ciudad, agua, acantilados) y de cualquier forma (adosada, colgada, flotando, sobrepuesto), y que a su vez, trabaje en un sistema de ensamblaje modulado que permita la creación de nuevos espacios (agregando más módulos), así como la reposición de elementos dañados o viejos.



Después de algunos esquemas realizados por medio de dibujos, desarrollamos una propuesta de diseño que servirá para la siguiente experimentación, la propuesta contempla el diseño de un **habitáculo desmontable** con módulos de servicios que funcionan aislados de la estructura conectados sólo a la instalaciones de servicio, y por su parte el mobiliario trabaja de forma flexible, determinando la función de un espacio a la actividad a realizarse en el mismo.

En general todo el modelo es flexible y susceptible de cambio, siempre dentro de la estructura dada, misma que sirve de soporte y liga entre módulos estera y al sistema de aparejo a la estructura urbana. Las instalaciones se trazan sobre la estructura, éstas forman parte en los ensambles.

La estructura se forma de un ensamblaje de largueros y postes que se rigen en función del emplazamiento que se quiera adoptar; con nodos de unión y tensores. Se desplanta sobre un sistema neumático de pilotes o bien se adosa por cualquier parte de la estructura, ya sea que quede colgado, adosado o apoyado, teóricamente aplicaremos un plan de diseño en los muros que se utilizarán en los paneles; será con bastidor de aluminio, cubierto con placas de este aluminio en ambos lados, y poliuretano o resina plástica en el interior para obtener efectos térmicos.

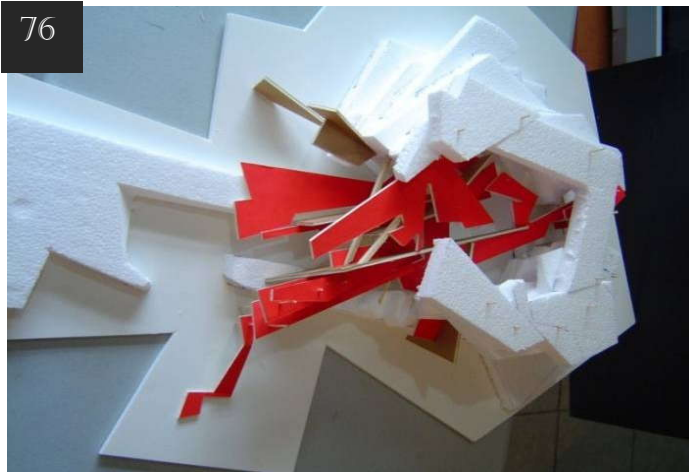
Estos son adosados a la estructura, y en caso de deterioro, sólo se repone la sección dañada. También se utilizan paneles con elementos abatibles y plegables.

**IZQUIERDA:** El módulo se puede desplantar sobre el tejado de un edificio, o espacio rural, y permite siempre el ser adosado a otro módulo para crecimiento, y finalmente, podrá ser insertado sobre algún espacio disponible dentro de la estructura modular urbana.

Aplicando el diseño de las esteras anteriores, se realizarán **modelos experimentales en condiciones extremas**, para comprender la forma de los conceptos geométricos conceptuales de la geometría fractal en el terreno llegando a formar trazas geométricas que se describirán como planos (habitáculos), y estructuras secundarias (vigas y soportes), en el modelo se pretende interpretar una ciudad hecha mega-estructura, que soporte planos, y estos planos están conformados a su vez por miles de módulos habitáculos en forma de esteras.

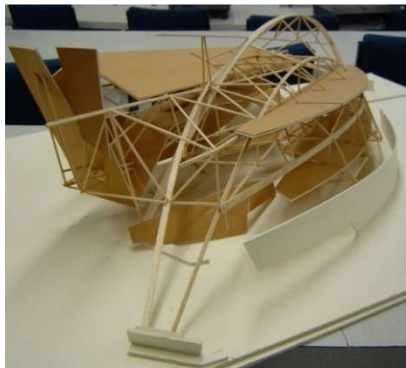
Esta ciudad puede crecer y decrecer a necesidad, e inclusive podría ser totalmente transportada a otro sitio, ya que su versatilidad es modulada al terreno; en este caso es una ciudad enterrada, la cual se somete a una situación extrema en donde la estructura ayuda a integrar el espacio en el terreno formando trazas adaptables y modulables; ésta misma siempre establecerá un límite de crecimiento, que permita controlar y prevenir problemas comunes a las ciudades que hoy en día crecen sin control; se busca cierto orden de emplazamiento mediante organización fractal en función de lo accidentado del terreno y de los necesidades que la ciudad pueda tener, generando la plusvalía de los espacios disponibles.

76



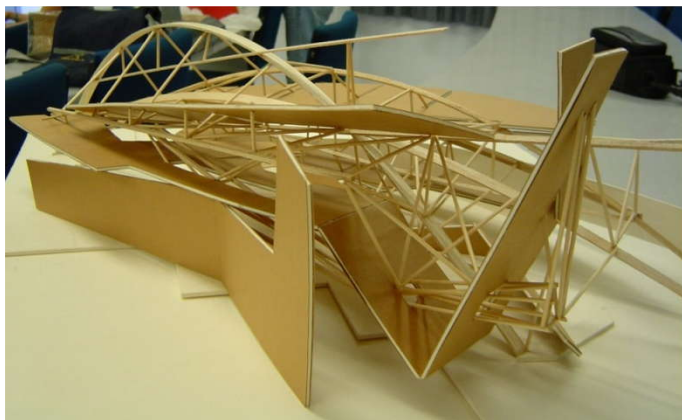
**ARRIBA Y DERECHA:**

La geometría fractal ayuda a generar una mega-estructura adaptable en el terreno extremo, los planos horizontales y verticales simulan el crecimiento celular, los planos simulan la agrupación de cubos habitacionales en donde su estructura secundaria sirve para sostenerlos y abastecerlos de los servicios de infraestructura.



**IZQUIERDA Y ABAJO:**

El modelo se integra al contexto gracias a la estructura segmentada, en donde su espacio se integra a base de módulos planos y verticales, que en conjunto forman un modelo iconográfico de la geometría fractal que se aplicarán en el modelo final.



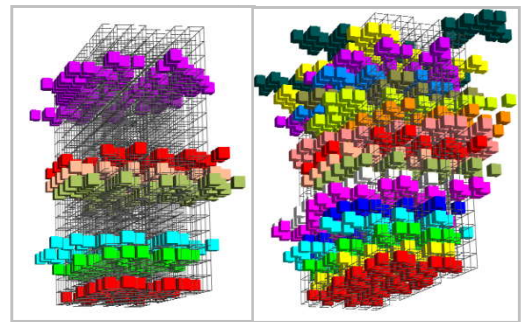
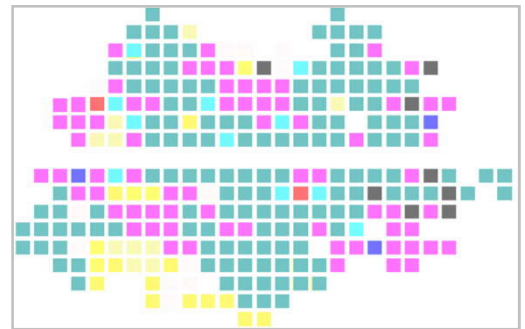
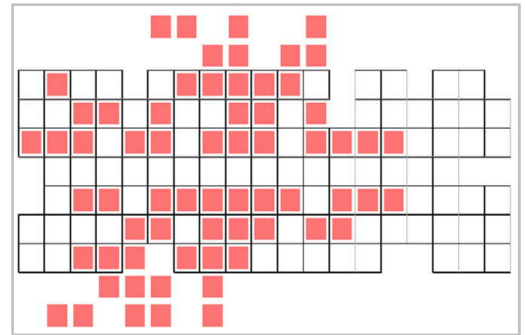
Otro ensayo experimental de **sistemas geométricos fractales**, se desarrolla en una mega-estructura fragmentada colocada en planos suspendidos sobre una estructura que se soporta en dos apoyos. En este modelo se intenta interpretar una situación de ciudad en un puente, o en un gran claro, entre dos montañas. La idea es que la forma de estos planos en el modelo esté en constante cambio dado por el intenso movimiento de la población, ya que cada estera puede ser movida de una ciudad estera a otra, e inclusive se reubique todo un sector de la ciudad de acuerdo a las necesidades que vayan surgiendo.

Así, cada módulo puede llegar a una ciudad estera y adosarse a la estructura que es a la vez infraestructura y servicio, en este caso la estructura se constituye en dos grandes curvas reforzadas por costillamientos laterales, apoyadas en terrenos variables en situaciones extremas, esto nos ayuda a comprender el tipo de emplazamiento estructural que puede tomar una estructural fractal grande, y nos da principios conceptuales de cómo desarrollará una traza mayor de crecimiento del espacio entre la estructura.

En el ensayo experimental se elaboraron principios de diseño, los cuales provienen de las analogías orgánicas, como consecuencia se elaboró un **Sistema de redes espaciales** y posteriormente se encuentran ritmos espaciales dentro de ellas, esto para dejar una serie de conceptos de modulación y estandarización dimensional dentro de los espacios, así pues se integra en esa recta reticular la manipulación estructural por medio de piezas.

Este sistema de red espacial se elaboró por medio de una retícula cuadrada, la cual da como resultado un crecimiento ortogonal pero con un eje lineal en medio que indica el camino que se debe de seguir, este eje sirve como línea rectora de crecimiento del modelo, también se encarga de llevar la infraestructura de servicios a los cubículos aglomerados en la línea principal; en esta traza también se desarrollan pautas rítmicas que se dan ya cuando el modelo toma volumen, su crecimiento puede ser horizontal o vertical dependiendo de la necesidad de crecimiento del habitad del modelo.

**DERECHA:** Proceso conceptual de diseño, se crea a través de un sistema de redes y ritmos espaciales, en el cual se elabora una traza reticular ortogonal para crear un sistema rítmico. Para que posteriormente pueda crecer ordenadamente.



**IZQUIERDA:** El proceso conceptual de la sobre-estructura. Esta se desarrolló en mutar en varias formas, esto lo hace más adaptable a casi cualquier contexto, ya que podrá tener una apariencia diferente en cada diferente sitio.

Estos sistema pueden llegar a crecer en muchas formas, pero siempre teniendo una pauta coherente que se integra al contexto, la adaptación del modulo se debe a la mutación de una adaptación integral al entorno, un caso similar es la célula: cuando se adapta a un entorno, muta para crear un microcosmos que le dé una mejor integración al cuerpo que se ha adherido; así como esta breve analogía, el cubo dentro de la red espacial, muta, y su mutación se creó por medio de geometrías que ayudaron a generar esta transformación experimental de adaptación al contexto natural.

Esta transformación se elaboró para ver qué tipos de diferentes formas puede tomar el cubo en un contexto, esto para protegerse de las incidencias climáticas del lugar y para integrar su forma más pasivamente, sin agredir al contexto natural que lo rodea.

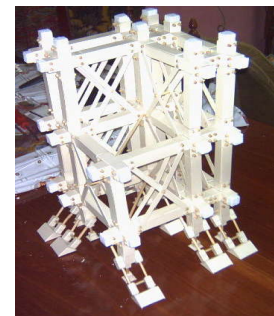
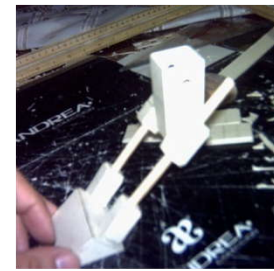
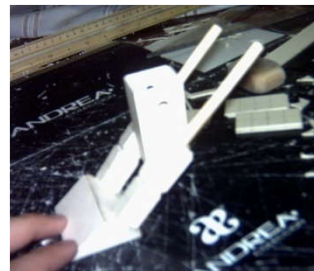
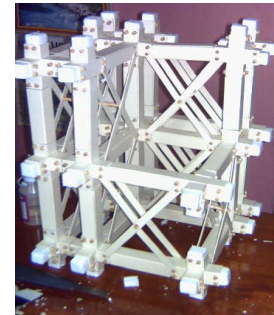
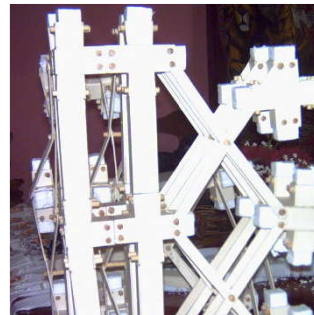
Reinterpretando todos los conceptos de sistemas de redes y ritmos espaciales y las mutaciones celulares cubo, se definió el sistema estructural del modelo iconográfico del proyecto arquitectónico, el cual tendrá los conceptos de los dos experimentos anteriores pero readaptados a la situación más abstracta del modelo.

El modelo iconográfico se desarrolla en base a conceptos reticulares que se vieron en los ensayos experimentales; para un mejor análisis, se realizará un sistema en base a nodos, esto ayudará a entender cómo es un sistema estructural modular flexible, se puede aplicar en el modelo iconográfico del proyecto arquitectónico creando una serie de piezas estandarizadas, creando así el sistema de redes y ritmos espaciales, el cual integrara todos los conceptos principales del proyecto ya antes experimentados, así como los conceptos biónicos y biofórmicos que apliquen una integración mas formal para el volumen dentro de un contexto, esto propiamente podrá ser desarrollado en un proyecto arquitectónico.

Para desarrollar el modelo se elaboró una retícula estructura, la cual está hecha a base de nodos, el nodo como punto de encuentro de todas las líneas que generan un sistema estructural fácil de montar y transportar, para darle la suficiente resistencia y ligereza el sistema nodal se elaboró con un sistema retráctil, el cual ayuda a doblar toda la estructura, para poder ser empaquetada y trasladada a otro sitio donde se necesite.

Este principio facilita su estandarización dimensional y proporciona un sistema constructivo muy rápido de ejecutar, su cimiento hidráulico le da mucha más movilidad, ya que el cimiento tiene pistones que se sujetan en el terreno de manera más natural, su forma ayuda a que se utilice en casi cualquier tipo de terreno variable.

Como consecuencia de la estructura móvil y retráctil se creó el sistema de red espacial donde será montada una red ortogonal, ésta tendrá como principio un sistema rítmico espacial que creará la composición arquitectónica de todas las fachadas del proyecto.



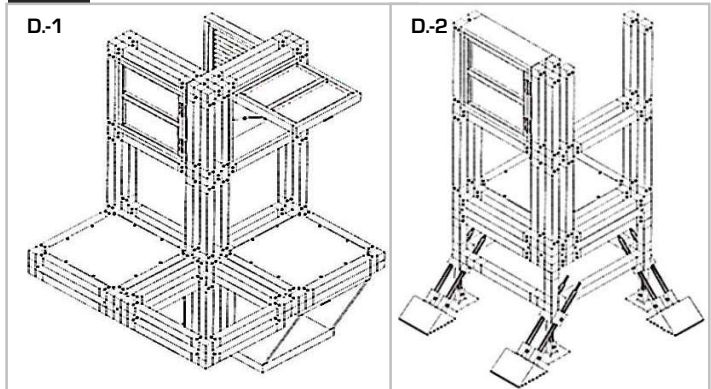
**ARRIBA:** Este proceso de construcción de un sistema flexible, nos da como consecuencia un principio estructural móvil, el cual nos brinda flexibilidad estructural que buscamos para el modelo iconográfico del proyecto.



Comprendiendo la reinterpretación anterior se adaptará el modelo en un ambiente que aplique el principio de un sistema flexible, estos esquemas crean un modelo con diferentes mutaciones bajo un sistema de ritmos espaciales, en los cuales el crecimiento se dará bajo una red rítmica y su esqueleto será esbelto, esto da como principio generar esquemas de crecimiento y adaptación; para comprender que cada composición estará sometida por el fenómeno climático, se esquematizó que los nodos deben adecuarse para cada tipo de orientación del modelo, esto da marcha a la adaptación tecnológica del módulo en el ambiente, creando esa flexibilidad espacial.

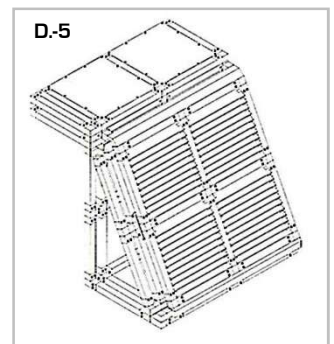
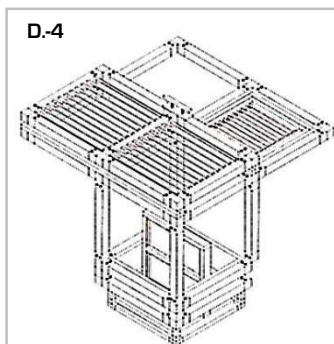
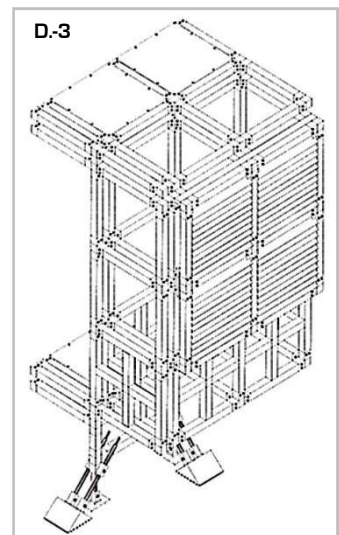
Este sistema compuesto a base de nodos ayudará a estabilizar el modelo, los encuentros nodales varían de acuerdo a la posición que vayan a ser colocados, ya que en cada orientación tiene sus propias uniones, estas son diferentes con los accesorios; las uniones se dividen en cuatro posiciones en las cuales generan diferente tipo de accesorios bioclimáticos; en la orientación que da hacia la incidencia solar genera protecciones solares, esto hace que los ensambles tengan que ser flexibles para una mejor movilidad de desplazamiento la protecciones, en cuanto a la orientación de la influencia de vientos, su desarrollo es de otro accesorio que ayuda a acelerar los vientos dominantes dentro del sistema estructural espacial, generando diferentes tipos de ensamble ya que cada posición tiene su propia protección o accesorio; este principio se generó solo para comprender que el sistema se puede adaptar fácilmente en un contexto natural.

Por consecuencia se crea una composición de diseño que esté bajo un sistema estructural de redes y ritmos, con un crecimiento orgánico que mute de acuerdo al entorno del modelo iconográfico.



**ARRIBA:** Los primeros dos detalles (D-1-2) tienen como función unir el sistema estructural con los dispositivos bioclimáticos, esto crea un sistema estructural adaptable al ambiente puesto que aplica accesorios que regulan los vientos dentro del modelo, generando una red estructural alternativa para el modelo iconográfico.

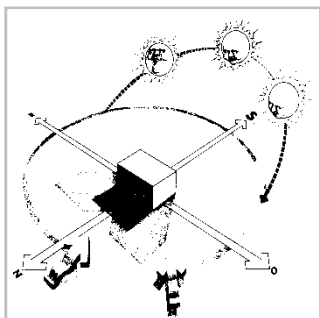
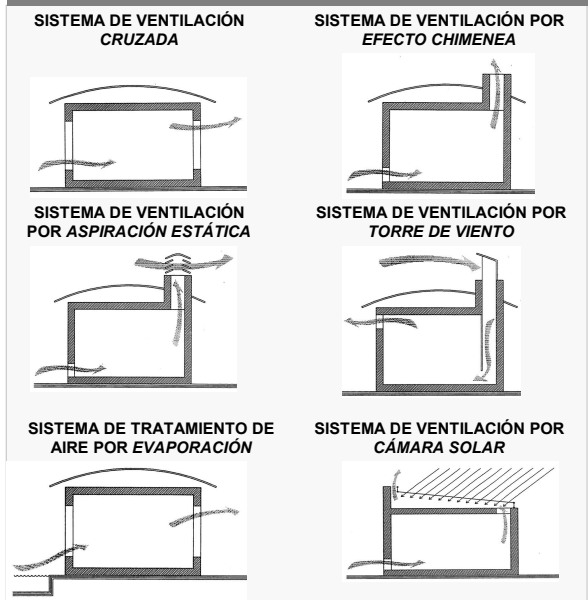
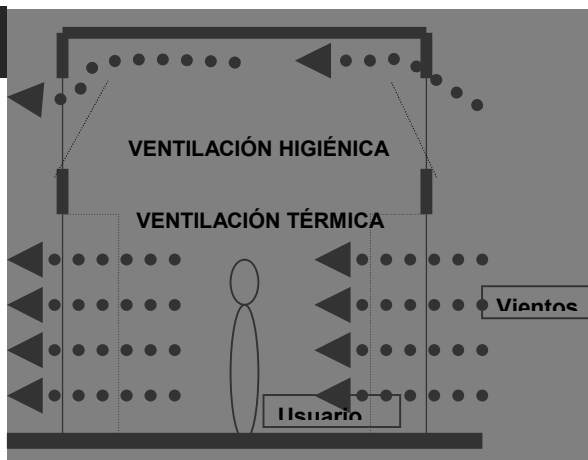
**DERECHA:** El detalle (D-3) tiene funciones de unir dispositivos de protección solar, creando dos envolventes para mantener un colchón término regulado en el modelo iconográfico.



**ARRIBA:** El detalle (D-4) tiene la función unir el sistema con dispositivos protectores móviles en la parte superior de la estructura, (D-5). La estructura puede extenderse a crear envolventes con accesorios de protección, esto para mantener una mejor integración en el ambiente del sitio.

Para aplicar las **técnicas bioclimáticas** en un modelo conceptual utilizaremos requerimientos de ventilación, hay varios tipos de soluciones que pueden tener muchas formas, para este caso se experimentarán dos principios de ventilación.

La ventilación cruzada sirve para regular la termicidad dentro del espacio de un edificio, y la ventilación higiénica que sirve para sacar el aire viciado del interior; entendido esto, se analizan varios modelo bioclimáticos que se aplican al modelo iconográfico arquitectónicos de manera conceptual, ayudando así a que se adapte en el contexto que se encuentre; el efecto chimenea y la ventilación cruzada serán los elementos que se integren directamente al proyecto, puesto que la disposición de la forma de estas ventilaciones ayuda a que el aire exterior ingrese al interior de forma acelerada, creando un confort óptimo para el usuario.



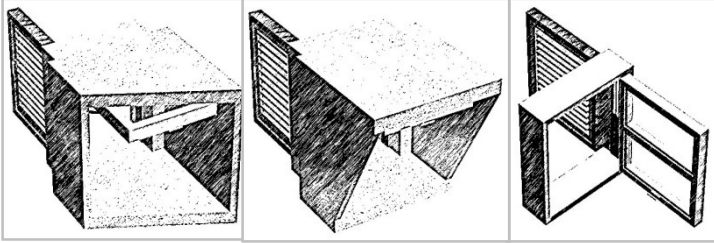
**ARRIBA Y DERECHA:** La aplicación de los vientos como concepto, servirá para obtener un modelo con un mejor confort.

**ABAJO E IZQUIERDA:** La incidencia solar se diseña a través de la posición del modelo en el sitio, esto nos da una referencia de cómo incidirá en el año y que protecciones se pueden colocar.

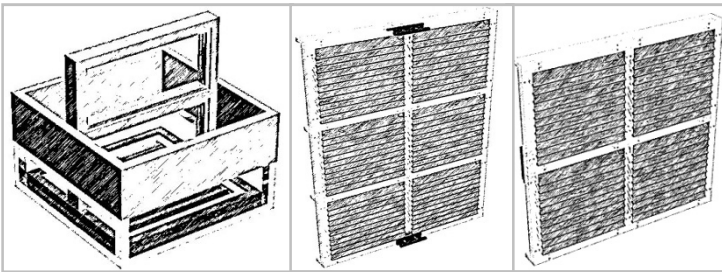
COEFICIENTES DE SOMBRA PARA DIFERENTES ELEMENTOS DE PROTECCION EN UNA VENTANA TIPO												
C 0,25 e 1,00	0,10 - 0,15	0,15 - 0,20	0,20 - 0,25	0,25 - 0,30	0,30 - 0,35	0,35 - 0,40	0,40 - 0,45	0,45 - 0,50	0,50 - 0,55	0,55 - 0,60	0,60 - 0,65	0,65 - 0,70
	0,70 - 0,75	0,75 - 0,80	0,80 - 0,85	0,85 - 0,90	0,90 - 0,95	0,95 - 1,00	1,00 - 1,05	1,05 - 1,10	1,10 - 1,15	1,15 - 1,20	1,20 - 1,25	1,25 - 1,30
	1,30 - 1,35	1,35 - 1,40	1,40 - 1,45	1,45 - 1,50	1,50 - 1,55	1,55 - 1,60	1,60 - 1,65	1,65 - 1,70	1,70 - 1,75	1,75 - 1,80	1,80 - 1,85	1,85 - 1,90
C 0,25	0,10 - 0,15	0,15 - 0,20	0,20 - 0,25	0,25 - 0,30	0,30 - 0,35	0,35 - 0,40	0,40 - 0,45	0,45 - 0,50	0,50 - 0,55	0,55 - 0,60	0,60 - 0,65	0,65 - 0,70

La orientación del módulo marca las condiciones y requerimientos del modelo en virtud de que la orientación incide sobre las fachadas de la propuesta iconográfica final, esta orientación tiene como condición que en las áreas orientadas a los vientos dominantes se tendrán que colocar dispositivos aceleradores de aire o ventanas grandes para el paso de los vientos y en las áreas del sur se colocarán ventanas chicas o protecciones solares, ésta pueden variar dependiendo en qué condiciones se encuentre la incidencia solar.

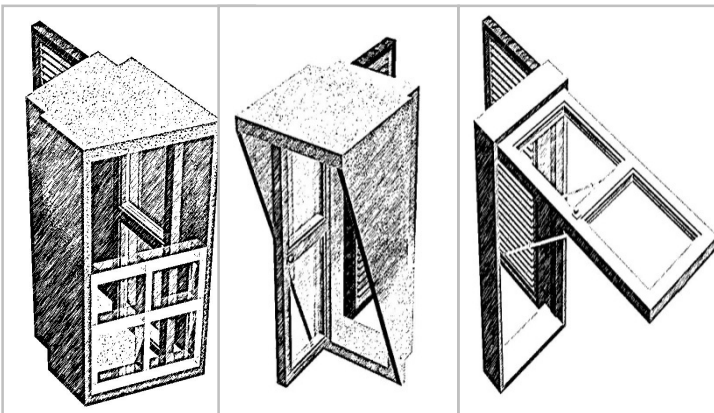
Este análisis de conceptos bioclimáticos sirve para comprobar el tipo de herramientas y accesorios que se deben utilizar para el modelo, haciendo que su integración al contexto sea más agradable y confortable para su crecimiento en el entorno.



**ARRIBA:** Las ventanas del modelo iconográfico serán de diferentes formas, dependiendo dónde se colocarán, unas servirán para acelerar los vientos dominantes y otras para proteger el modelo de la proyección solar.



**ARRIBA:** Los accesorios como persianas móviles y ventanas de techumbre, se encargarán de proteger al módulo de la proyección solar, esto para no sobrecalentar el espacio interior del modelo.



**ARRIBA:** Los dispositivos puerta-ventana son colocados en la posición con mayor influencia del viento, esto se encargará de acelerar el aire en el modelo para tener un mejor confort.

Reinterpretando los conceptos anteriores, se adaptará a un contexto un modelo que se desarrolle en base a un crecimiento celular por medio de dispositivos bioclimáticos; se tendrá en consideración la posición solar y la influencia de vientos dominantes, ya que estos factores ayudarán a comprender cómo se adapta el modelo iconográfico en un contexto natural.

Partiendo de las consideraciones de diseño anteriores, se creará un modelo que tendrá una serie de accesorios bioclimáticos, esto ayudará al modelo iconográfico a adaptarse al contexto; para crear estas pautas de diseño dentro de un modelo, se analizará la ubicación y la orientación del experimento, este se ubicará en una orientación con incidencia solar constante, esto propone una serie de accesorios móviles, los cuales son persianas corredizas, y puertas-ventanas, dando paso a un área que sirva como colchón térmico, lo cual servirá como cámara de resistencia; en cuanto a las otras orientaciones, se encuentran con flujo de vientos dominantes, esto crea un accesorio capaz de acelerar el viento, ya que su forma será con aberturas grandes y persianas reguladoras de viento, ayudando a adquirir concepto de diseño bioclimático en el modelo.

Su evolución también tendrá aditamentos en la parte superior del modelo, elaborando una sobre-estructura protectoras las cuales ayudaran a penetrar el aire sin dejar pasar las proyecciones solares, este aditamento también regulara el ambiente dentro del experimento.

Todos estos conceptos técnicos bioclimáticos nos dan paso a manufacturar un volumen experimental que desarrolle un diseño más coherente en el modelo, dándole principios tecnológicos que se adapten al contexto.

## ADAPTABILIDAD AL CONTEXTO



**ARRIBA:** En los inicios de adaptación, el cubo muta y evoluciona para darse más espacio, generando tales cambios a través de transformaciones en sus estructuras.



**ARRIBA:** El cubo se transforma y da paso a una subestructura, la cual hace que mute su figura, esto para adaptarse al contexto donde se encuentra.



**ARRIBA:** Al cubo celular se adaptan accesorios bioclimáticos para acoplarse al entorno natural, estos crean una adaptabilidad, y crean composiciones más acordes para el contexto climático del lugar.



**ARRIBA:** El cubo muta de manera diferente en las fachadas, ya que éstas dependerán de si es para proteger o beneficiarse de los fenómenos climáticos.

Reinterpretado los ensayos esquemáticos, se elaboró una composición rítmica del modelo que estará basada en la adaptación de un habitáculo, el cual evolucionará en un edificio de manera vertical para ver los diferentes tipos de composición de fachadas y crecimientos modulares, esto creó una mutación de accesorios que se implementaron en las fachadas correspondientes del modelo iconográfico.

El modelo iconográfico tiene como principio la colocación celular de accesorios bioclimáticos para proveerle de confort climático al módulo, también esta gama de accesorios sirve para crear pautas rítmicas de composición en las fachadas y no crear un desorden en la imagen natural del sitio; las primeras evoluciones del cubo muta para abrirse espacio y crear ventilaciones, esto hace que el espacio dentro del modulo vaya adquiriendo la adaptación adecuada en cada una de sus caras que corresponden a una orientación; en cuanto al ritmo, se forma por la función creada para que el modelo tenga una coherencia más formal, la facilidad con la que se desarrolla es por la retícula modular la cual rige un orden espacial y estético.

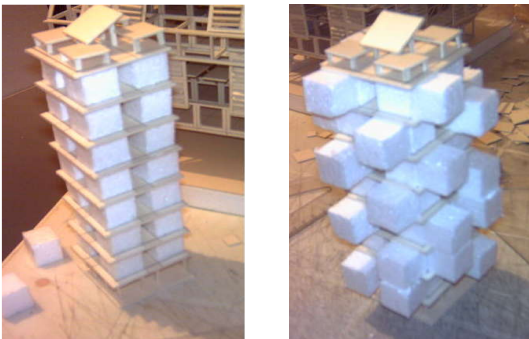
Posteriormente, en cada fachada muta de diferente manera; en la fachadas en donde incidirá el sol se protegen con una subestructura que los proveerá de un corredor y un balcón, los cuales tendrán persianas de madera que se podrán mover de acuerdo a la incidencia solar que tenga el modelo; esta aplicación de protección térmica es desarrollada con la misma envolvente, haciendo que la fachada de mayor incidencia solar tenga una constante protección y movimiento rítmico en sus persianas.

En las fachadas de incidencia de viento, su mutación será una serie de accesorio bioclimáticos que aceleran los vientos para crear un constante flujo de aire dentro del módulo, esta creación se hizo para comprobar el comportamiento de una fachada en un sitio extremo, también tiene como aplicación la composición espacial del sistema puesto que este accesorio crea un microclima óptimo dentro del módulo.

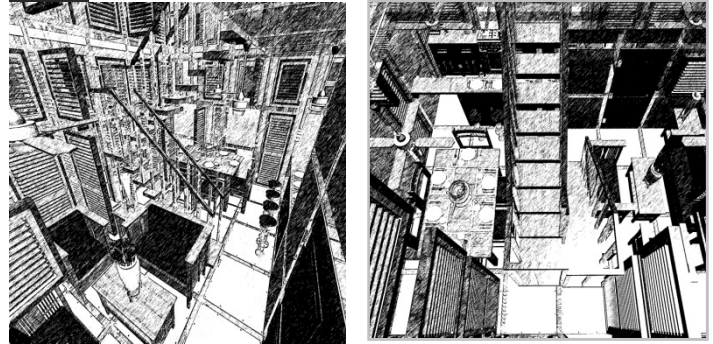
En el interior del módulo se genera un ambiente óptimo dado que estos aditamentos bioclimáticos regulan el microclima dentro del espacio, en cuanto a la espacialidad dentro del módulo, proviene de la modulación, ésta ayuda a crear áreas más agradables, aunque las zonas de funcionamiento sean pequeñas tienen la ventaja de poder transformarse en cualquier momento pues la estandarización dentro del módulo experimental tiene la ventaja de desarrollarse de muchas maneras, de esto resulta que su área de funcionamiento puede crecer o transformarse de diversas maneras.

En cuanto a la adaptación del entorno. Se reinterpretó por las aplicaciones y recomendaciones bioclimáticas de los ensayos esquemáticos anteriores, éstas ayudan al módulo iconográfico a tener una mayor validez para notar cómo podría quedar un módulo cúbico en un contexto natural, en los cuales se podrán observar las orientaciones del modelo y cómo interactúan con el ambiente natural de la región, en este caso cálido-húmedo, esta interpretación del terreno tiene estudios que se detallarán más adelante, ya que para su análisis se tienen que abordar las tablas climáticas de la región y otros estudios teóricos; en cuanto a esta experimentación, podemos notar que el módulo cúbico celular se adapta perfectamente por los conceptos propuestos para este contexto.

## EVOLUCION TEORICA



**ARRIBA:** La adaptación del modelo iconográfico en el contexto, se debe a la aplicación de técnicas bioclimáticas, ya que éstas ayudan a integrarse con el ambiente.



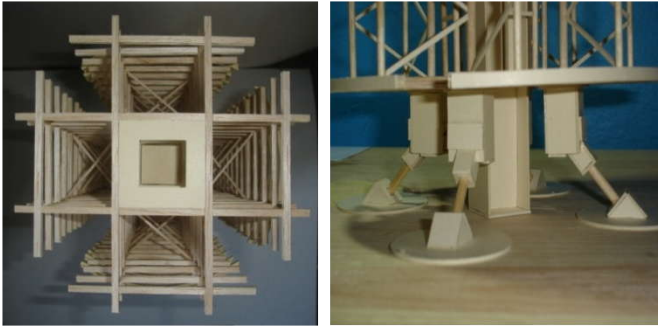
**ARRIBA:** El interior del módulo experimental se adapta a las funciones que se necesiten dentro del modelo, esto puede transformarse cada vez que sea necesario.



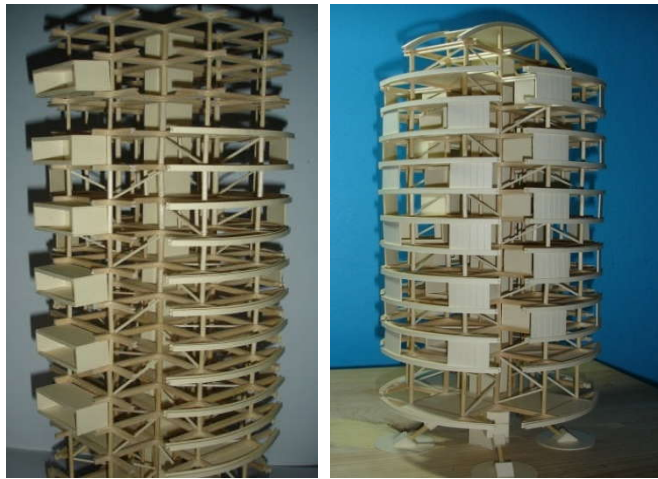
**ARRIBA:** La adaptación del modelo iconográfico en el contexto, se debe a la aplicación de técnicas bioclimáticas, ya que estas ayudan a integrarse con el ambiente.

El estudio evolucionó teóricamente en un **modelo vertical** de viviendas multifamiliares, éstas se componen de habitáculos anexados a un sistemas estructural ortogonal el cual podrá crecer de manera dispersa pero ordenada, cada fachada tendrá la misma evolución que el modelo iconográfico anterior; para delimitar esta propuesta evolutiva se elaboró el mismo principio de diseño anterior aplicado en el crecimiento de una célula en base a las condiciones físicas en su entorno; conlleva a generar una propuesta de arquitectura modular-cambiante, la cual podrá crecer, decrecer y transformarse según las necesidades climáticas del lugar, este modelo transformable se resuelve por medio de su sobre-estructura cambiante y deslizante, que envuelve a la estructura, ésta se compone por cuatro fachadas diferentes, las cuales reaccionan de distinta manera de acuerdo al punto cardinal donde se encuentre ubicada. Esta sobre-estructura es la que al modelo le da la capacidad de mutar de diferentes maneras en sus caras y producirá diferentes vistas del modelo experimental creando diversos conceptos de diseño y tecnología que se puedan aplicar al proyecto final.

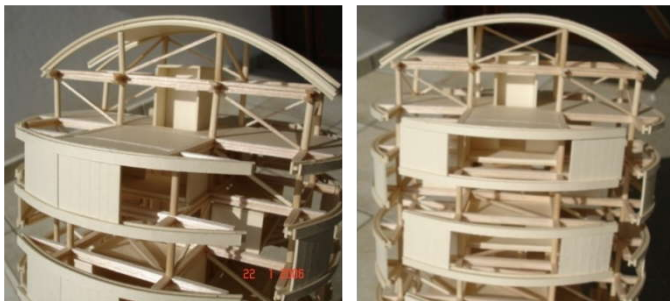
## MODULO VERTICAL.



**ARRIBA:** Este modelo está constituido por una retícula ortogonal lineal, y ayuda a modular el espacio interior, generando una propuesta más ordenada; su integración rápida se debe a que sus piezas cimentadas son transformables y de fácil montaje en el sitio.



**ARRIBA:** El módulo vertical evoluciona de forma cilíndrica para integrarse a los fenómenos climáticos variables del ambiente, sus piezas estandarizadas ayudan a desarrollar estructuras prefabricadas.



**ARRIBA:** La sobre-estructura es la que transforma el espacio flexible debido a que sus dispositivos de protección móvil ayudan a regular el microclima interior del modelo.

Este se desarrolla con un esquema vertical cúbico que en sus cuatro fachadas forma espacios cúbicos colocados de diferente manera para mutar, su formación de adaptación se aplicó en la subestructura que ayuda a proteger el edificio de incidencias climáticas extremas del lugar; para comprender la aproximación, la estructura se basó en una retícula proporcionada tanto en el sentido vertical como en el horizontal, permitiendo con esto delimitar las áreas del interior.

La modulación prefabricada ayuda a integrar rápidamente los aditamentos tecnológicos. Las piezas de este modelo, casi en su totalidad son prefabricadas: la estructura principal, la sobre-estructura, los habitáculos cápsula y los cimientos mecánicos.

Como se menciona anteriormente, la prefabricación ayuda a que el edificio mute de diferentes maneras, en este caso se tendió a una forma cilíndrica, esta figura ayuda más a proteger los espacios interiores, generando una propuesta alternativa al esquema anterior con módulos cúbicos sobrepuestos; en el caso del modelo cilíndrico la sobre-estructura hace su trabajo como mecanismo de control, protegiendo de la incidencia solar en cualquier temporada del año, bajando la intensidad de las fuertes ráfagas de vientos y direccionándolo al interior del modelo.

Esto aplicará directamente al proyecto arquitectónico, ya que su estudio es la base principal para desarrollar el proyecto, pues su integración por medio de mutación ayuda a adaptarse a su entorno, generando así una vivienda alternativa flexible para un usuario de necesidades cambiantes y clima extremo; este planteamiento se integrará en casi cualquier contexto natural sin agredir el entorno ambiental de la naturaleza.

El estudio crítico de los fundamentos teóricos se desarrollará a base de la experimentación de conceptos en los cuales se espera que la metodología ayude a determinar la secuencia de las acciones de un proceso de diseño arquitectónico, en el cual se apliquen los conceptos de flexibilidad estructural y espacial, detonamos con principios de diseño en donde se captura de forma análoga, y se aplican a un modelo experimental en donde se puedan conseguir las características principales de una metodología en la cual podamos aplicar al proyecto final, consiguiendo un diseño más acorde al contexto.

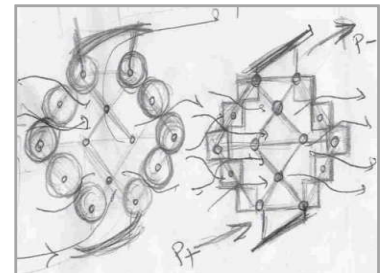
La estrategia para abordar este problema de espacio y estructura se realizará por medio de ensayos experimentales, éstos se elaboraran por medio de extrapolación de conceptos detonantes de experimentos a realizar y por formas de principio estructural en la arquitectura, tomando un modelo de diseño que servirá de guía para la propuesta de diseño final.

En conclusión, el desarrollo estratégico experimental nos marcará el desarrollo de diseño que debe tener la construcción de un sistema estructural flexible en el espacio arquitectónico, el cual llevará la observación de las analogías experimentadas a un proyecto; su principal aplicación es proponer una alternativa de diseño, se buscará que de una u otra forma provoquen la motivación de experimentar nuevos procesos de diseño para descubrir nuevas soluciones de espacios arquitectónicos en las ciudades, desde un punto de vista de crecimiento natural con el contexto y no sólo el hecho de amontonarla en un espacio determinado, sino realmente establecer una directriz que ligue, de orden y coherencia, mediante un sistema estructural elaborado con diferentes principios conceptuales y estructurales, el cual se determinaría en un proceso de diseño; cabe decir que este proceso se implementara para el descubrimiento de nueva tecnología a través de la extrapolación de los conceptos de diseño a un proyecto, dando como resultado diseño geométrico estructural flexible en el espacio arquitectónico.



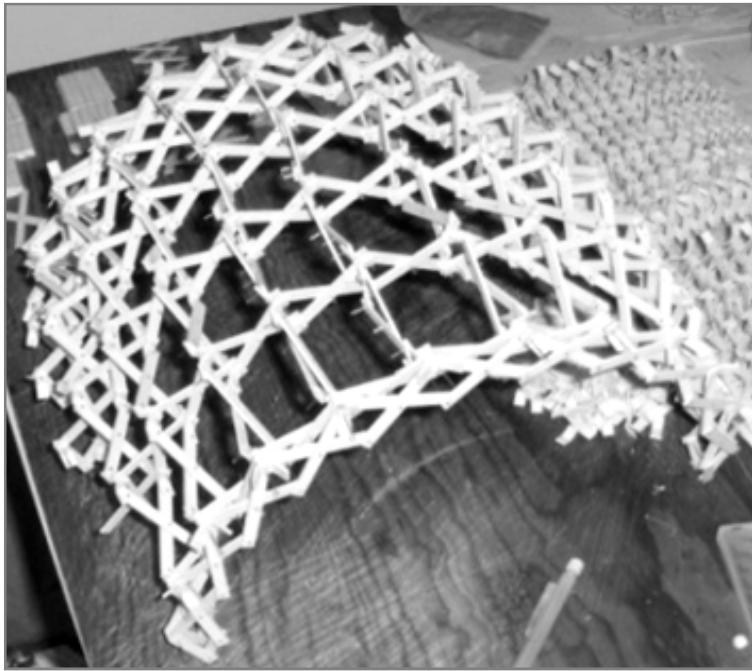
**ARRIBA:** La geometría de las aglomeraciones naturales ayuda a crear un sistema modular geométrico y genera diferentes adaptaciones en su entorno natural.

**DERECHA:** Aeropuerto de Stand Inglaterra, por Norman Foster, 1990, el edificio arquitectónico cuenta con estructuras nodales que ayudan a que la edificación pueda ser muy fácilmente armada.

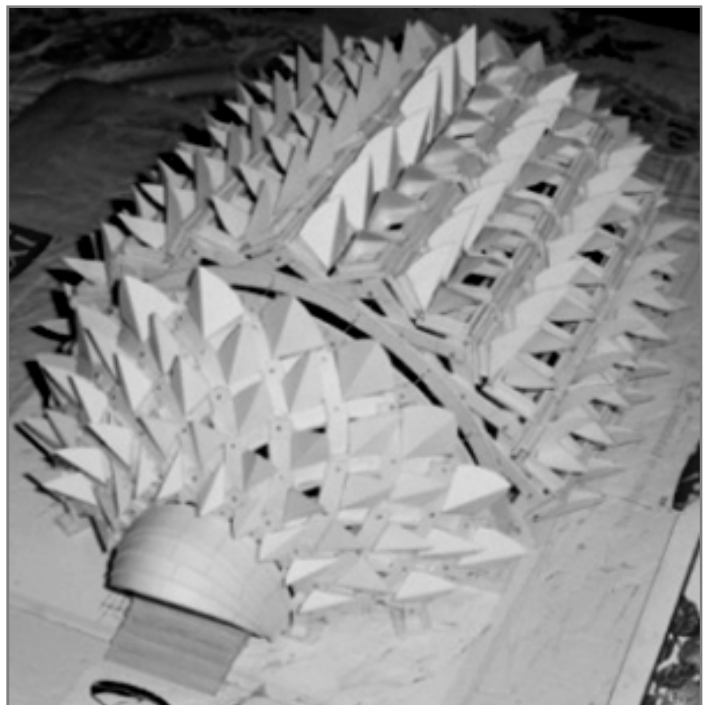


**DERECHA Y ABAJO:** La agrupación toma forma y crea una célula madre, ésta crece por medio de estructuras pilares.





# apitulo 4

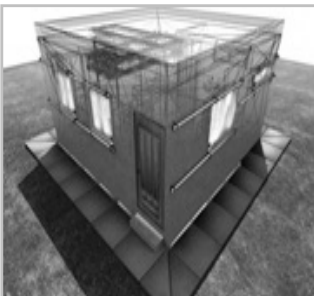




## SISTEMAS ESTRUCTURALES ALTERNATIVOS.

Dentro de la ciudad existen dos tipos de edificios: las edificaciones convencionales (que se construyen a través de la costumbre) y los no convencionales que no buscan nada más que cumplir con la función que les fue asignada, por otro lado las edificaciones no convencionales, son aquellos que buscan cumplir otra u otras funciones aparte de las que le fueron asignadas, pero en la ciudad no existen pautas rítmicas, que ayuden a crear una buena imagen urbana, esto provoca que los espacios no sean rentables ni habitables.

Por lo regular los espacios de cobijo son hechos a base de concreto armado o de tabique, la cual no permite un desarrollo rápido; la falta de alternativas estructurales hace que su reparación y mantenimiento sea tediosa y muy cara, esto complica la economía del usuario; cabe mencionar el factor tiempo en una construcción, el cual incide en la mayoría de los espacios en la ciudad, para ello se necesita un nuevo sistema estructural, que ayude a crear una alternativa más viable que se adapte a diferentes tipos de entorno, y al momento de su reparación sea fácil de reelaborar.



### IZQUIERDA Y ABAJO:

Las soluciones de espacios están en los nuevos sistemas alternativos, ya que éstos son flexibles y fáciles de construir.



**ARRIBA:** Los espacios monótonos que se encuentra en la ciudades actuales que no rompen con la imagen urbana, a la derecha una propuesta alternativa de adaptación al contexto que rompe la imagen urbana pero se acopla al entorno ambiental.

**ABAJO:** Las zonas de alto riesgo pueden tener daños severos en sus estructuras y hacerlas inhabitables.



El origen principal de la propuesta es la de proporcionar un sistema estructural diferente al convencional, que se autosustenté a sí mismo y resista los fenómenos climáticos, esto bajo una estructura flexible, la cual hará al espacio un objeto cambiante de acuerdo a la necesidad del usuario que lo habite; así pues esta propuesta se acota a sólo el diseño de un prototipo alternativo de estructuras fractales plegables con ventajas de crecer y tener un catálogo de alternativas manipulables para el usuario, también servirán en las zonas de sub-desarrollo ya que estas zonas carecen de algunas infraestructuras urbanas de la ciudad; el emplazamiento de estos espacios crea mayor desarrollo y genera mas plusvalía, obligando a tener puntos de encuentro social dentro de las áreas exteriores de los módulos, propiciando convivencia colectiva entre las comunidades.

Para aterrizar la propuesta arquitectónica estructural, se definirán las premisas y cotas del proyecto, las cuales analizan las partes que se aplicarán en el modelo, que son: La morfológica-conceptual, la adecuación de la geometría estructural, La tecnológica-estructural; estas dejarán una pauta marcada en el proyecto, para no desviarse de la aplicación de los conceptos principales en la propuesta arquitectónica.

El factor **Morfológico-Conceptual**, está sujeto a la adaptación climática del modelo, pero sus conceptos primarios son los que le dan la forma final a la propuesta, en primer lugar la forma del modelo está compuesta por un sistema de redes y ritmos espaciales, la red espacial ayuda a componer la retícula estructural del modelo, esto da como consecuencia la modulación y estandarización de sus piezas; en cuanto a su envoltorio, se someterá a ritmos espaciales, ésta composición rítmica se va dando por medio de accesorios que serán para proteger o ayudar a mantener un confort amigable en el modelo, creando así el concepto de mutación celular.



**IZQUIERDA Y ABAJO:**

La tecnología se basará en desarrollar un sistema versátil de montar y de transportar, en donde sus espacios sean adaptables en varias funciones.



**ARRIBA Y DERECHA:**

La forma conceptual va de la mano con la tecnología, así que dependerá de la morfología conceptual; y ésta define que la geometría se adecua mejor a la propuesta, en este caso un sistema de redes y ritmos espaciales.



La **adecuación de la geometría** al espacio, la analogía es la mayor herramienta para generar la producción de modelos biónicos y biofórmicos en la geometría, y para entender correctamente la función estructural de los sistemas se utilizarán estos mismos medios, para abordar el tema comenzando con los conceptos estructurales de los sistemas flexibles disponibles en la vanguardia, para entender esta adaptación de figuras orgánicas con los sistemas estructurales actuales.

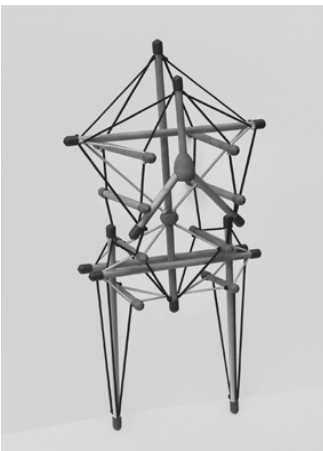
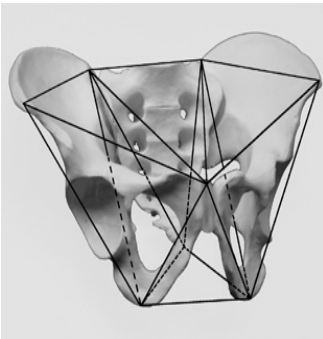
En cuanto a la **Tecnología-Estructural** del proyecto, se toman los conceptos de prefabricación, montaje, los cuales se adaptan a la propuesta, la manera de concebir un proyecto de forma industrializada la hace más rápida de construir. Para entender mejor los conceptos, definiremos su significado:

La prefabricación se define como la habilitación de elementos fuera de obra, permitiendo que los tiempos de construcción se reduzcan por la habilitación simultánea de la construcción, sus piezas industrializadas optimizan el tiempo de ensamble.

El montaje se controla por adosamiento y plegados, ésta depende de la estructura que se utilice, le dará la versatilidad de acoplarse a ella.

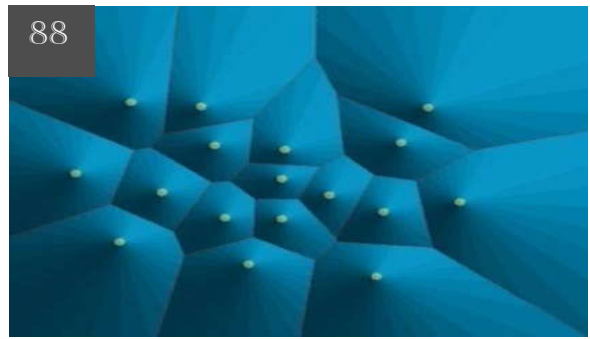
Para entender la generación de las adecuaciones geométricas estructurales en el espacio, veremos las morfologías conceptuales de la naturaleza; se desarrollaron diferentes tipos de experimentos en donde se utilizara una metodología de diseño análogo en las estructuras de la naturaleza, así podremos entender cómo producir espacios y estructuras biónicas, en donde anteriormente se experimentó con la figura biónica y orgánica para producir varios modelos iconográficos que nos servirán de guía para producir la tecnología estructural flexible, por ellos se verá la mecanización de las estructuras plegables, la cual ayuda a comprender cómo se puede adaptar estructuras fragmentadas en la naturaleza.

El concepto de plegabilidad en la estructura también nos da la versatilidad de generar formas más orgánicas en su piel, originando la integración de la forma en su contexto; la piel es la parte de un ser viviente que ayuda a ajustar su adaptación al clima de su entorno; dependiendo de la conformación del clima en cómo se desarrolla la piel de un ser viviente, así la estructura biónica orgánica, en esta parte de la investigación se realizará la traslación y los conceptos desarrollados anteriormente, provocando la unificación de todas las percepciones que se han adquirido para crear un modelo orgánico.

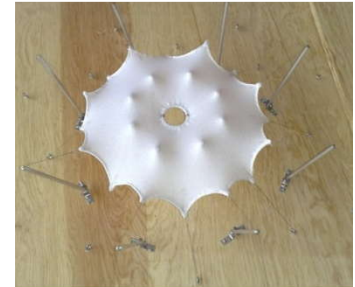


#### ARRIBA E IZQUIERDA:

Los sistemas estructurales actuales pueden adecuarse a las formas biónicas de la naturaleza, en este caso el sistema tensegrity se puede adaptar a muchas formas geométricas ya que su propiedad más importante es el mínimo de requerimiento de material para formar una estructura.



**ARRIBA Y DERECHA:** Las células son una forma de estructura modular que genera espacios más adaptables en el entorno, la velaría a su vez también se adapta al entorno por medio de segmentación



Para empezar, hacemos nuestra primera experimentación observando en la naturaleza trazas celulares reticulares que tienen un patrón de crecimiento orgánico en base a una geometría fractal segmentada, para crear un cuerpo complejo y de varias figuras itinerantes, adaptando este concepto de crecimiento progresivo fractal a los sistemas estructurales, encontramos que el desarrollo de las velarías se basa en un mismo principio de iteración, ya que su geometría se constituye con dobles curvaturas, la cual se desarrolla empezando con un curva y se multiplica hasta generar las membranas parabólicas y éstas se segmentan en varias formas diferentes generando diversos tipos de modelos.

Estas se estabilizan cuando se traccionan en sus extremos ayudados por medio de postes que tensan la membrana para formar las dos curvas perfectas, ya se ha comprobado anteriormente en la historia que el uso de esta geometría parabólica también se puede utilizar en otros tipos de sistemas estructurales, en donde la subdivisión de la curva parabólica generó la forma del modelo estructural del edificio, Candela hizo uso de ella en repetidas ocasiones y segmentaba la parábola hasta crear un espacio con mucho movimiento.



**ARRIBA:** El sistema neumático está formado por membranas llenas de aire, algunas constituidas por arcos que tienen forma biónica de gusano enroscado, al igual que el gusano están unidas por alambres tensionados que sujetan a la estructura para estabilizarla.

Otro ejemplo de esta observación análoga de crecimiento orgánico con los sistemas estructurales ligeros, se ve en las estructuras hinchables, éstas también tienen la propiedad de subdividirse en muchas secciones y formar sistemas estables gracias a una membrana llena de aire; uno de los seres que tiene la forma de estructuras hinchables es el gusano de seda, es un buen ejemplo de bioforma hinchable, su forma de anillos enroscados le da la flexibilidad de protegerse y de adaptarse rápidamente a su entorno.



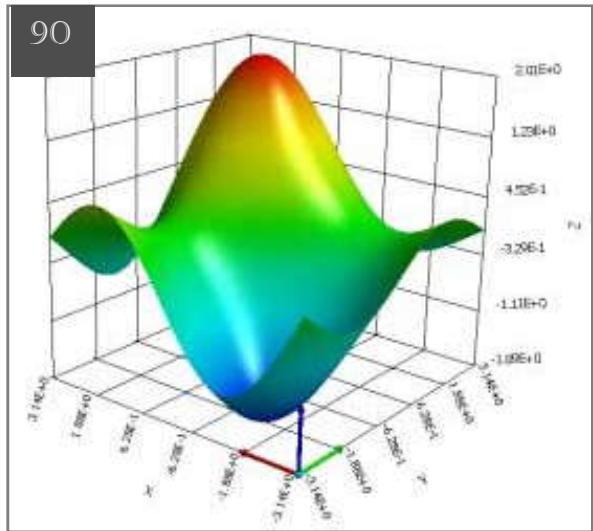
**IZQUIERDA:** Las estructuras neumáticas tienen la propiedad de poder adaptarse a formas diferentes y orgánicas, las cuales representan figuras naturales.

Esto gracias a las uniones flexibles que tiene en sus arcos biónicos, le dan estabilidad y fuerza a su cuerpo; la estructura inflable tiene su principio estructural en la membrana inflada de aire, ya que empuja la membrana hasta estar tensa y actúa como módulo de compresión, al igual que un gusano se adapta y se subdivide en segmentos itinerantes.



La estructura se mantiene erguida y combina la forma geométrica con el sistema inflable, Frei Otto utilizó las membranas inflables para construir espacios rápida y económicamente, estos podrían obtener grandes espacios, él subdividía las formas de la membrana para generar formas naturales geométricamente, pero se ajustaba mucho al ritmo fractal que tiene la naturaleza, aun que él sólo buscaba la eficiencia del material y la geometría que lo estabilizaba por forma.

Se analizarán las geometrías realizadas por medio de la simulación estática para generar los primeros vestigios de tecnología estructural, también debemos saber los comportamientos de las estructuras en una escala real, esto servirá para predimensionar los miembros estructurales que tendrán en el modelo arquitectónico de las diferentes propuestas geométricas de la investigación; el análisis de estos modelos se someterá sólo a cargas de peso propio de la estructura para el primer acercamiento con el fin de adecuar los modelos a una producción real, la jerarquía de seguridad de la simulación se genera por medio de un software que ayudará a hacer el diseño de los miembros estructurales y posteriormente con estos datos se diseñarán los detalles de unión de los modelos, que se desarrollarán de acuerdo a los parámetros que arrojen sus gráficas de fuerzas y momentos.



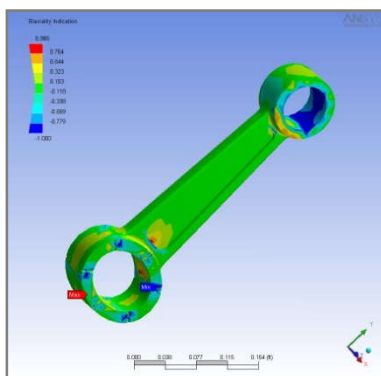
**ARRIBA:** La simulación estructural ayudará a desarrollar modelos flexibles, generando la estabilidad estructural de la geometría de los modelos.

El rango de factor de seguridad se maneja con el código del LRFD, [véase el apéndice "A"], el cual toma un rango de seguridad de 1 a 1.05 de radio de giro, con una relación de esbeltez  $KL/r$  de 240 en elementos principales y de 300 en miembros secundarios y de contraventeos, también se tomará en cuenta el desplazamiento horizontal y vertical para que no exceda el límite de servicio de la estructura establecido en el reglamento del Distrito Federal, en donde también se verán todos los gráficos de tensión para verificar dónde hay mayores esfuerzos y cómo interactúan las fuerzas cortantes y de momentos, y posteriormente con esta información se desarrollarán las uniones adecuadas con respecto a resistir estas fuerzas en sus nodos.

Otro parámetro que se considerará es el tipo de apoyos que tendrán los modelos, pues esto determinarán la estabilidad de la estructura así como los factores de carga que en este caso sólo analizará el peso propio de la estructura para hacer una aproximación de diseño de los miembros, se definirán los parámetros estructurales dentro de la geometría, ya que este resultado será una guía para el comportamiento de las fuerzas en la estructura; la simulación estática nos brinda una visión más clara de la dimensión que pueden llegar a tomar estas adecuaciones geométricas y cuáles serán sus límites de claro a cubrir en un espacio.

La selección de los miembros se propondrá de acuerdo al diseño de geometría, se diseñarán perfiles de forja y tubos de acero estándares para una mayor efectividad en el diseño de estos modelos, ya que la propiedad de este material ayuda reducir considerablemente la dimensión de los miembros, el acero que se utilizará será un A36 que es un acero estructural que tiene un límite de fluencia mínima de  $2530 \text{ kg/cm}^2$  y un módulo de ruptura de  $4080 \text{ kg/cm}^2$ , [Véase apéndice "B"] estas características del material, se propondrán para pre dimensionar los miembros de las diferentes geometrías de diseño de esta investigación.

Cabe mencionar que no se tomarán las otras cargas adicionales dictadas en el reglamento, ya que la investigación no destina ninguna función espacial a las estructuras biónicas, las cuales se desarrollaron para tener múltiples funciones arquitectónicas; también existen las cargas de viento y sismo que tampoco se tomarán en cuenta para esta primera aproximación, ya que el modelo no cuenta con ninguna ubicación en específico, estos parámetros se toman en cuenta dependiendo de la localización del proyecto.



**IZQUIERDA:** La simulación predimensionará las piezas del sistema estructural de los modelos, para formar parámetros de seguridad dentro de la estructura.

Por último, el análisis comprobará que las piezas estructurales serán efectivas para los modelos geométricos, cuáles son sus zonas más afectadas y en dónde se tendrán que reforzar para una óptima estabilidad estructural, también proporcionará la verificación de los límites de servicio y resistencia, que definirán el esqueleto final de la estructura.

## GEOMETRÍA FRACTAL LINEAL.

El origen **Morfología-Conceptual** del proyecto, se produce en la reflexión análoga de la figura celular, en donde anteriormente se han hecho experimentos aproximados para un mayor entendimiento de la forma orgánica, pero en este caso se utilizará para construir una metodología de diseño, la cual tenga como utilidad el diseñar espacios más flexibles en la estructura, hallando y comprendiendo el sistema estructural, desde un punto de vista más integral, también se observa el desarrollo del espacio flexible, el cual forja una variación de figuras en su entorno.

Para poder desarrollar esto nos apoyamos en la geometría fractal cuya característica asemeja a las formas naturales, la simulación de la forma proviene de la repetición de un modulo geométricos, el cual se reproduce varias veces hasta formar un organismo complejo; en este caso observamos el crecimiento celular para percibir cómo se adapta su espacio estructural en un determinado tiempo, para ello haremos unos pequeños modelos muy esquemáticos que buscan simular el crecimiento espacial de la célula.

La morfología de la célula es su reproducción de varios segmentos, los cuales son interconectados por medio de un nodo de arista en donde toma partida su base geométrica, su estructura flexible produce una membrana de diferentes agrupaciones que forma diferentes figuras para su adaptación en el espacio.

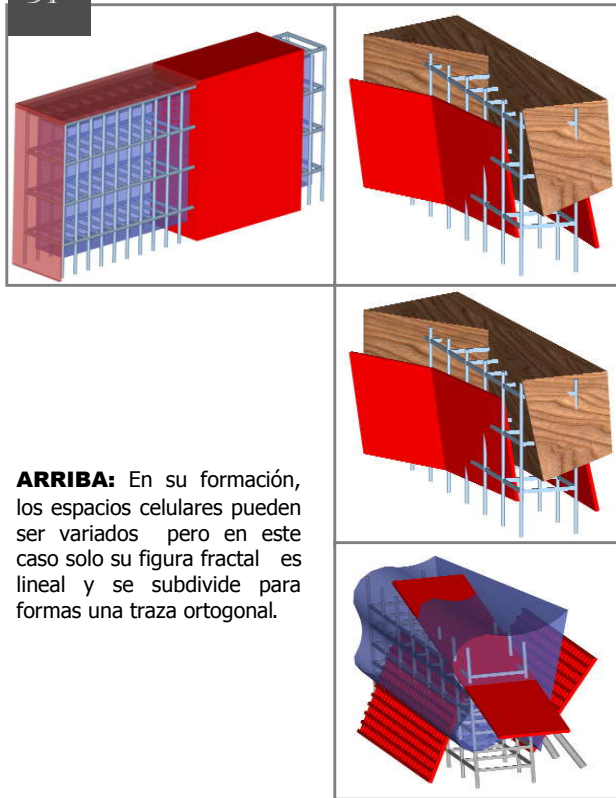


### IZQUIERDA Y ABAJO:

La generación de espacios celulares se desarrolla por una geometría fractal que multiplica la iteración hasta formar un organismo complejo y adaptable al entorno.



91



**ARRIBA:** En su formación, los espacios celulares pueden ser variados pero en este caso solo su figura fractal es lineal y se subdivide para formar una traza ortogonal.

La propiedad principal de esta estructura es la facilidad con la que se modula a si misma independientemente de la variabilidad del cuerpo en donde se establezca este desarrollo celular; también podemos ver, que su geometría repetitiva lineal hace que su aglomeración crezca y le dé una mayor estabilidad espacial; en cuanto a su estructuración, se puede decir que por forma es una de las geometrías más estables pues sus ángulos nodales forman un triángulo que distribuye las presiones en ambas direcciones.

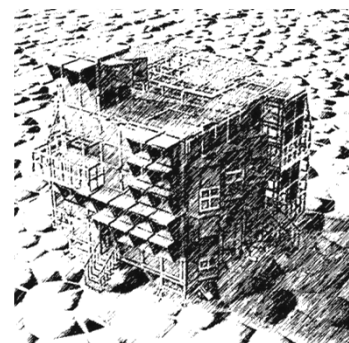
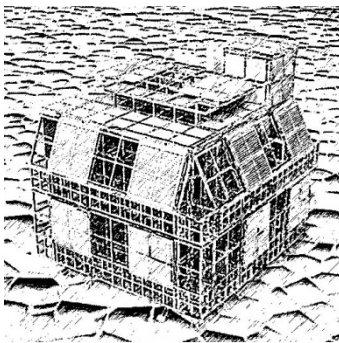
Teniendo en cuenta la reflexión análoga, se experimenta con una traza celular cúbica de una geometría fractal lineal, en donde los espacios se aglomeran y crean un organismo variable en la gran traza reticular, los espacios se van adosando dependiendo de los lineamientos que les da mega-estructura, y se repiten constantemente hasta cubrir su espacio y adaptarse al entorno del lugar.

Se experimentó con otras geometrías fractales en donde se reflejaron las distintas adaptaciones geométricas del organismo celular en diferentes entornos accidentados, notamos que su estructura principal se condiciona y asimila la forma del terreno como lo harían las células orgánicas, este principio creará un modelo inicial para generar un espacio flexible y armónico.

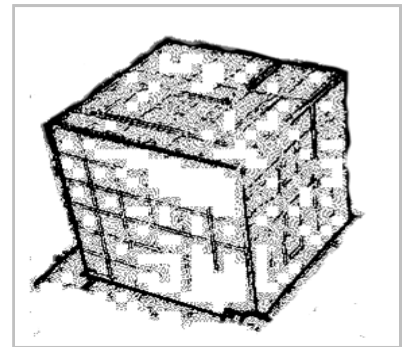
Después de la elaboración y comprobación de algunos modelos tridimensionales, logramos crear una **Adecuación Geométrica** del modelo arquitectónico; empezaremos analizando una geometría fractal lineal, que es la más sencilla de aplicar en la arquitectura, en donde sus iteraciones tendrán aplicaciones bioclimáticas necesarias para poder desarrollarse de manera más integral con el contexto.

A continuación de manera gráfico-textual se desarrollaron los primeros bosquejos del proyecto arquitectónico, el cual tiene como origen una red espacial cúbica que guía la composición rítmica del modelo, para esto el diseño arquitectónico del proyecto se basa en una propuesta de arquitectura modular-cambiante, el diseño podrá crecer, decrecer y transformarse según las necesidades que se requieran.

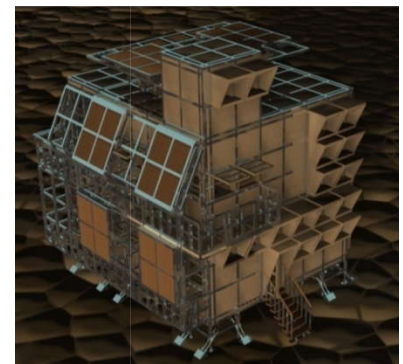
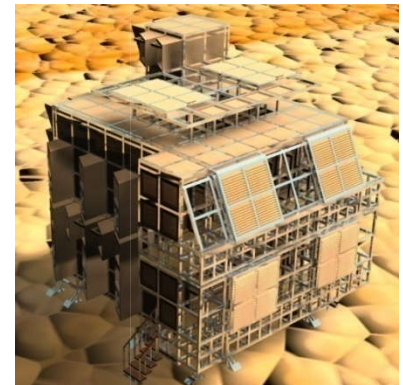
Este modelo flexible y cambiante, se desenvuelve por medio de su sobre-estructura, que envuelve a la estructura y le da la forma cúbica que muestra, ésta se compone por cuatro fachadas diferentes, las cuales reaccionan de distinta manera de acuerdo al punto cardinal donde se encuentren ubicadas. Esta sobre estructura enmarca al modelo dándole una jerarquía de composición y ritmo, al quedar de manera aparente al igual que los materiales y la tecnología que la conforma.



**IZQUIERDA:** Los primeros dibujos que originan la mutación del modelo, se basan en un cubo multi morfológico que evoluciona a través de un red espacial en la que compone ritmos arquitectónicos en sus fachadas.



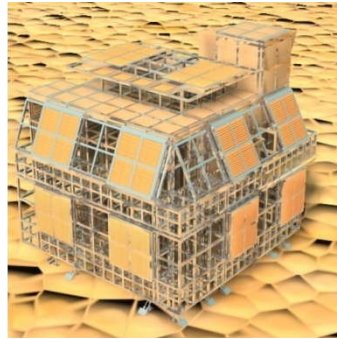
**DERECHA:** Del dibujo al volumen, esta evolución se dio en un cubo reticular ortogonal, en donde sus espacios cúbicos albergan dispositivos climáticos para una mejor adaptación.



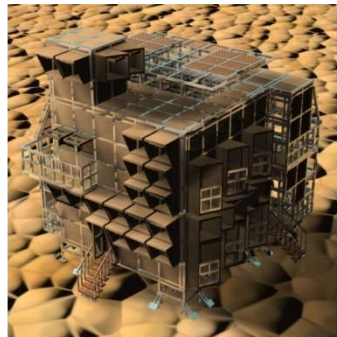
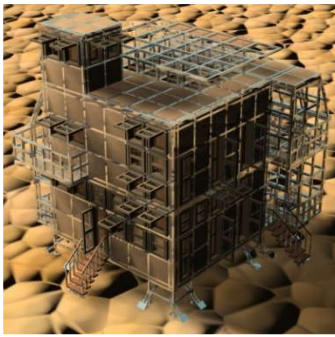
La estructura del modelo en alzado es una retícula cuadrada, proporcionada tanto en el sentido vertical como en el horizontal, permitiendo concretar composiciones rítmicas en sus accesorios bioclimáticos.

El concepto tecnológico está relacionado con el diseño y éste con el aspecto bioclimático del modelo, y forma la parte más esencial, ya que a partir de la tecnología se desarrollan los demás conceptos.

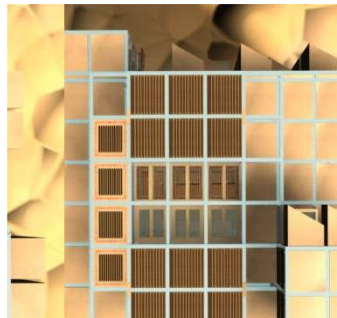
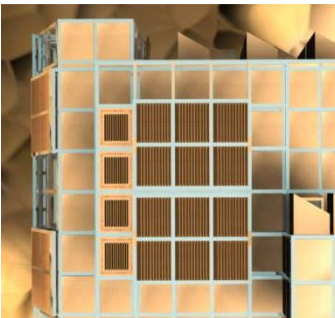
La prefabricación es un concepto que se encuentra dentro de lo tecnológico. Las piezas de este modelo, casi en su totalidad son prefabricadas, la estructura principal, la sobre-estructura y hasta sus accesorios bioclimáticos. Como se menciona anteriormente, todo se relaciona y una cosa lleva a la otra, de lo tecnológico, el diseño y lo prefabricado, nos enfocamos al aspecto bioclimático.



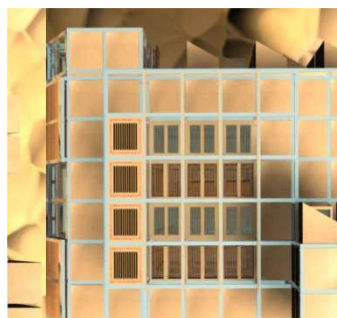
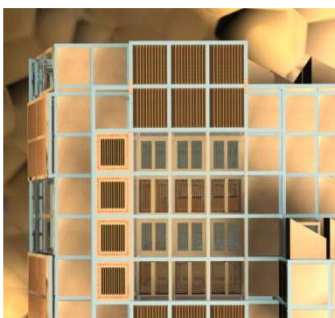
**ARRIBA:** El modelo en las fachadas sureste y suroeste muta con una serie de sobreestructuras que tienen múltiples de paneles de persianas que ayudan a protegerlo de la incidencia solar.



**ARRIBA:** El modelo en las fachadas noreste y noroeste muta con dispositivos climáticos que aceleran los vientos exteriores hacia el interior, manteniendo a éste en un confort más amigable.



**ARRIBA Y ABAJO:** El modelo en su techumbre muta con una doble piel, para crear una protección solar y para generar una incidencia de aire que acelere los vientos dentro del módulo.



El bioclimatismo es algo que desde siempre se tiene que implementar en los diseños de modelos arquitectónicos. En este caso en particular, los conceptos anteriores facilitan esta labor; claro que el diseño y la ubicación son las piezas claves.

Aquí es donde los elementos de la sobreestructura hacen su trabajo como mecanismos de control, protegiendo de la incidencia solar en cualquier temporada del año, bajando la intensidad de las fuertes ráfagas de vientos y diseccionándolo al interior del modelo.

En cuanto a la techumbre, su apertura crea un diseño que ayuda a generar una protección en contra a la proyección solar, dejando pasar solamente la iluminación necesaria; esto también influye para que el viento entre en estas rejillas y provoque una regulación de aire dentro del módulo.

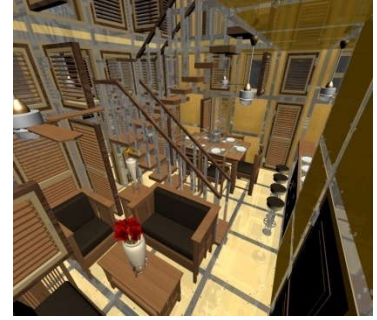
La característica flexible del modelo se basó en gran parte, en la región donde se localiza el proyecto es cálida-húmeda además de ser zona de crecimiento habitacional, ésta se encuentra en una zona de vegetación perennifolia que ayuda a regular mucho el clima, con esto protegemos el interior y aprovechamos algunas características climáticas.

En cuanto al diseño interior del modelo, se elaboraron piezas prefabricadas para cambios fáciles dentro del espacio, ya que su modulación habilita crear áreas multifuncionales y de constantes cambios, también sus accesorios tienen la facilidad de regular el microclima del módulo, integrándose al interior de las áreas.



Sus muros interiores son fáciles de quitar, ya que la sobre-estructura es estandarizada, ésta puede aplicarse de diferentes maneras y subdividir el área del espacio del módulo en muchas funciones, así como desmontar sus accesorios interiores como la escalera y la losa, etc... Esta propiedad le da una mayor flexibilidad al diseño, puesto que sus partes pueden ser utilizadas de diferente manera, como le convenga al usuario.

Este diseño marca la diferencia de una vivienda común y corriente que no aporta nada y otra que aporta calidad de diseño, para poder salir de esa monotonía que es tan común y cotidiana en la ciudad, ya que esta propuesta morfológica ayuda a crear una composición adaptable al clima, le da plusvalía al lugar con sus forma más coherentes y no viviendas monótonas que sólo crean una imagen desordenada con problemas de espacio, ese desarrollo sólo provoca puntos de estancamiento donde perjudica el crecimiento de la vivienda y no le da un orden arquitectónico a la ciudad, generamos así la idea de la vivienda alternativa cambiante y transformable.



**ARRIBA Y ABAJO:** El interior del modelo tiene una evolución cambiante dado que sus parte pueden ser alteradas constantemente; esta flexibilidad le da la propiedad de adecuarse a cualquier necesidad, en lo cual este diseño beneficia directamente al usuario.



**ABAJO:** El exterior del modelo arquitectónico se integra de acuerdo al fenómeno climático que exista en el lugar, en este caso cálido-húmedo, y su integración es más acentuada en un desarrollo suburbano, donde todavía se encuentran áreas naturales y en donde el módulo aprovecha para incorporarse y beneficiarse.



La simulación estática se realizará para pre-dimensionar el modelo y generar la **tecnología estructural**, en éste caso su forma es ortogonal compuesta por nodos lineales que se orienta tanto en sentido horizontal como vertical; se dimensionó el espacio arquitectónico de la estructura para saber el claro y la altura de esta geometría, esto nos sirve de parámetro para elegir los miembros estructurales adecuados para el modelo.

Se especificó que el material sería un acero A36 con un módulo de elasticidad de 2530 kg/cm<sup>2</sup> y un factor de ruptura de giro de Poisson´s de 0.3 con densidad de 7.83847 Mton/m, las piezas seleccionadas son de tubo OR 7.6x7.9 para miembros principales, apoyos de soporte y un OCXE33, para miembros de refuerzo de contraventeos laterales, los apoyos están sujetos en X,Y,Z, la segmentación de la geometría trabaja por medio de concentración de nodos relajados en Y,Z, en sentido horizontal, su rango de servicios será por el código LRFD y no pasarán de los valores de 1 a 1.05, para ser óptimo en seguridad y estabilidad estática en la geometría.

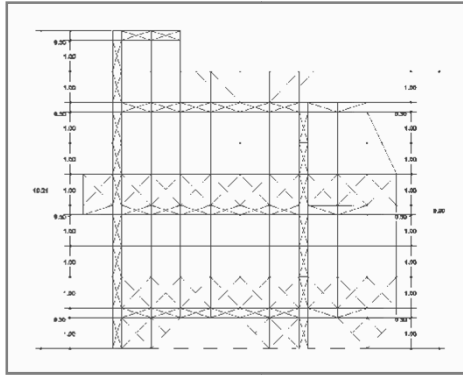
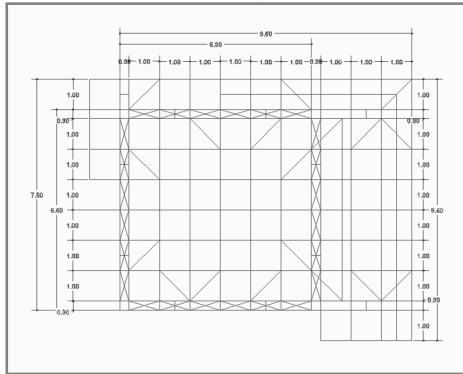
La simulación de los anteriores parámetros de diseño nos da como resultado la estabilidad de la estructura como primera verificación veremos los desplazamientos de la estructura; en donde sus límites de servicios no deben exceder lo permitido en la reglamentación (Véase apéndice "B") en este caso como los desplazamiento en vertical es L/240 (en donde L es el claro del miembro), y el horizontal es (Hx.012)x100+.5, (en donde H es la altura del nodo), con esto se obtendrán los parámetros de desplazamiento permisible en el modelo de acuerdo a los resultado de la tabla de desplazamientos máximos (Tabla FL-1) se hará la siguiente operación:

En el desplazamiento vertical tomará el máximo resultado en Y por lo tanto, L=2 ya que su localización se encuentra entre un claro de 2 m de separación entre la columna más cercana:

$$2/240+.5= .05083m \geq .001809m \text{ pasa por desplazamiento vertical.}$$

El desplazamiento horizontal se tomará el máximo resultado en Z por lo tanto H=10.31, su desplazamiento se localiza en la parte más alta:

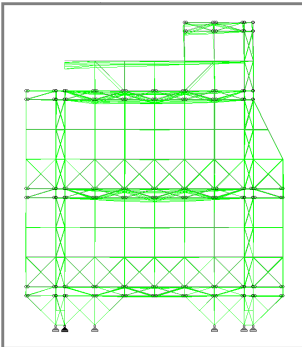
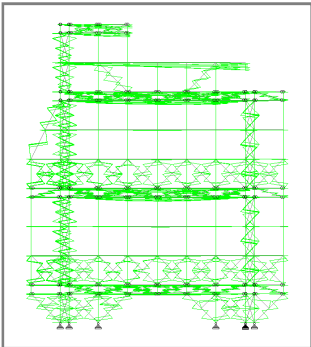
$$(10.31x.012) x100+.5= .128m \geq .00239m \text{ pasa por desplazamiento horizontal.}$$



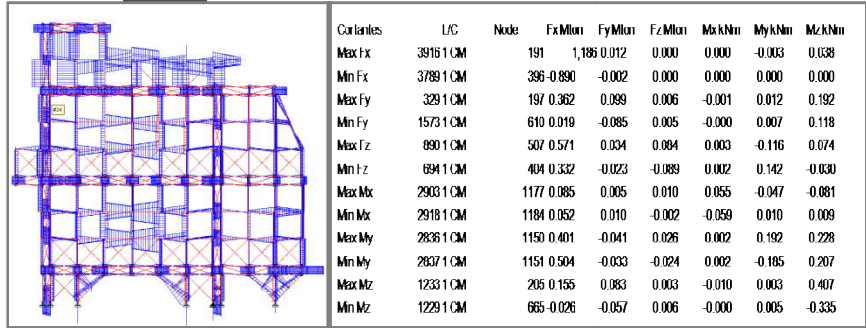
**ARRIBA:** Para poder generar la simulación estructural, se dimensionó la geometría correctamente para saber el espacio que iban a cubrir los miembros estructurales, estos parámetros ayudarán a determinar el tipo de perfil a elegir en el modelo.

**ABAJO:** En la primera imagen observamos a una escala aumentada el desplazamiento en Z, y en la segunda imagen el desplazamiento en X, en donde se calculó el desplazamiento por miembro permisible y la estructura pasó con muy alto rango de seguridad.

Desplazamientos	Node	L/C	Horizontal			Resultant Rotacion			
			X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	rZ rad
Max X	664.1	CM	0.236	-0.509	0.103	0.570	0.000	-0.000	-0.000
Min X	1174.1	CM	-0.117	-0.605	-0.036	0.617	0.000	-0.000	-0.000
Max Y	885.1	CM	0.024	0.013	0.001	0.026	-0.000	0.000	-0.000
Min Y	1182.1	CM	-0.112	-1.809	-0.017	1.812	0.000	-0.000	0.001
Max Z	1004.1	CM	0.136	-0.539	0.239	0.605	0.000	-0.000	-0.000
Min Z	386.1	CM	0.112	-0.114	-0.134	0.208	-0.000	-0.000	-0.000
Max rX	1181.1	CM	-0.113	-1.261	-0.015	1.266	0.001	0.000	0.000
Min rX	1167.1	CM	-0.020	-0.526	-0.048	0.529	-0.000	-0.000	-0.000
Max rY	713.1	CM	0.075	-0.044	0.016	0.088	-0.000	0.000	0.000
Min rY	631.1	CM	0.064	-0.077	0.102	0.143	0.000	-0.000	-0.000
Max rZ	1183.1	CM	-0.107	-1.394	-0.016	1.398	0.000	-0.000	0.001
Min rZ	1169.1	CM	-0.042	0.396	0.031	0.400	0.000	0.000	0.000
Max Rst	1182.1	CM	-0.112	-1.809	-0.017	1.812	0.000	-0.000	0.001

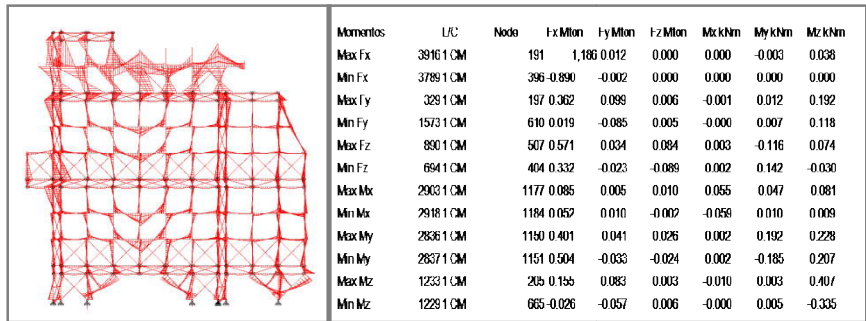


En la siguiente simulación verificaremos en dónde se concentra los mayores esfuerzos cortantes y de momentos, observaremos en qué lugares de la estructura existe una mayor incidencia de tensión, estos parámetros nos ayudarán posteriormente a diseñar las uniones de los miembros estructurales del modelo, también verificamos la eficiencia de la geometría y observamos que en las uniones existen puntos de tensión que se anularán con un diseño reforzado en las uniones.

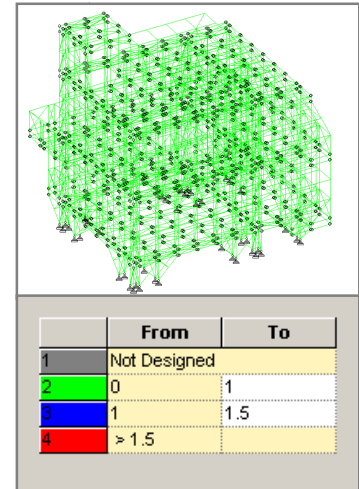
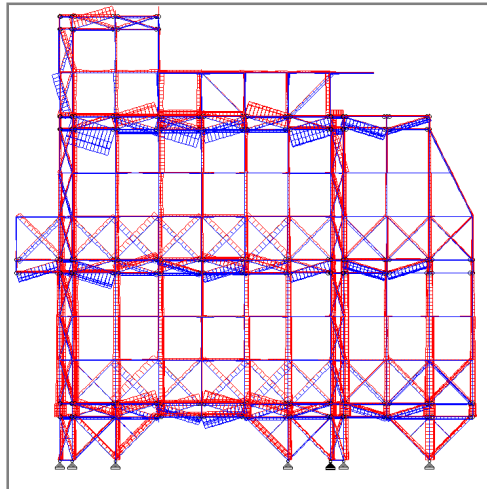


**ARRIBA:** En la simulación vemos cómo se comportaran las fuerzas cortantes en el modelo y en dónde existe mayor incidencia, esto nos da pautas para diseñar posteriormente los nodos que unirán a los miembros.

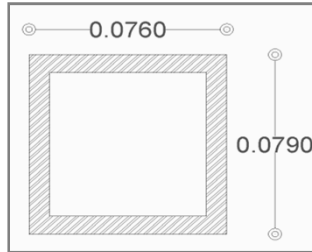
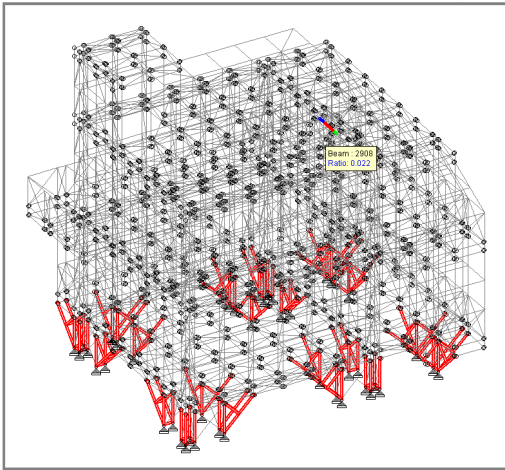
Estos parámetros nos ayudan a entender el comportamiento de la estructura y las fuerzas que influyen en ella, y percatarse de anular esa vertientes máximas, aunque en este caso las fuerzas que interactúan en el modelos son mínimas y no existe mayor riesgo en la estructura; la verificación de los miembros se checa con el factor de servicio de LRFD, el cual tiene el rango de 1 a 1.05, en donde los miembros estructurales del modelo pasan ampliamente este rango; la nomenclatura de color verde es el rango de seguridad de los miembros que es de 1, los azules son los que están en rango 1.05 a 1.5 aun que si se pasan de 1.05 ya no entran como miembros seguros, los rojos son de los de rango de alto riesgo y se deben verificar y cambiar el miembro propuesto en la geometría.



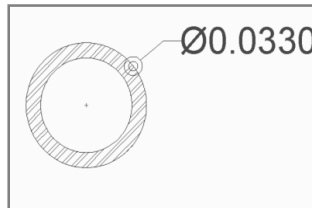
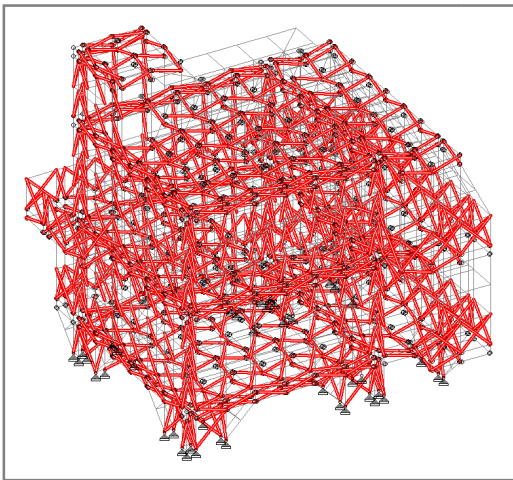
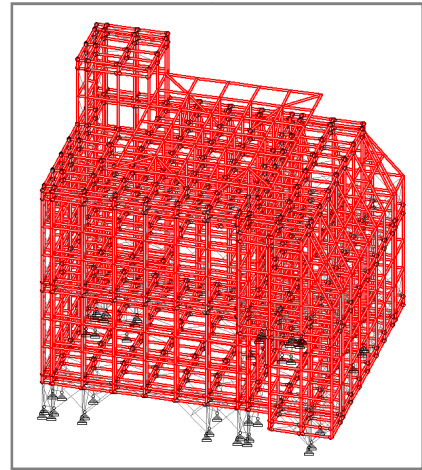
**ARRIBA:** En la simulación estática también encontramos cómo se comportaría el modelo estructural y en qué partes se tienen que reforzar las uniones, ya que para los miembros su efecto de momentos es mínimo.



**ARRIBA:** En el chequeo por el código del LRFD, vemos que los rangos de diseño no exceden del valor permitido, así como vemos en la imagen todas las piezas de color verde pasan las pruebas de seguridad de servicio.

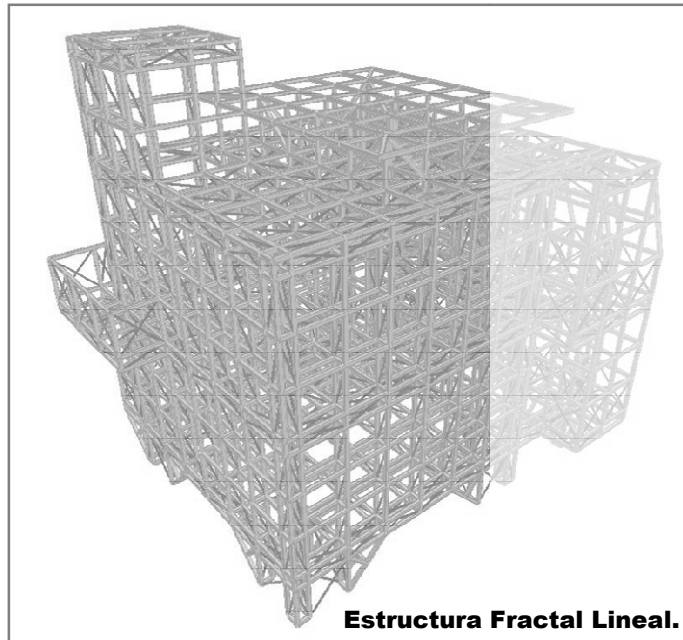


**ARRIBA:** El tipo de perfiles para esta disposición geométrica será de un OR7.6x7.9 el cual servirá de miembro en la estructura de columnas, vigas y soportes.



**ARRIBA:** El tipo de perfiles para esta disposición geométrica será de un OCXE33, esta pieza sirve para reforzar las uniones y los claros de los miembros.

Por último, la conclusión de esta simulación estática nos da la verificación del modelo por servicios de factor permisible que se propusieron anteriormente en los miembros pre-dimensionados, estas simulaciones nos ayudaran a entender cómo actuará la geometría con miembros reales y checar las uniones más desfavorables de la estructura; también maximiza la eficiencia de la estructura al máximo, dando un mayor rendimiento, a la forma geométrica fractal del modelo, se detallarán las piezas posteriormente con el desarrollo tecnológico ya verificado por el cálculo estático dentro de la simulación permisible.



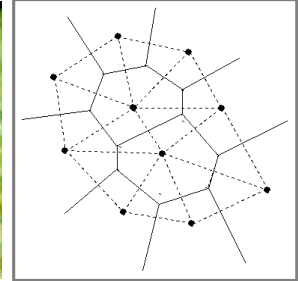
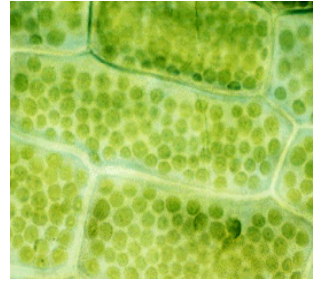
**Estructura Fractal Lineal.**

## GEOMETRÍA FRACTAL COMPLEJA.

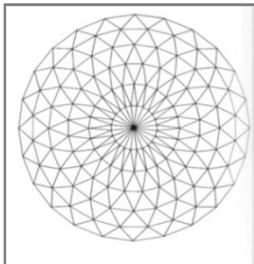
98

En la búsqueda de nuevas tecnologías, el uso de la biónica orgánica facilita las nuevas formaciones de espacios en la arquitectura, la **morfología-conceptual** se basa en la metodología que se utiliza, es la misma que se ha venido haciendo durante toda la investigación: generar geometrías estructurales flexibles en base a la biónica con el estudio análogo y la observación de la figura estructural de organismos, en este caso la geometría fractal compleja nos ayudará a concebir varias formas más aproximadas a las que genera la naturaleza, ya que su formación de diseño se elaborará por iteraciones que nos producen múltiples geometrías, pero en este tema sólo se utiliza para generar formas biónicas adaptables al contexto, para entender un poco lo que se hará en la siguiente metodología, experimentaremos con tres de los grandes conceptos que se aplicarán en los modelos posteriores.

La primera experimentación se aplica en una geometría celular fractal, el concepto que se toma es la modulación y la adaptación de la estructura en el espacio, observando esta retícula modular podemos implementar una geometría que sea posible reproducir varias veces e integrar su estructura geométrica en el espacio; para generar esta retícula nos vamos a los principio fractales que es la segmentación de una figura varias veces, en este caso se construyó una malla reticular plegable con una figura en forma de "X", está diseñada para desplegarse un arco, y su repetitiva formación genera varios espacios modulares que son fáciles de montar en cualquier lugar.



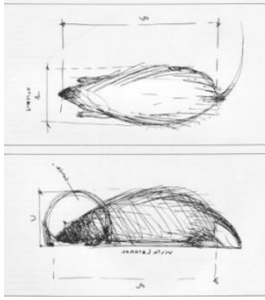
**ARRIBA:** La retícula celular es un buen principio de diseño modular de cómo adapta el espacio a un terreno irregular, esto dio paso a desarrollar una malla plegable hacia ambos sentidos.



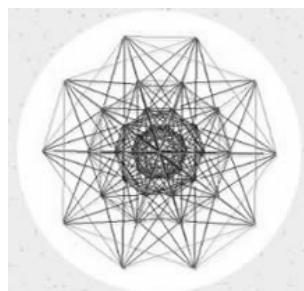
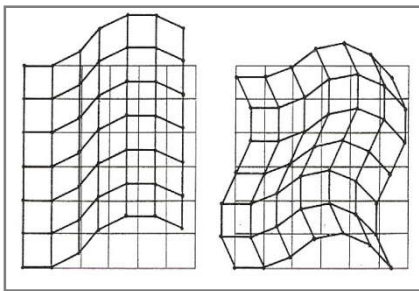
**ARRIBA Y ABAJO:** La geometría de una flor es una de las estructuras orgánicas más flexibles y resistentes en el mundo natural, ya que sus pétalos son en forma de parábola y las hacen más resistentes, aunque en su forma oculta más geometrías como el espiral geodésico.

Continuando con la experimentación de la otra figura orgánica, se analiza la geometría de una flor con ella se observa una figura en "X" ligeramente desviada con ángulos más cerrados en su punta inferior y ángulos más abiertos en su parte exterior, la unión de estas piezas geométricas crea una cúpula geodésica circular rebajada y plegable en ambos sentidos, su forma geométrica se puede repetir varias veces y generar un organismo espacial más grande, el cual puede transportarse fácilmente; teniendo en cuenta estas experimentaciones justificamos la formación biónica y bioforma del siguiente modelo fractal.





**ARRIBA:** La biónica y la bioforma se combinan para dar paso a formas más adecuadas en la arquitectura, en consecuencia se obtiene mejor integración estructural en el espacio de la ciudad.



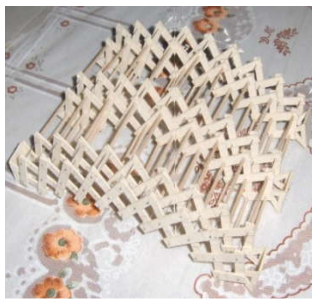
**ARRIBA:** La geometría fractal compleja ayuda a generar las formas biónicas plegables del erizo y nos da alternativas de formas en que se pueden producir.

**ABAJO:** La figura principal de la estructura plegable del erizo son los arcos principales que sostienen la edificación, con ellos se forma la longitud del esqueleto y fija su cuerpo al suelo, ya hecho el tronco de la estructura plegable éste puede transportarse muy fácilmente a cualquier parte.

Después de la elaboración y comprobación de algunos modelos tridimensionales, logramos crear la segunda **Adecuación Geométrica** de la investigación, en donde la geometría fractal compleja es la que domina la concepción de este proyecto, su principal característica es la función plegable de la estructura, la cual está hecha de láminas en forma de X, éstas se pliegan en un sentido y cuando se abren forman un arco grande.

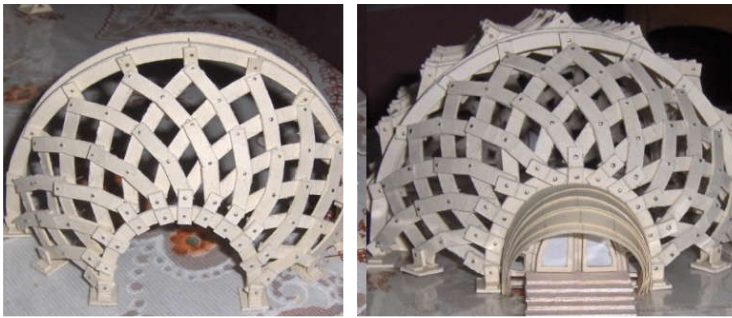
La constitución de este proyecto es la figura biónica de un erizo, su cuerpo de forma cónica y sus delimitaciones representativas de una cúpula geodésica, generan la forma de la propuesta biónica plegable.

Además está diseñada de forma que al recibir la presión, absorba la fuerza del ambiente y a la vez amortiguar las diferentes coacciones que influyen en su contexto, primero se esquematizó la figura del erizo en un dibujo donde se analizó su forma y la geometría; ésta desarrolla su esqueleto, su geometría nace de un punto central de circunferencia el cual le da la forma cilíndrica a la armadura plegable, esta estructura puede interactuar en varias repeticiones puesto que la malla plegable está constituida en tres arcos principales unidos por vigas que hacen que tenga mayor envergadura y estabilidad, los marcos pueden unirse repetitivamente en ambos sentidos.





**ARRIBA:** La geodésica está hecha a base de formas de "X", que se unen en forma radial y en un extremo son más cerrados los ángulos, esto le da la propiedad de plegarse en sentido horizontal.



**ARRIBA:** El conjunto está constituido por tres piezas, éstas unidas forman al erizo; su sistema plegable y de montaje le da las características de transportar la estructura a todas partes.

**ABAJO:** La entrada de la estructura plegable está hecha de arcos segmentados que dan la figura de un caparazón, ésta sirve para tapan la entrada de la estructura, de igual manera puede tener otras funciones como estructura independiente, la colocación del piso con la estructura de tijereta encaja perfectamente, ya que la prefabricación de las piezas ayudan a formar mejores construcciones rápidas.

Su cúpula geodésica se forma por la figura del lomo del erizo y hace evidente la cúspide de la pronunciada cúpula geodésica, la cual se puede plegar y transportar fácilmente, fabricada en figura de forma de X, sus ángulos inferiores cerrados le dan propiedad de plegarse de manera horizontal abriendo una gran bocanada en donde se coloca un arco desmontable que estabiliza el empuje de la cúpula, este armazón plegable puede ser independiente del cuerpo estructural del erizo, aunque las dos en conjunto refuerzan sus formas y crean el esqueleto del erizo.

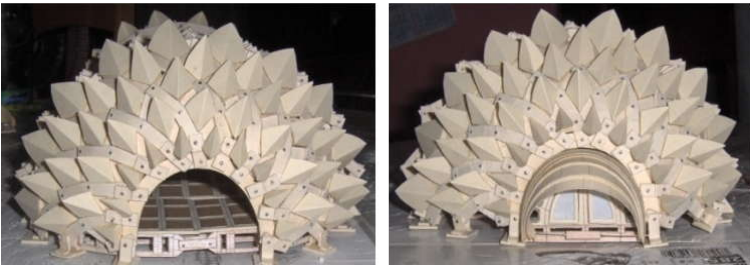
Por último se desarrolló la trompa y la cola del erizo, es un caparazón en forma de trompa que se pliega en un sentido y ayuda a cubrir las entradas de la estructura, ésta se mantiene en su forma gracias al tensor que une la forma del arco plegable en la entrada.

El piso también está pensado para plegarse y transportarse junto con la estructura plegable del erizo, hecha con armaduras tipo joins, con un nodo central que tiene un pivote que pliega el piso de la estructura interior, el piso está constituido por tres partes, las cuales se unen por nodos y juntas que se insertan en las uniones; arman un piso uniforme estandarizado, este piso está pensado para formar un colchón térmico y aislar la sensación térmica provocada por el suelo.





**ARRIBA:** La piel que se desarrolla en la cúpula geodésica es de una geometría fractal compleja, tiene la función de protegerse de la incidencia solar y de captar los vientos dominantes en su parte abierta.

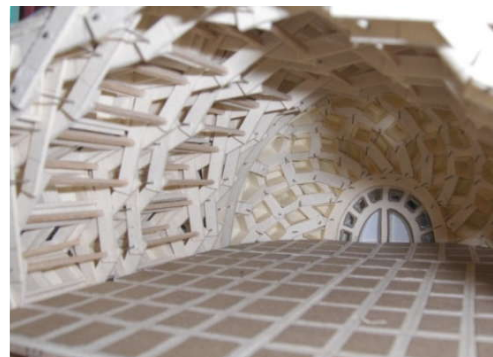


**ARRIBA:** El diseño rítmico de esta geometría genera la forma de cuello del erizo y por lo tanto se integra al contexto natural.

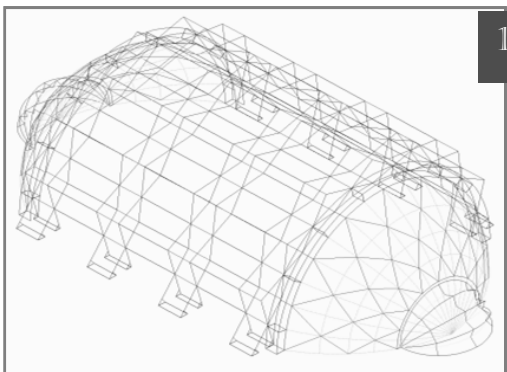
**ABAJO:** La piel fue desarrollada para proteger la estructura de incidencia solar y para captar los vientos dominantes, la colocación de los dispositivos son el colchón térmico de la estructura plegable.

Para concluir con la figura del erizo, se le dio un revestimiento fracturado que aparenta la piel del animal, y que también sea apta para funcionar como dispositivos bioclimáticos que capturaran el aire y la luz; siguiendo con esta línea de la bioforma se desarrolló una piel con formas de púas que iban en sentidos opuestos, unos capturaban el aire y otros la incidencia solar, su piel plegable estaba hecha de un bastidor rectangular que encaja con el espacio del esqueleto plegable.

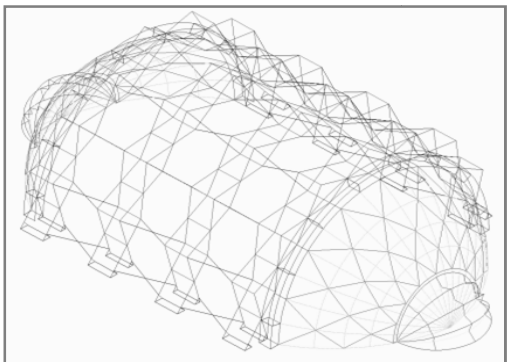
La piel de la cúpula geodésica fue un poco más fracturada y rítmica en iteraciones ya que tenía 5 pares diferentes de encaje de púas, ésta aparenta el cuello del animal, su posición dentro de esta media cúpula fue la de proteger la fachada de incidencia solar y captar el viento en su parte abierta, en conjunto la estructura forma una geometría fractal compleja que semeja la figura de un erizo, como podemos notar, la biónica como principio de diseño estructural y la bioforma como diseño de adaptación forman un nuevo sistema innovador que se adapta al contexto.





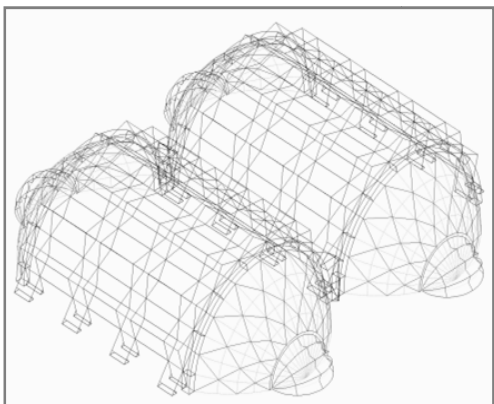


**ARRIBA Y ABAJO:** La geometría del modelo se basa en la figura de "X" que forma un armazón que estabiliza a la geometría por forma, está compuesta por dos cubiertas que se unen y componen la figura plegable.

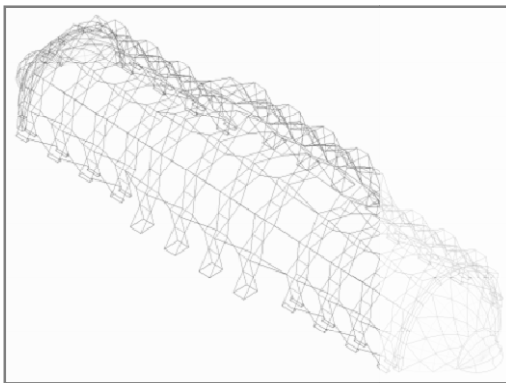
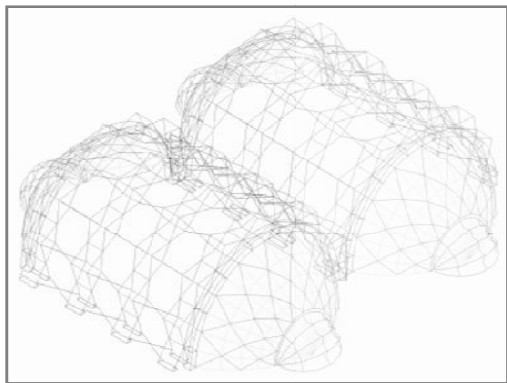
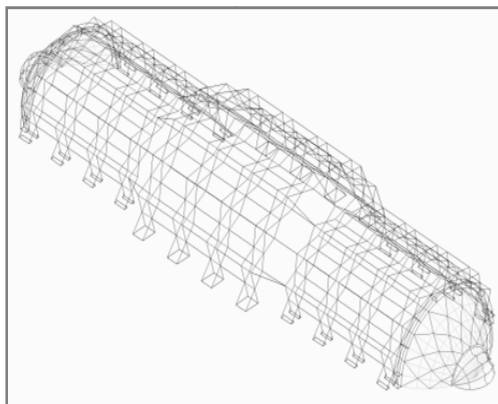


Después del desarrollo análogo del modelo se efectúa la adecuación geométrica para desarrollar su estructuración y posteriormente su análisis estructural, el desarrollo geométrico nos brindará los diferentes casos geométricos de unión y de iteración del mismo modelo, ya que en este caso podemos lograr diferentes procesos geométricos de la estructura, ésta se compondrá de una guía circular que ayudará a formar la figura fractal del proyecto, la primer figura está compuesta de dos cuerpos que se comportan como armadura.

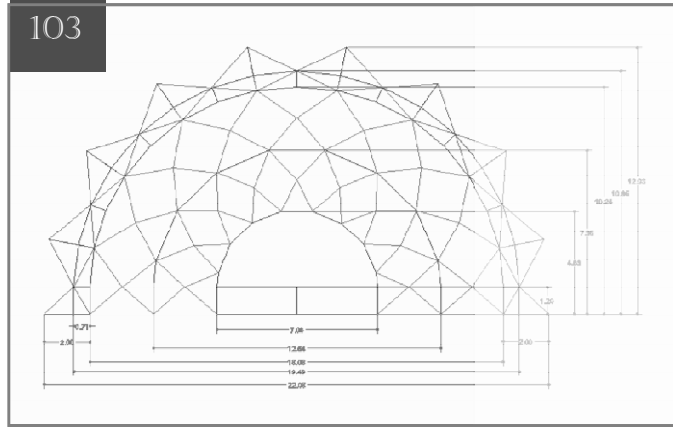
La parte más grande de la nave se integra por cuatro armaduras ligadas por vigas unidireccionales, la cual se pliega en un solo sentido, su figura se compone de miembros de tijeras que unidas generan armazones ayudando a absorber los desplazamientos, la geodésica se compone con la misma figura de tijeras pero está puesta en la curva de la cúpula, la cual actúa también como amortiguador de los empujes de armazón; la iteración de este cuerpo puede combinar diferentes uniones geométricas de plegado en el armazón, en las diferentes combinaciones encontramos una variedad de posibilidades que plieguen la estructura, éstas pueden cambiar la propiedad de la geometría y convertirla en una cubierta bidireccional en ambos sentidos ayudando a darle una mayor estabilidad a la geometría del modelo, el crecimiento de la figura nos brinda un desarrollo de crecimiento de diferentes escalas y direcciones que forman una estructura modular autoconstruible.



**ABAJO, IZQUIERDA Y DERECHA:** La geometría puede desarrollarse en diferentes escalas y uniones de diferentes combinaciones, al igual que puede generarse de diferentes piezas en "X" lo cual la hace más estable.



La segunda simulación estática se realizará para genera **tecnología estructural**, en este caso su forma está constituida por una serie de marcos plegados en forma de “X”, cubierta que se comporta unidireccionalmente y termina a sus extremos con una cúpula geodésica que absorbe la fuerza de empuje en su armaduras en “X”, ésta igual tiene la propiedad de plegarse, los miembros de esta armadura funcionan bien por la forma geodésica y articulada del modelo. Para esta simulación se especificó que el material sería un acero A36 con un módulo de elasticidad de 2530 kg/cm<sup>2</sup> y un factor de ruptura de giro de Poisson’s de 0.3 con densidad de 7.83847 Mton/m, las piezas seleccionadas son de tubos OCXXE73 para miembros de unión principal, los atiesadores están conformados por tubos OCXE60; para los miembros de armadura de la geodésica se propusieron tubos OCXXE89, para las armaduras plegable en el espacio grande se propuso una viga forjada en forma de H con un perfil de 10cms de alto por un ancho de 9cms con placas forjadas compuestas de ½ de pulgada y con un alma de .8cms.



**ARRIBA:** Se dimensionó la geometría fractal para determinar parámetros de diseño estructural que son muy importantes para hacer la simulación estática de la estructura.

Para los miembros plegables de la geodésica se propuso una viga forjada de forma H con un perfil de 4.5cms y una anchura de 5.35cms, formada por dos placas combinadas de 1.49cms de espesor y un alma de .625cms, los apoyos están sujetos en Y,Z y está libre en el sentido de las X por la armadura plegable, los apoyos de la geodésica están sujetos en Y, X y están libres en Z, la segmentación de la geometría trabaja como armadura en una sola dirección al igual que la geodésica, las vigas que ligas las armadura esta unidas por apoyos relajados en sentido Y, Z, su rango de servicios será por el código LRFD y no pasarán de los valores de 1 a 1.05, para ser óptimo en seguridad y estabilidad estática en la geometría.

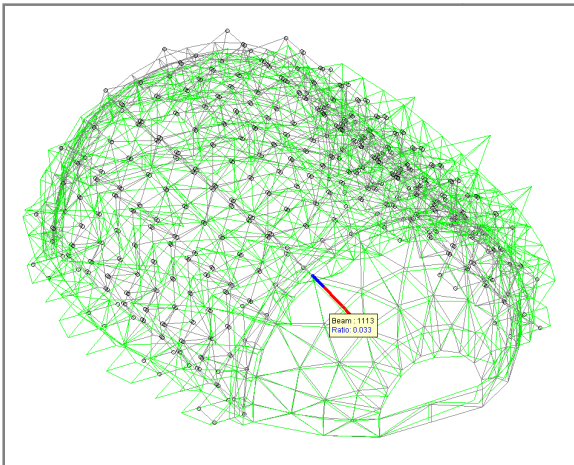
La simulación de los anteriores parámetros de diseño nos da como resultado la estabilidad de la estructura. Como primera verificación veremos los desplazamientos dentro de la estructura, en donde sus límites de servicios no deben exceder lo permitido en la reglamentación [Véase apéndice “B”] en este caso como los desplazamiento en vertical es L/240, [en donde L es el claro del miembro], y el horizontal es (Hx.012)x100+.5, [en donde H es la altura del nodo], con esto se obtendrán los parámetros de desplazamiento permisible en el modelo; de acuerdo a los resultado de la tabla de desplazamientos máximos (Tabla FLC.-1) se hará la siguiente operación:

El desplazamiento vertical tomará el máximo resultado en Y por lo tanto, L=2.5 puesto que su longitud tiene 2.5m de claro entre la armadura:

$$2.5/240+.5= .050104m \geq .01037m \text{ pasa por desplazamiento vertical}$$

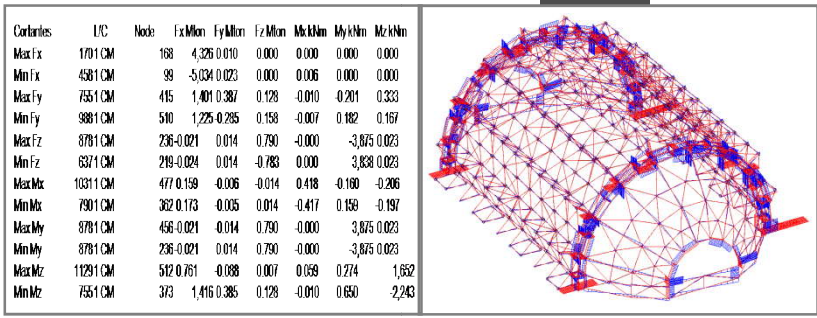
En el desplazamiento horizontal se tomará el máximo resultado en X, por lo tanto H=4.93, su desplazamiento se localiza en la parte media de la estructura:

$$(4.93x.012) \times 100+.5= .064m \geq .0116m \text{ pasa por desplazamiento horizontal.}$$



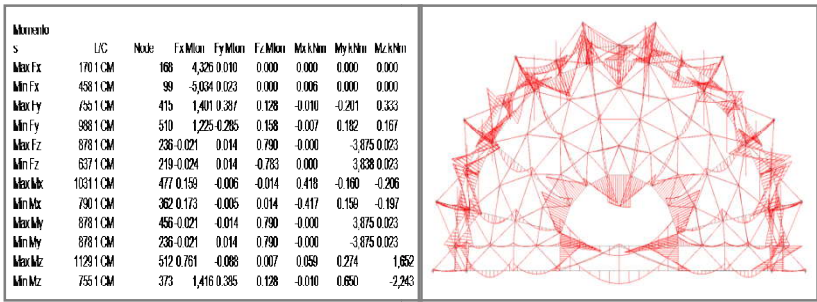
Desplazamientos	Node	IAC	Horizont			Horizont Resulta		Rotation		
			X mm	Y mm	Z mm	mm	rot	al	rY rad	rZ rad
Max X	228	1 CM	11.604	1.691	1.204	11.788	0.000	0.000	0.000	0.000
Min X	192	1 CM	-10.775	1.627	1.207	10.964	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Y	222	1 CM	9.656	1.885	1.210	9.912	0.000	0.000	0.000	0.000
Min Y	208	1 CM	0.393	-10.374	0.030	10.382	0.000	0.000	0.000	-0.002
Max Z	446	1 CM	0.468	-1.295	2.341	2.716	0.003	-0.000	0.000	0.000
Min Z	331	1 CM	0.497	-1.272	-2.297	2.672	-0.003	0.000	0.000	0.000
Max rX	554	1 CM	0.591	0.004	2.029	2.113	0.003	-0.000	0.000	0.000
Min rX	439	1 CM	0.620	0.028	-1.990	2.084	-0.003	0.000	0.000	0.000
Max rY	426	1 CM	-0.586	-0.868	-1.740	2.031	0.000	0.002	-0.001	-0.001
Min rY	541	1 CM	-0.665	-0.815	1.733	2.028	-0.000	-0.002	-0.001	-0.001
Max rZ	208	1 CM	2.795	0.929	-0.007	2.945	-0.000	0.000	0.000	0.003
Min rZ	269	1 CM	-2.398	0.832	-0.000	2.538	0.000	-0.000	-0.000	-0.002
Max Rot	228	1 CM	11.604	1.691	1.204	11.788	0.000	0.000	0.000	0.000

**ARRIBA:** El tipo de desplazamiento que puede tener el modelo, en este caso como sólo se analizó por peso propio para pre dimensionar sus miembros, pasa ampliamente el rango de seguridad permitido.



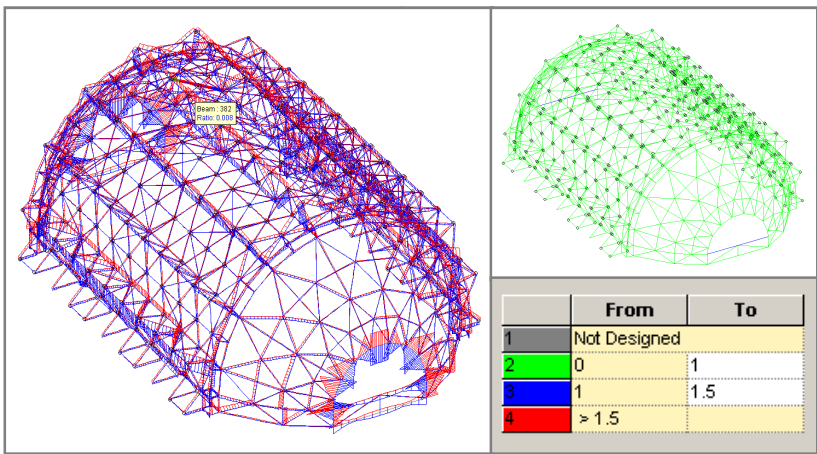
**ARRIBA:** En la imagen vemos cómo las fuerzas cortantes influyen en el modelo, tanto en la dirección en X y Z, donde podemos observar que incide en el arco de unión del modelo.

En la siguiente simulación verificaremos en donde se concentran el mayor esfuerzo de cortante y de momento, observaremos en qué lugares de la estructura existe una mayor incidencia de tensión, estos parámetros nos ayudara posteriormente a diseñar las uniones de los miembros estructurales del modelo, ésto para reducir los esfuerzos cortantes y de momento en la geometría; en particular en esta estructura, sus uniones serán conexiones conformados por bushing que servirán para darle plegabilidad a la estructura, y es vital saber los esfuerzos que hay en estas simulaciones para su diseño; también verificamos las tensiones máximas de esfuerzo en el modelo, y se observa que en los extremos de la geometría existe mayor fatiga por la trasmisión de esfuerzo en ese arco, esto ayudará a implementar qué tipo de diseño podrá mitigar esas fuerzas de tensión.

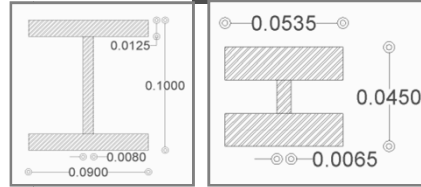
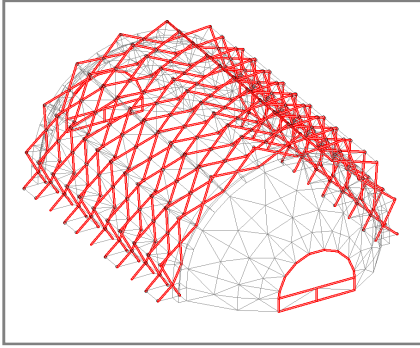


**ARRIBA:** La gráfica de momentos nos servirá para diseñar las uniones de los miembros, éstos influyen más en el arco de la geodésica puesto que ahí se concentrará todo el empuje de una dirección hacia ese arco.

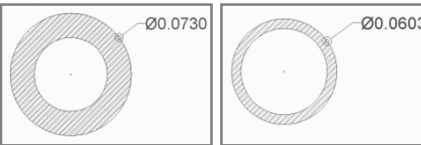
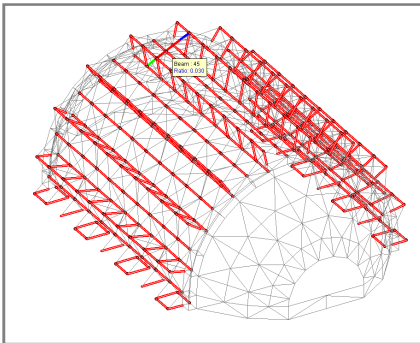
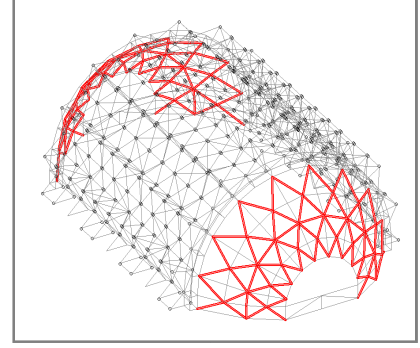
Con estos parámetros nos ayudarnos a entender el comportamiento de la estructura y las fuerza que influyen en ella y percatarnos de anular esas vertientes máximas, aunque en este caso las fuerzas que interactúan en el modelos son mínimas y no existe mayor riesgo en la estructura, la verificación de los miembros se checa con el factor de servicio de LRFD, el cual tiene el rango de 1 a 1.05, en donde los miembros estructurales del modelo pasan ampliamente dicho rango; la nomenclatura de color verde es el rango de seguridad de los miembros, que es de 1, los azules son los que están en rango 1.05 a 1.5 aunque si se pasan de 1.05 ya no entran como miembro seguros, los rojos son los de rango de alto riesgo y se deben verificar y cambiar el miembro propuesto en la geometría.



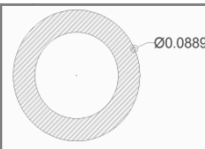
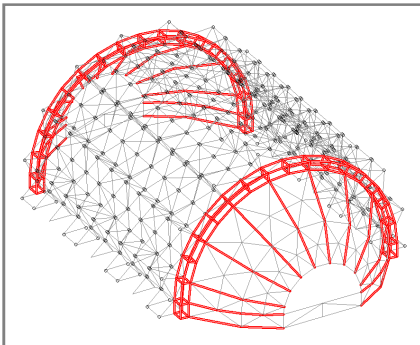
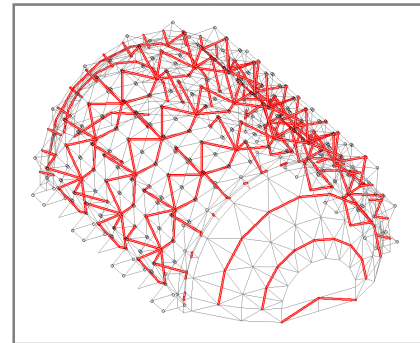
**ARRIBA:** En la imagen podemos observar que el modelo pasa por rango de seguridad aunque hay un miembro en azul, no excede del factor máximo de 1.05 de radio de giro.



**ARRIBA:** Se propuso un perfil forjado hecho de acero A36, estas son las dimensiones que pasan el rango de seguridad y proporcionan la forma óptima que debe tener para soportar la armadura plegable.

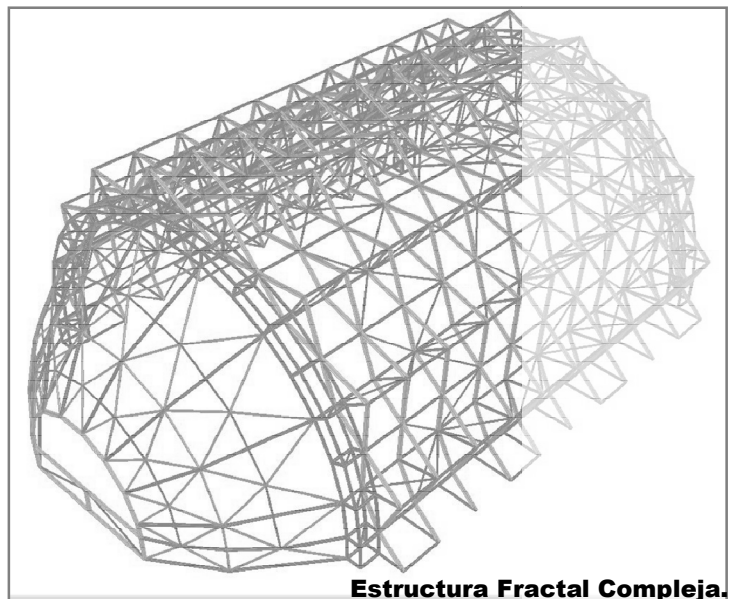


**ARRIBA:** Se propuso un miembro tubular, para miembros de unión de las armaduras al igual que atiesadores para evitar desplazamientos en Y, X.

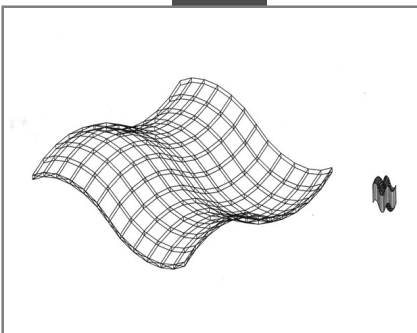


**ARRIBA:** Se colocaron tubos, en las piezas geométricas del arco y las vigas guías, esta tendrá la función de soportar los empujes laterales y dar unión el cuerpo de la estructura.

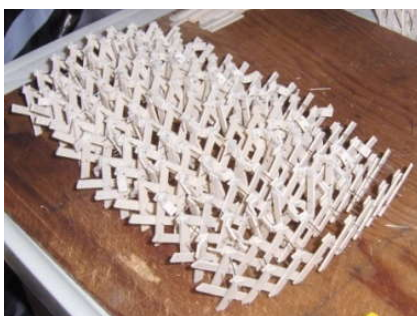
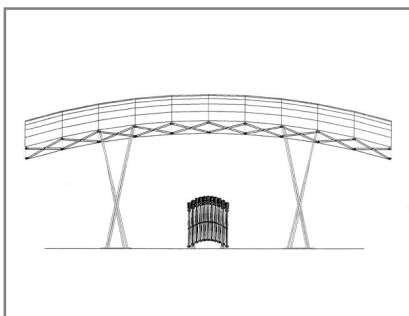
Por último, la conclusión de esta simulación estática nos da la verificación del modelo por servicios de factor permisible que se propusieron anteriormente en los miembros pre-dimensionados, estas simulaciones nos ayudarán a entender cómo actuará la geometría con miembros reales y checar las uniones más desfavorables de la estructura, también maximizó la eficiencia de la estructura al máximo dando un mayor rendimiento a la propuesta de diseño biónico y a la forma geométrica fractal del modelo, se detallarán los piezas posteriormente con el desarrollo de la tecnología ya verificado por el cálculo estático dentro de la simulación permisible.



**Estructura Fractal Compleja.**

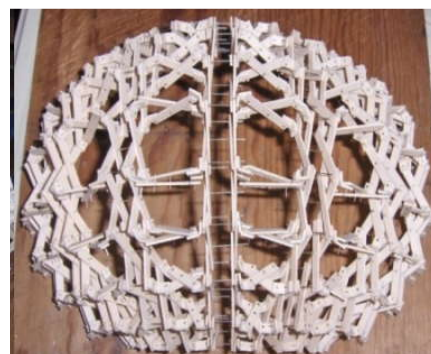
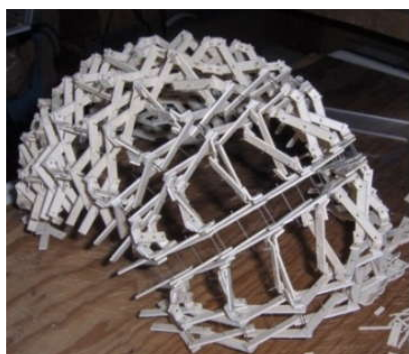
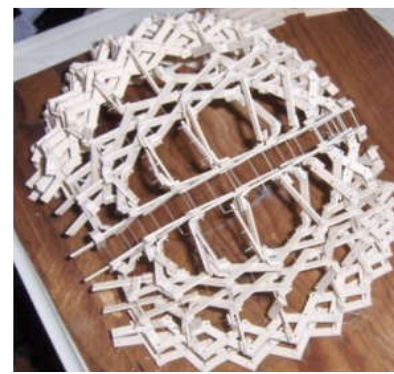


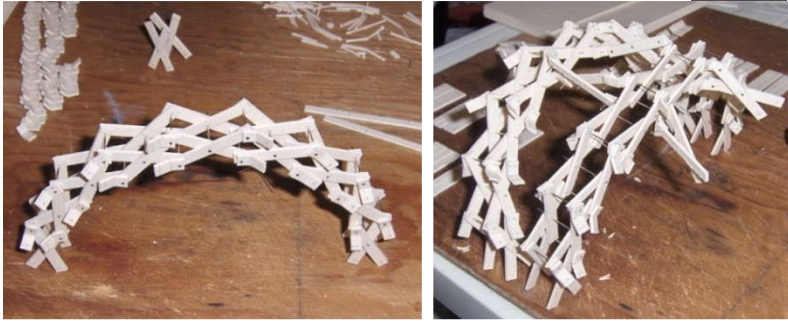
**ARRIBA:** La estructura biónica en este caso tiene la propiedad de ser generada con arcos plegables que abren en ambos sentidos para hacerlo aún más prácticos.



**ARRIBA Y ABAJO:** La plegabilidad de la estructura es parcial, ya que su curvatura en un sentido es corta para darle la figura de un gusano enroscado.

Siguiendo con la estructura biónica en la naturaleza, encontramos nuevas variantes de la **adecuación geométrica** plegable, este proyecto se basará en el mismo principio de marcos principales plegables, el cual conformará una forma biónica de gusano de seda; el gusano de seda está compuesto por anillos arqueados, los cuales le dan la habilidad de plegar su cuerpo como si fuese un caparazón, haciendo esta reflexión biónica de la estructura de gusano implementaremos esta figura a un armazón plegable que se desarrollará; para ver el mecanismo de adaptación estructural de la segmentación anterior tienen el mismo principio de armaduras en "X", pero en este caso forman diferente figura biónica, la cual se conforma de varios anillos en ambas direcciones y le da una mayor estabilidad al modelo experimental.





**ARRIBA:** La estructura principal del armazón es un arco plegable que forma el esqueleto del caparazón del sistema estructural.

La estructura se desarrolla por la morfología biónica de los anillos plegables de gusano de seda, ésta tiene la flexibilidad de generarse en diferentes posiciones y formas, ya que el plegado del armazón cambia de figura cuando no está atiesado en sus puntos de anclaje, esta unión está compuesta con un medio domo recto, el cual trasmite la tensión a un arco, que sostiene la geometría del cascarón; la figura de la estructura será de acuerdo a los atiesadores que rigidizan la estructura, ésta remata con unos apoyos en forma de punta que distribuye la compresión directamente a los basamentos.

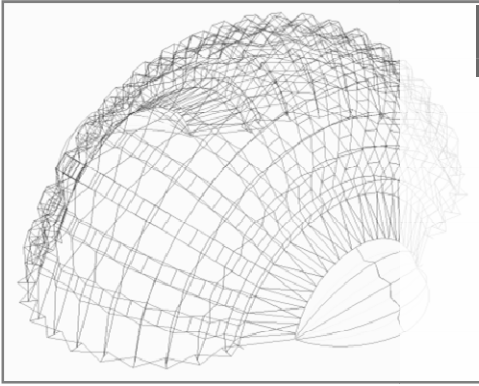


**ARRIBA:** La figura del armazón puede tener varias formas orgánicas esto pasa por la colocación de los atiesadores que se encuentran en la punta de los arcos, en donde se colocan para definir la geometría de la estructura.

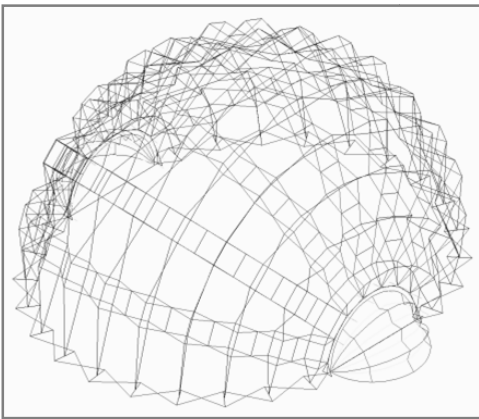
El elemento que remata la armadura plegable que abre en ambos sentidos es un pequeño caparazón plegable, su crecimiento y desplegado puede graduarse de acuerdo a la unión que va a ligar a toda la cubierta bidireccional sujeta a los arcos laterales, que tensionará a la estructura plegable; la fragmentación de la estructura es muy versátil, ésta puede formar más representaciones biónicas fractales de diferentes posiciones, como un gusano.

**ABAJO:** La colocación del domo recto ayuda a estabilizar el empuje de los arcos a un arco montable central, en donde aterrizan las tensiones.





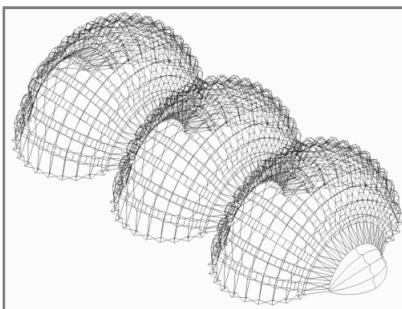
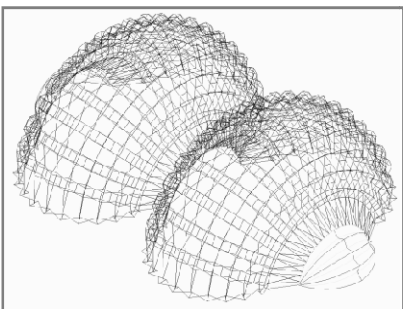
**ARRIBA Y ABAJO:** La conformación de la geometría del gusano de seda se desarrolló por marcos plegables en ambos sentidos, sujetos por un arco de armadura que contiene el desplazamiento lateral de la geometría.



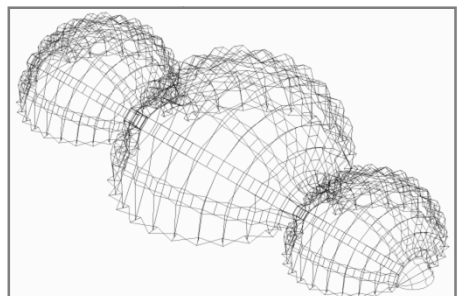
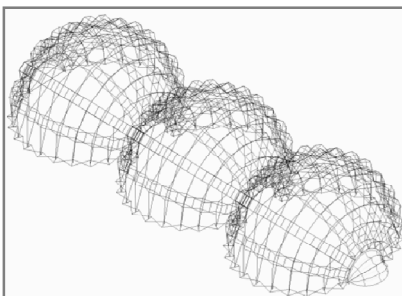
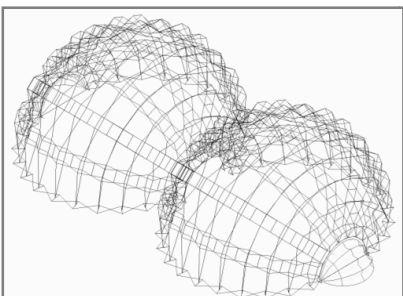
La generación de la geometría de este modelo nos brinda un gama muy variada de posibilidades de plegado de acuerdo al arco que unirá a la cubierta ya que ésta es la que estabilizará y mantendrá unido al modelo; cabe mencionarse que esta figura como es bidireccional nos produce combinaciones y uniones muy variadas, de acuerdo a qué tan cerrado esté el arco se obtendrá una figura biónica rígida, la cual tiene la forma de un caparazón, pero a la vez flexible por la composición de marcos de armadura plegable abierta en ambos sentidos.

La figura del modelo geométrico se compone de marcos plegables en ambos sentidos unidos por arcos compuestos de armaduras, su figura por una "X", y forman una armazón rígida; ésta sirve para contener el desplazamiento lateral de un sentido de la cubierta plegable, este ligamento puede repetirse varias veces en la cubierta plegable, hasta formar un figura geométrica de un gusano compuesta por varios anillos plegables. Las repeticiones itinerantes de la geometría se deben a que está compuesta por muchas partes estandarizadas.

Esta geometría puede tener varias escalas y uniones pero su repetición sólo puede ser en un sentido en donde los arcos se unen con la cubierta, estas segmentaciones generan una estructura biónica más grande, pasando a hacer la figura inicial de sólo un segmento del gran cuerpo que se fractura en el modelo geométrico, la conformación de estas iteraciones forma una geometría fractal compleja dado que sólo inicia con una figura normal repetida varias veces hasta conformar una gran entidad biónica.

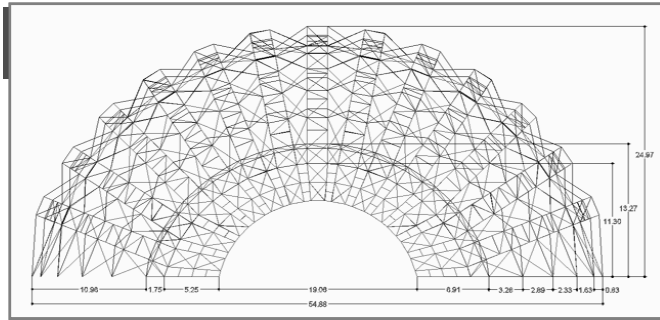


**IZQUIERDA Y ABAJO:** La adecuación geométrica de este modelo puede obtener varias figuras, de acuerdo a qué tan cerrado sea el arco de ligue, éste a su vez será un punto de repetición del mismo modelo segmentado.



La tercera simulación estática se realizará para generar **tecnología estructural**, en este caso su forma está constituida por una serie de marcos plegados en forma de "X", pero su cubierta se comporta en dos direcciones, en donde sus miembros forman un caparazón circular, dándole una mayor estabilidad al claro de la estructura, en los extremos termina con articulaciones en puntas, y a sus costados se forma un arco de unión que sostiene al armazón y concentra las uniones de los marcos de alma abierta; se une también a una armadura de forma circular, reforzada con atiesadores para transmitir los esfuerzos a los soportes con mucha fluidez.

Para esta simulación se especificó que el material sería un acero A36 con un módulo de elasticidad de 2530 kg/cm<sup>2</sup> y un factor de ruptura de giro de Poisson's de 0.3 con densidad de 7.83847 Mton/m, las piezas seleccionadas son de tubos OCXXE89 para miembros de unión de vigas de marcos principales, contraventeos, refuerzos de la armadura en ambos sentidos y atiesadores para la armadura del arco lateral de unión de la estructura; en el refuerzo de los apoyos se propuso un tubo OCXE102, para relajar los soportes principales y distribuir mejor sus peso en ellas, las armaduras plegable de dos direcciones se propuso una viga forjada en forma de H con un perfil de 10cms de alto por un ancho de 11cms, con placas forjadas compuestas de 1/2 de pulgada y con un alma de 1.12cms de espesor; para los miembros de arco de unión también se propuso este perfil forjado el cual está reforzado como armadura con atiesadores.



**ARRIBA:** Se determinó la dimensión y en escala real, para tener pautas de diseño que ayuden a la simulación a generar gráficas estáticas de comportamiento natural de los esfuerzo en la geometría.

**ABAJO A LA IZQUIERDA:** Se determinó los desplazamientos de los miembros máximos de la estructura y no excedió del rango de seguridad, y podemos notar la forma en que se desplaza la estructura en la simulación.

En los apoyos se propuso un perfil forjado en forma de H con 12.5cms de perfil con un ancho de 12.5cms con placas compuestas de 1/2 de pulgada y con un alma de 2cms de espesor, los apoyos están sujetos en Y,Z y está libre en el sentido de las X por la armadura plegable, los apoyos del arco están sujetos en Y, X y están libres en Z, la segmentación de la geometría trabaja como armadura en dos direcciones generando una estabilidad natural, la armadura del arco amortigua los marcos y evita desplazamientos laterales, su rango de servicios será por el código LRFD y no pasarán de los valores de 1 a 1.05, para ser óptimo en seguridad y estabilidad estática en la geometría.

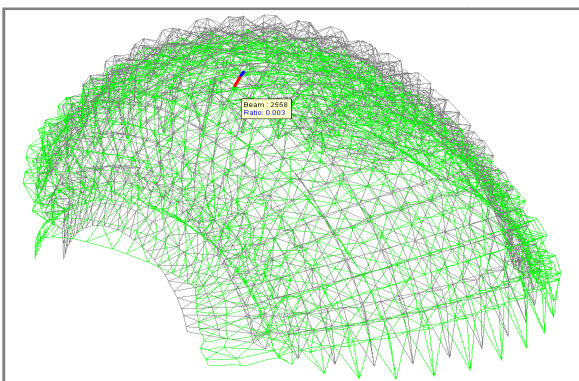
La simulación de los anteriores parámetros de diseño nos da como resultado la estabilidad de la estructura, como primera verificación veremos los desplazamientos dentro de la estructura, en donde su límites de servicios no deben exceder lo permitido en la reglamentación (Véase apéndice "B") en este caso como los desplazamiento en vertical es  $L/240$  (en donde L es el claro del miembro), y el horizontal es  $(Hx.012)x100+.5$ , (en donde H es la altura del nodo), con esto se obtendrán los parámetros de desplazamiento permisible en el modelo de acuerdo a los resultado de la tabla de desplazamientos máximos (Tabla FCB-1) se hará la siguiente operación:

El desplazamiento vertical tomará el máximo resultado en Y, por lo tanto,  $L=.65$  ya que su localización se encuentra entre cada miembro del arco, tiene un claro de .65 en su miembro:

$$.65/240+.5 = .0502m \geq .01037m \text{ pasa por desplazamiento vertical.}$$

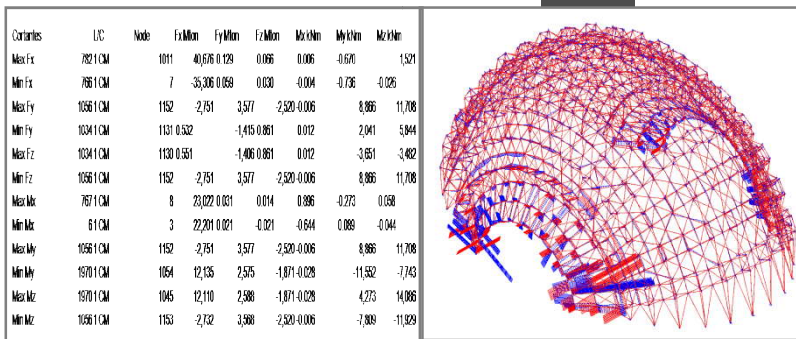
En el desplazamiento horizontal se tomará el máximo resultado en X, por lo tanto  $H=3.04$ , su desplazamiento se localiza en la parte baja del arco de unión:

$$(3.04x.012) x100+.5 = .0418m \geq .0319m \text{ pasa por desplazamiento horizontal.}$$



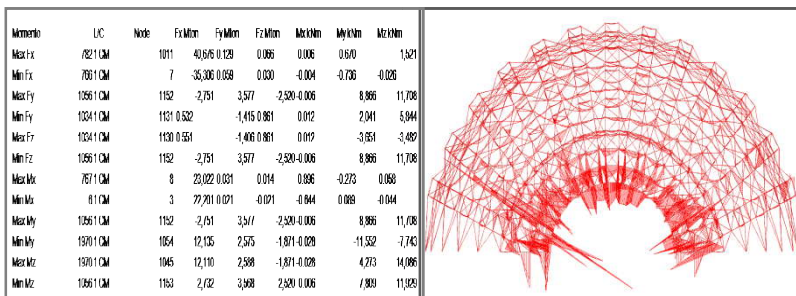
Desplazamiento	Node	IAC	Horizontal		Vertical		Resultado		Rotacion	
			X mm	Y mm	Z mm	o	cX rad	rY rad	cZ rad	
Max X	11311	CM	14.365	-3.016	-11.004	18.346	0.001	0.000	0.001	0.001
Min X	10451	CM	-31.983	-3.597	12.710	34.603	0.003	-0.001	-0.001	-0.001
Max Y	8691	CM	4.778	1.951	-3.968	6.510	0.001	-0.001	0.001	0.001
Min Y	11421	CM	-8.524	-40.099	31.491	51.694	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001
Max Z	11421	CM	-8.524	-40.099	31.491	51.694	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001
Min Z	11131	CM	-9.200	-17.069	-16.189	25.260	-0.000	0.000	-0.000	-0.000
Max cX	7791	CM	-0.891	-10.713	4.512	11.658	0.010	-0.000	0.005	0.005
Min cX	11	CM	-9.523	-24.936	14.853	30.547	-0.007	-0.000	-0.000	-0.000
Max rY	5641	CM	-7.827	-23.091	16.395	29.381	-0.000	0.006	0.004	0.004
Min rY	5201	CM	-14.500	-13.249	2.624	19.816	0.003	-0.006	-0.005	-0.005
Max cZ	11361	CM	-1.371	-20.463	12.234	23.880	0.005	0.005	0.007	0.007
Min cZ	11471	CM	-15.057	-22.908	14.166	30.857	0.005	-0.004	-0.006	-0.006
Max Rst	11421	CM	-8.524	-40.099	31.491	51.694	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001



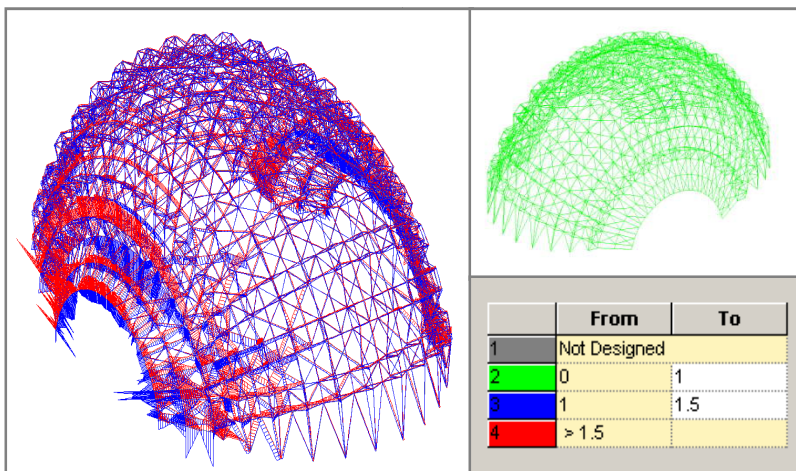


**ARRIBA:** Se observa la reproducción gráfica de las fuerzas en X, Z, en donde podemos ver que la mayor fuerza cortante será en los extremos del arco. Aun así los miembros propuestos pasan esta fatiga por cortante.

En la siguiente simulación verificaremos en donde se concentran el mayor esfuerzo de cortante y de momento, observaremos en qué sectores de la estructura existe una mayor incidencia de tensión, estos parámetros nos ayudara posteriormente a diseñar las uniones de los miembros estructurales del modelo; en este tipo de estructuras trabaja como armadura en ambos sentidos y se pliega en ambos, tiene una mayor estabilidad en su claro en donde se encuentra la mayor tensión de esfuerzos en la unión de estas armaduras dado que unen y evitan que se desplace la estructura a sus lados respectivos, también verificamos las tensiones máximas de esfuerzo en el modelo y se observa que las uniones del arco y su base es donde se encuentra la mayor fatiga, pero la misma forma de la geometría trasmite esas fuerzas a los apoyos sin sufrir mucha deformación, esto ayudará a implementar qué tipo de diseño podrá mitigar esas fuerzas de tensión.

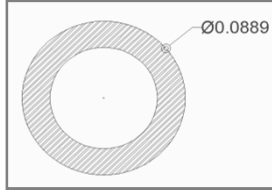
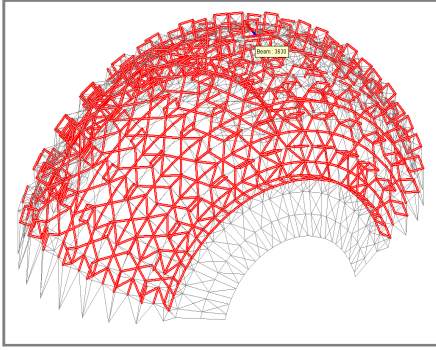


**ARRIBA:** En la grafica de simulación de los momentos observamos que de nuevo se concentra la mayor fatiga en los miembros en el arco porque éste unirá y sostendrá la cubierta bidireccional, evitando el desplazamiento de la estructura.

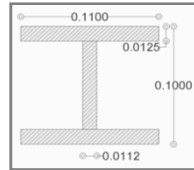
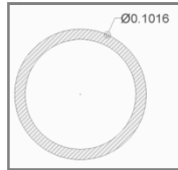
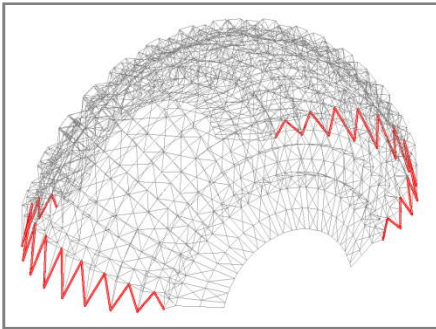
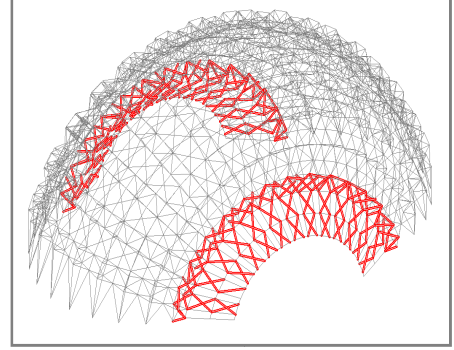


**ARRIBA:** Vemos que todos los miembros propuestos en la geometría pasan por el factor de seguridad, y brindan un dimensionamiento real de la estructura biónica.

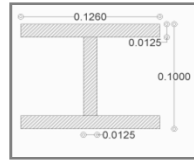
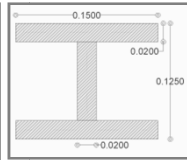
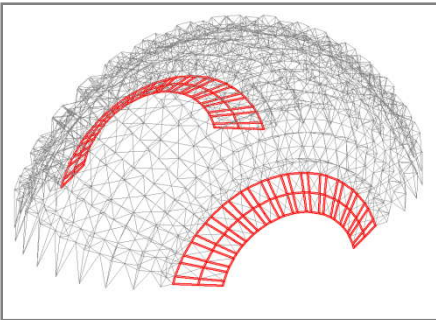
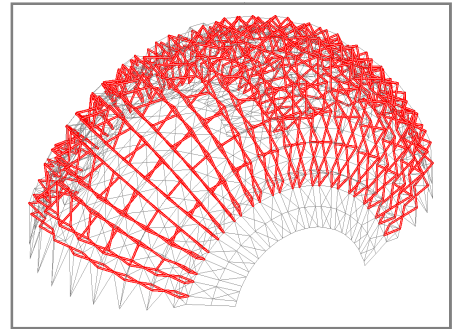
Con estos parámetros nos ayudamos a entender el comportamiento de la estructura y las fuerza que influyen en ella y percatarnos de anular esas vertientes máximas, aunque en este caso las fuerzas que interactúan en el modelos son mínimas y no existe mayor riesgo en la estructura, la verificación de los miembros se checa con el factor de servicio de LRFD, el cual tiene el rango de 1 a 1.05, en donde los miembros estructurales del modelo pasan ampliamente este rango, la nomenclatura de color verde es el rango de seguridad de los miembros que es de 1, los azules son los que están en rango 1.05 a 1.5 aunque si se pasan de 1.05 ya no entran como miembros seguros, los rojos son de los de rango de alto riesgo y se deben verificar y cambiar el miembro propuesta en la geometría.



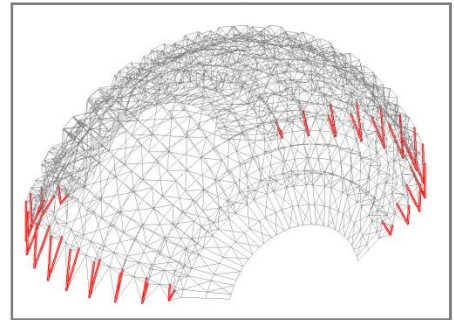
**ARRIBA:** Para los miembros de refuerzo, unión y atesadores se propuso miembros tubulares, esta solución ayuda a mantener rígida la estructura en sus dos sentidos.



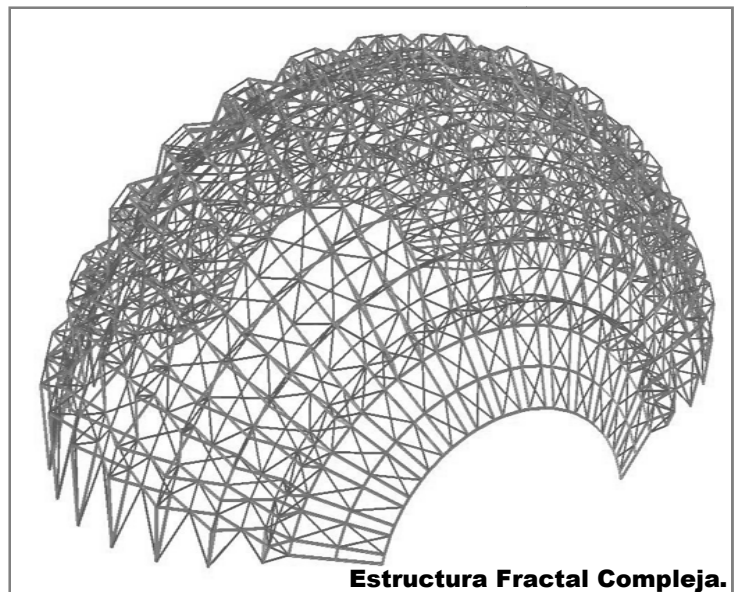
**ARRIBA:** Para esta parte de la cubierta se propuso un perfil forjado de acero A36, y miembros tubulares, en donde sus medidas propuestas pasan el factor de servicio.



**ARRIBA:** Para los miembros del arco y apoyo se propuso un perfil forjado que ayudará a soportar la unión y el peso de la cubierta, se propuso con acero A36.



Por último, la conclusión de esta simulación estática nos da la verificación del modelo por servicios de factor permisible que se propusieron anteriormente en los miembros pre-dimensionados, estas simulaciones nos ayudarán a entender cómo actuará la geometría con miembros reales y checar las uniones más desfavorables de la estructura, también maximiza la eficiencia de la estructura al máximo dando un mayor rendimiento a la propuesta de diseño biónico y a la forma geométrica fractal del modelo, se detallarán los piezas posteriormente con el desarrollo de la tecnología ya verificado por el cálculo estático dentro de la simulación permisible.



**Estructura Fractal Compleja.**

Para generar la **morfología-conceptual** de una estructura flexible orgánica versátil se han estado estudiando diferentes metodologías análogas, todas estas se enfocan a la observación de la figura biónica orgánica en la naturaleza, la cual nos proporciona diferentes geometrías que tienen un patrón fractal; éste utiliza la iteración para formar modelos adaptables al contexto, pero existen fractales de orden caótico. Estos tienden a variar constantemente sus segmentos y se desarrollan con irregularidad, anteriormente se explicó el desarrollo de esta geometría, pero para entender este concepto del siguiente modelo se experimentarán dos formas que se aplicaran para generar una estructura orgánica caótica.

Para entender más sobre este desarrollo se experimentó con figuras orgánicas complejas las cuales son de una geometría muy caóticas ya que un ligero movimiento y su constitución orgánica cambia constantemente por la acción accidentada de la naturaleza, un ejemplo es la flor de girasol, el entramado central de esta flor es muy bello y complejo generando una trama flexible que con cualquier movimiento de aire cambia su figura geométrica, pero su forma reticular ayuda a absorber las fuerzas que interactúan en ella y cambia su cuerpo para integrarse al contexto, observando este perfil estructural se generó un modelo mecánico conceptual de cómo absorbe la fuerza la flor en un modelo biónico, su constitución está formada por piezas de forma de "X" que conforman una cúpula geodésica circular, y este modelo a su vez se puede reproducir varias veces hasta formar un cuerpo complejo de diferentes formas generando una geometría más compleja y de varias iteraciones de una misma figura.



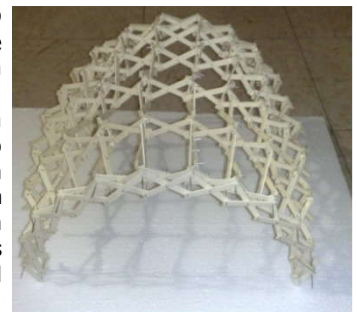
**ARRIBA:** Una de las figuras más caóticas en la naturaleza es el gusano, debido que su geometría cambia constantemente por su propio movimiento en el terreno, esto sucede gracias a que está compuesta por una serie de segmentos de anillo en todo su cuerpo, que ayuda a contraerse y expandirse.



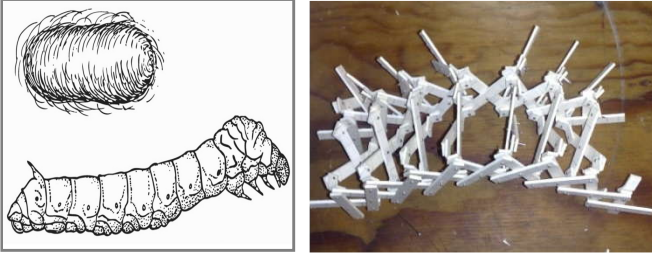
**ARRIBA:** La experimentación nos ayuda a entender la forma biónica en la naturaleza, aun mejor, a interpretar sus adaptaciones geométricas irregulares en el contexto, para aplicarlas a una propuesta de diseño arquitectónico.



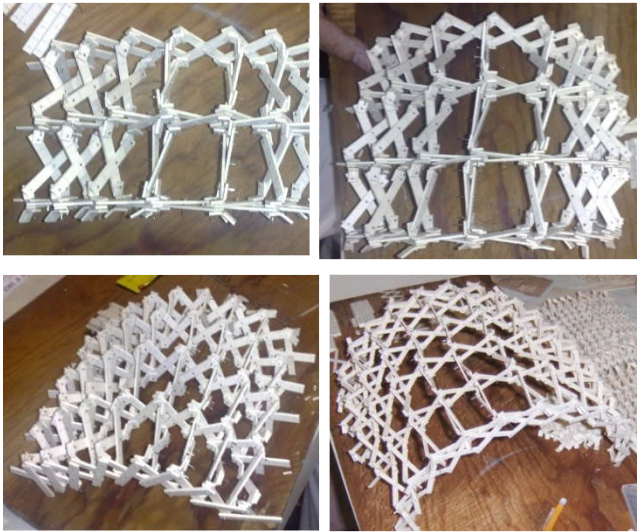
**DERECHA:** El desarrollo de una estructura flexible dependerá de la aplicación física-mecánica de la pieza y la forma geométrica del modelo generado, ya que esta fue en base a una figura circular segmentada varias veces, en ambos sentidos, como el concepto de gusano.



Siguiendo con este principio biónico, otro concepto que se analiza en esta etapa es la formal fractal del gusano, compuesta por varios anillos que le ayudan a moverse constantemente, esto hace cambiar de forma continuamente y adaptarse a diferentes tipos de terrenos, ya que sus arcos tienen la flexibilidad de replegarse y expandirse de acuerdo a la topografía de terreno en donde se está transportando; la generación del modelo experimental mecánico se desarrolló en base a este concepto, en donde su cuerpo está formado por marcos de alma abierta plegables, creados por piezas "X", que ayudan cambiar constantemente su cuerpo en ambos sentido y le da el concepto de adaptación en todo tipo de terreno; la experimentación nos da la pauta para generar nuevas metodologías de diseño, esto quiere decir que nos ayuda a entender nuevas formas de generar el diseño.



**ARRIBA Y ABAJO:** Las formas biónicas en la naturaleza generan geometrías flexibles, estas pueden llegar a ser tan grandes en dimensión gracias a su forma geométrica que ayuda a distribuir muy bien las fuerzas externas en los cuerpos.



**ARRIBA:** La producción de las piezas flexibles y estandarizadas ayuda a generar estructuras de grandes claros, esta propiedad viene por la composición de marcos segmentados plegables, estas estructuras pueden reproducirse varias veces.

**ABAJO:** La experimentación nos ayuda a entender la forma biónica en la naturaleza aún mejor, a interpretar sus adaptaciones geométricas irregulares en el contexto para aplicar a una propuesta de diseño arquitectónico.

Después de un breve análisis de la figura fractal caótica en la naturaleza, se construirá la siguiente **adecuación geométrica** en donde tomaremos la figura de un gusano de seda, su cuerpo está formado por varias iteraciones, su cuerpo conformado por varios anillos ayuda a soportar fuerzas externas de gran magnitud y su figura cilíndrica le ayuda a adaptarse a diferentes asentamientos, sus apoyos de forma triangular absorben y dirigen bien las fuerzas de empuje del cuerpo al suelo, también sirven como anclaje articulado y tener varios movimientos en su cuerpo para poder desplazarse.

El modelo geométrico de este proyecto estará producido por marcos en "X", éste nos ayudará a plegarse en ambos sentidos para adquirir diferentes formas en el espacio, la segmentación se basará en marco de forma circular que se repetirá varias veces en ambas direcciones hasta conformar un cuerpo cilíndrico fracturado con la posibilidad de generar varias posiciones, los arcos hechos de figuras de "X" nos ayudan a producir una serie de piezas estándar que facilitan la producción de este tipo de estructura caótica; la estructura del modelo ya desplegado funcionará como el gusano de seda en donde se transmitirá el esfuerzo en la estructura en la unión de los anillos hechos en base de armadura, que a su vez rematan con apoyos articulados para evitar momentos de mayor magnitud que perjudiquen la estabilidad del modelo.

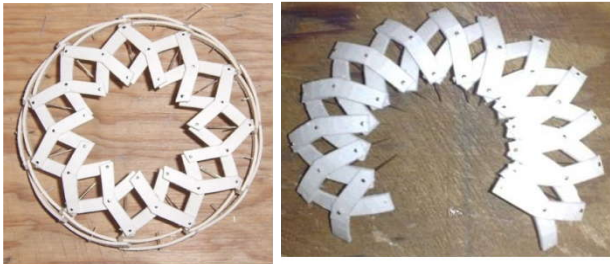




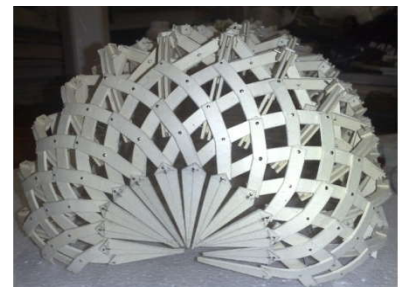
**ARRIBA Y ABAJO:** La experimentación nos ayuda a entender la forma biónica en la naturaleza, e interpretar sus adaptaciones geométricas irregulares en el contexto.

El entramado cilíndrico se conforma por tres grandes cuerpos en donde uno de ellos es más grande, éste se une por medio de una armadura plegable que ayuda en conjunto a amortiguar los desplazamientos de los tres, encontrando estabilidad estática en los elementos, su propiedad plegable le ayuda a que se contraiga el cuerpo y se transporte de manera fácil a diferentes tipos de terrenos.

Para terminar el modelo del gusano, se remata con una cúpula geodésica rebajada, en donde su forma está constituida de armaduras en "X" que se pliegan en dirección Y, sujetos por una viga guía que ayuda a desplazar el armazón para cerrar su cuerpo en los extremos, ésta también absorbe los desplazamientos de la armadura grande, su figura inicial también principia por una "X", que le da la propiedad de estandarizar el cuerpo y pueda transportarse fácilmente a otros sitios.

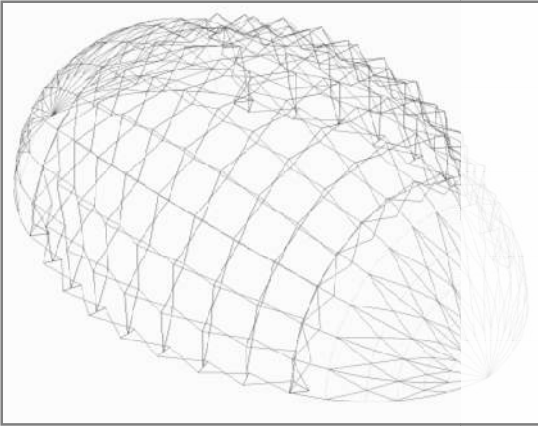


El modelo ya en conjunto se equilibra en ambos sentidos por su forma cilíndrica, se mantiene estable gracias a sus apoyos que terminan en punta articulado al igual que sus extremos geodésicos ayuda a contener los empujes naturales de la estructura; arquitectónicamente se realiza una geometría versátil para concebir varios espacios y estructuralmente eficiente para transmitir las fuerzas en su cuerpo hasta los apoyos sin causar irregularidades en la geometría, también nos queda claro que la geometría fractal caótica nos puede ayudar a producir formas biónicas muy adaptables y flexibles para integrarse a todo tipo de terrenos.

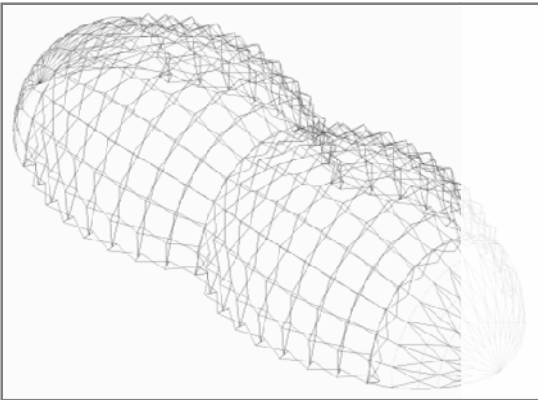


**ARRIBA, DERECHA E IZQUIERDA:** La forma biónica en la naturaleza, se puede aplicar a una propuesta de diseño arquitectónico.



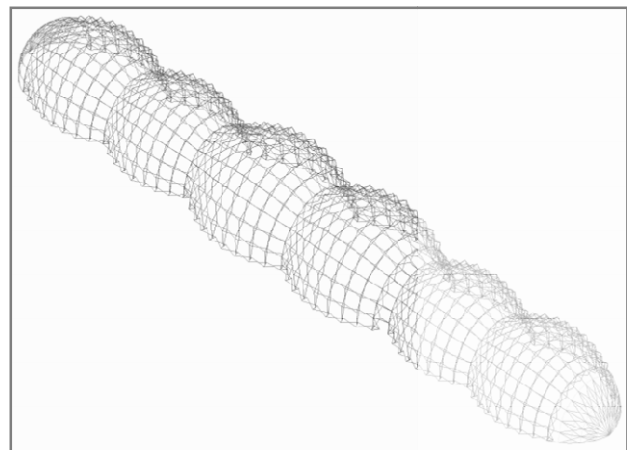
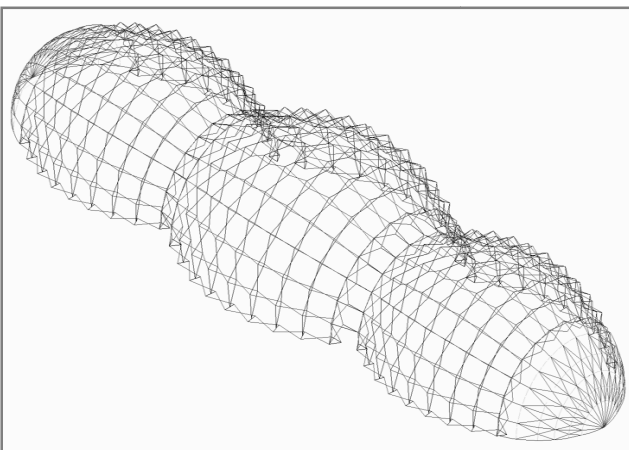


**ARRIBA Y ABAJO:** La generación de la adecuación geométrica nos deja un panorama de cómo será la escala del modelo, y cómo se puede combinar con diferentes segmentos y escalas de segmentos.



Después de concebir la conceptualización de los mecanismo se geometriza la forma del modelo para comprender su escala, posteriormente se pre-dimensionaran sus miembros, también nos brindará la posibilidades de conexiones de la estructura y las diferentes iteraciones que puede tener el modelo, ya que su principio es la integración de varios repeticiones de armaduras plegables en ambos sentidos; la composición del modelo geométrico está concebida por marcos principales de alma abierta que se unen por tramas plegables, éstas sostienen las armaduras secundarias simples de la nave, esta iteración proporciona una gama de reproducción hasta formar el gusano biónico, ésta se realiza por la reproducción de varios cuerpos en la estructura geométrica que se unen por anillos principales, que pueden tener una variedad de escalas y se pueden sujetar por medio de armaduras que interactúan en toda la geometría.

El desarrollo de la geometría del modelo nos da pautas de diseño para generar la producción de los miembros dado que su figura está realizada por medio de guías circulares, sus partes pueden ser estandarizadas para una producción en masa, esto también nos proporciona una visualización de la escala del modelo y cómo conjugar sus diferentes figuras geométricas; gracias a la geometría caótica nos ayudó a construir un modelo versátil, el cual puede ser grande y flexible para obtener diferentes adaptaciones en el contexto.



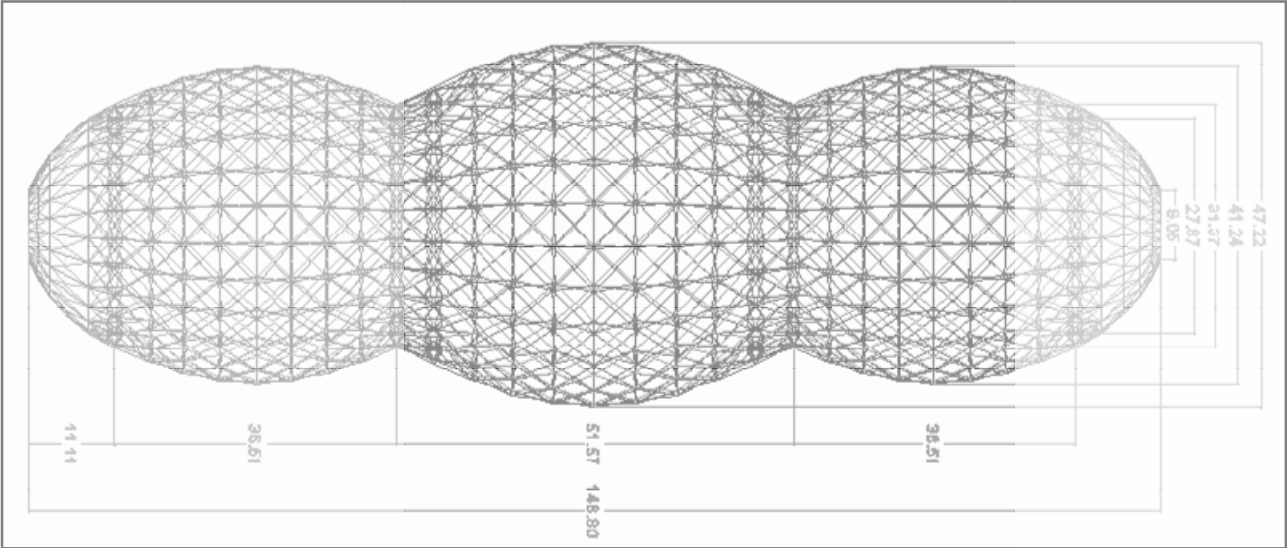
**ARRIBA:** La experimentación nos ayudó a formar la estructura biónica del gusano y a reinterpretar su forma biónica estructural a un modelo geométrico que nos brinde la capacidad de diseñar sus miembros estructurales.

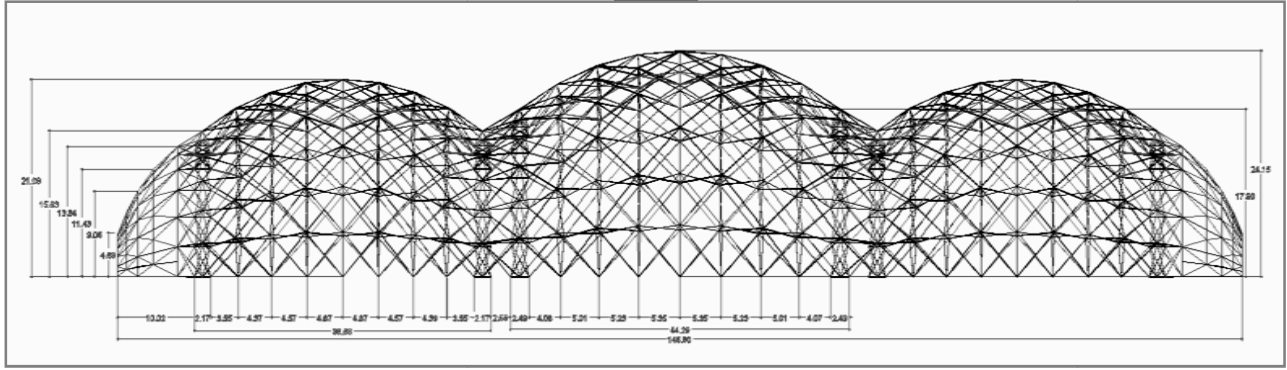
La cuarta simulación estática se realizará en una de las estructuras que culminan el éxito de la investigación, puesto que demuestra cómo una estructura biónica puede tener claros muy grandes inspirándonos en la naturaleza, gracias a esta extrapolación geométrica se genera una buena **tecnología estructural** debido a su forma orgánica, en este caso su representación está constituida por una serie de marcos plegados en forma de "X", pero su cubierta se comporta como el cuerpo de un gusano, el cual se desplaza en por sus anillos; de igual manera en la estructura desplaza las fuerzas en la geometría del modelo, en las dos direcciones en donde sus miembros forman una serie de arcos circulares que le dan una mayor estabilidad a la estructura.

En los extremos termina con articulaciones en punta para absorber las fuerzas, las uniones del arco de alma abierta ayudan a sostener las estructuras de su cúpula geodésica que está en los extremos, represente las puntas del gusano que también amortigua los desplazamientos de la estructura, ésta se compone de la misma forma plegada que la gran armadura, para esta simulación se especificó que el material sería un acero A36 con un módulo de elasticidad de 2530 kg/cm<sup>2</sup> y un factor de ruptura de giro de Poisson  $\nu$  de 0.3 con densidad de 7.83847 Mton/m.

Las piezas seleccionadas son de tubos OCXXE89 para miembros sujetadores de armaduras y de refuerzo en las arcos de alma abierta, en el refuerzo de la geodésica; se propone un tubo OCXE102, para sujetar las armaduras plegables de la geodésica, para la armadura que soporta la geodésica se propone un tubo de OCE114 que mantendrá estables a los miembros, éstas servirán como base para sostener las tijeretas del domo, para los miembros de tensoarmadura se propuso un tubo OCXXE114 que mantendrá rígido el cuerpo de la geometría fractal en su estado estático; en las piezas de armadura de la geodésica plegables se diseñó un miembro de perfil forjado en forma de H, y su perfil tiene 10.5cms por un ancho de 10cms, con placas compuestas de 1/2 de pulgada y un alma de 1.2cms de espesor; para los arcos plegables de la naves chicas se propone un perfil diseñado de 10.5cms por un ancho de 11.75cms, con placas compuestas de 1/2 de pulgada y un alma de 1.25cms de espesor, para la nave grande de la estructura se diseña un perfil forjado de 10.75cms por un ancho de 11.85cms con placas compuestas de 1/2 pulgada y un alma de 1.25cms

**ABAJO:** Para determinar bien los parámetros de diseño, se dimensionó y geometrizó perfectamente el modelo, para proponer las piezas que se adecuan al modelo biónico fractal.





**ARRIBA:** Perfil del modelo fractal caótico, se predimensiona el área y la altura de la geometría para su análisis estructural.

Se especificó en la simulación que los apoyos están sujetos en Y,Z y está libre en el sentido de las X que servirán como relajación articular para los miembros plegables, los apoyos del arco geodésico están sujetos en Y, X y están libres en Z, para relajar la armadura plegable en ese sentido, la segmentación de la geometría trabaja como armadura en dos direcciones, las cúpulas geodésicas trabajan también como armadura ya que en su forma desplegada contendrán algunos desplazamientos de las naves, al igual que las uniones que unen las diferentes cuerpos de la geometría biónica, contienen el desplazamiento; su rango de servicios será por el código LRFD y no pasarán de los valores de 1 a 1.05, para ser óptimo en seguridad y estabilidad estática en la geometría.

La simulación de los anteriores parámetros de diseño nos da como resultado la estabilidad de la estructura; como primera verificación veremos los desplazamientos dentro de la estructura, en donde sus límites de servicio no deben exceder lo permitido en la reglamentación (Véase apéndice "B").

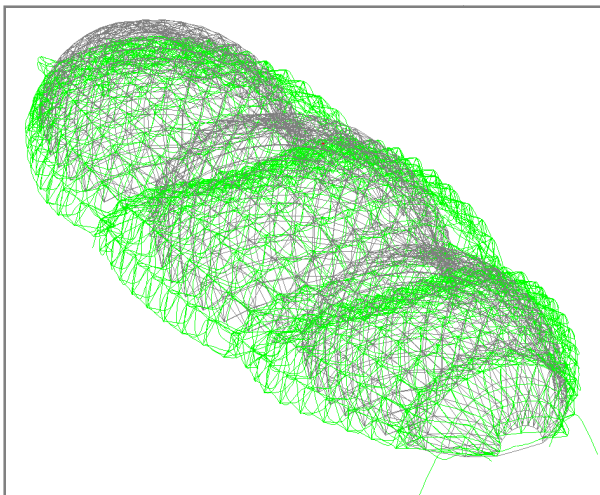
En este caso como los desplazamiento en vertical es  $L/240$  (en donde L es la longitud del miembro), y el horizontal es  $(Hx.012) \times 100+.5$ , (en donde H es la altura de nodo) con esto se obtendrán los parámetros de desplazamiento permisible en el modelo de acuerdo a los resultados de la tabla de desplazamientos máximos (Tabla FCA-1) se hará la siguiente operación:

El desplazamiento vertical tomara el máximo resultado en Y por lo tanto,  $L=.385$  ya que su localización se encuentra entre cada miembro del arco y tiene un longitud de 3.85 en su miembro:

$$3.85/240+.5 = .0516m \geq .0123m \text{ pasa por desplazamiento vertical.}$$

En el desplazamiento horizontal se tomará el máximo resultado en X, por lo tanto  $H=0$ , su desplazamiento se localiza en la parte baja del arco de unión:

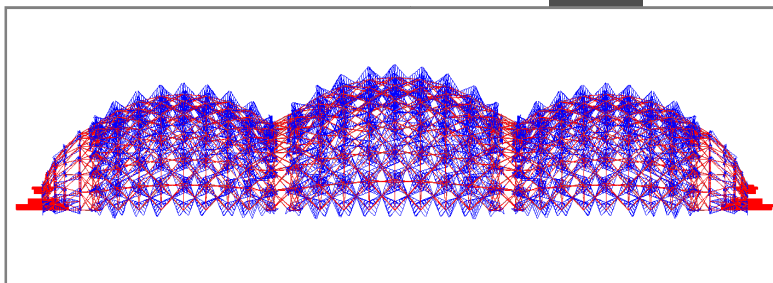
$$(0x.012) \times 100+.5 = .05m \geq .0124m \text{ pasa por desplazamiento horizontal.}$$



Desplazamientos	Nodo	I/C	Horizontal			Vertical			Resultado			
			X mm	Y mm	Z mm	mm	Notacion	rX rad	rY rad	rZ rad		
Max X	648	1	CM	10.010	-0.000	-0.000	10.010	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Min X	976	1	CM	-12.381	-0.000	-0.000	-12.381	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Y	839	1	CM	-3.014	0.614	-3.956	5.011	-0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
Min Y	658	1	CM	0.365	-12.260	-0.540	12.277	0.001	-0.000	0.001	0.001	0.001
Max Z	786	1	CM	-0.048	-5.002	6.474	8.181	0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
Min Z	430	1	CM	-0.017	-5.013	-6.585	8.276	-0.000	0.001	-0.001	-0.001	-0.001
Max rX	488	1	CM	-1.383	0.106	0.802	1.602	0.003	-0.001	0.001	0.002	0.002
Min rX	844	1	CM	-1.395	0.107	-0.802	1.613	-0.003	0.001	-0.001	-0.002	-0.002
Max rY	469	1	CM	-0.455	-3.331	-3.648	4.961	-0.001	0.003	-0.003	-0.002	-0.002
Min rY	437	1	CM	0.480	-3.201	-3.258	4.593	-0.001	-0.003	0.003	0.002	0.002
Max rZ	795	1	CM	1.632	-0.974	-0.932	2.117	0.002	0.003	-0.003	-0.002	-0.002
Min rZ	829	1	CM	-1.705	-1.005	-0.845	2.152	0.002	-0.003	-0.003	-0.002	-0.002
Max rSt	976	1	CM	-12.381	-0.000	-0.000	12.381	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

**ARRIBA E IZQUIERDA:** Se observa cómo se comportan los desplazamientos aunque en esta simulación pasa muy bien por factor de servicio.

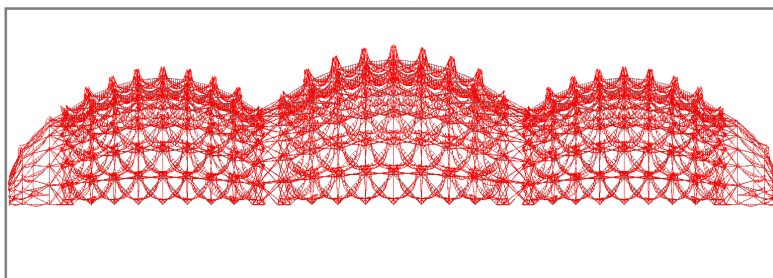




Cortante									
Beam	L/C	Node	Fx/Mton	Fy/Mton	Fz/Mton	Mx/kNm	My/kNm	Mz/kNm	
Max Fx	3818	1 CM	652	22,393	0.033	0.000	0.000	0.000	0.201
Min Fx	2670	1 CM	624	-13,726	0.008	-0.005	0.105	0.103	0.494
Max Fy	4129	1 CM	977	2,019	0.400	-0.374	-0.058	-1,842	-0.686
Min Fy	2965	1 CM	844	1,904	0.245	0.390	-0.219	0.073	0.093
Max Fz	900	1 CM	456	1,914	0.265	0.396	-0.117	-0.157	0.251
Min Fz	2977	1 CM	812	2,006	0.181	-0.437	0.377	0.168	-0.018
Max Mx	897	1 CM	439	1,743	-0.095	-0.107	0.407	-0.634	0.207
Min Mx	2974	1 CM	795	1,744	-0.096	0.110	-0.398	0.624	0.203
Max My	900	1 CM	421	1,930	0.263	0.396	-0.117	-3,870	-2,433
Min My	2965	1 CM	779	1,921	0.244	0.390	-0.219	-3,093	-2,397
Max Mz	5314	1 CM	251	2,336	-0.165	0.001	0.018	0.062	2,259
Min Mz	4129	1 CM	777	2,027	0.399	-0.374	-0.058	-3,744	-2,720

**ARRIBA E IZQUIERDA:**

En la simulación de fuerzas en X, Z, notamos en dónde ha cortantes en la estructura y dónde se tendrá mayor consideración para los miembros de unión de la estructura biónica.



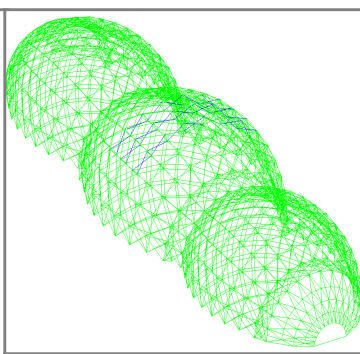
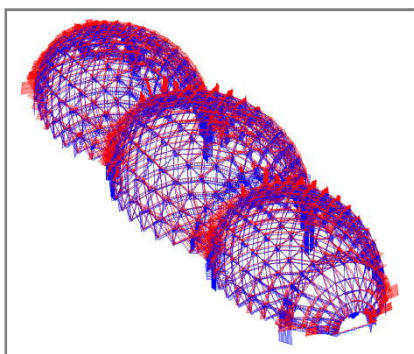
Momento									
Beam	L/C	Node	Fx/Mton	Fy/Mton	Fz/Mton	Mx/kNm	My/kNm	Mz/kNm	
Max Fx	3818	1 CM	652	22,393	0.033	0.000	0.000	0.000	0.201
Min Fx	2670	1 CM	624	-13,726	0.008	-0.005	0.105	0.103	0.494
Max Fy	4129	1 CM	977	2,019	0.400	-0.374	-0.058	-1,842	-0.686
Min Fy	2965	1 CM	844	1,904	0.245	0.390	-0.219	0.073	0.093
Max Fz	900	1 CM	456	1,914	0.265	0.396	-0.117	-0.157	0.251
Min Fz	2977	1 CM	812	2,006	0.181	-0.437	0.377	0.168	-0.018
Max Mx	897	1 CM	439	1,743	-0.095	-0.107	0.407	-0.634	0.207
Min Mx	2974	1 CM	795	1,744	-0.096	0.110	-0.398	0.624	0.203
Max My	900	1 CM	421	1,930	0.263	0.396	-0.117	-3,870	-2,433
Min My	2965	1 CM	779	1,921	0.244	0.390	-0.219	-3,093	-2,397
Max Mz	5314	1 CM	251	2,336	-0.165	0.001	0.018	0.062	2,259
Min Mz	4129	1 CM	777	2,027	0.399	-0.374	-0.058	-3,744	-2,720

**ARRIBA E IZQUIERDA:**

En las graficas de fuerza de momentos, notamos el esfuerzo en que trabajan los miembros estructurales de la estructura y cómo dirigen las fuerzas a los apoyos, notamos que en el arco de entrada hay mayor momento por su espacio.

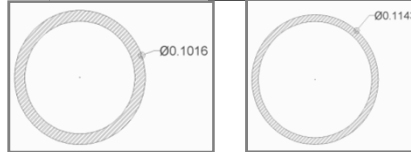
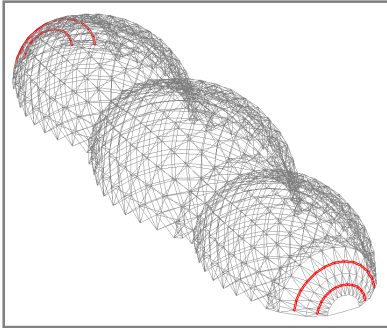
En la siguiente simulación verificaremos en dónde se concentran la mayor tensión, observaremos en qué sectores de la estructura existe una mayor incidencia de esfuerzos, estos parámetros nos ayudaran posteriormente a diseñar las uniones de los miembros estructurales del modelo, y así lograr que resistan las fuerzas que se ejercen en ella; en este tipo de estructuras trabaja como armadura de arcos de alma abierta en ambos sentidos y se pliega en ambos, tiene una mayor estabilidad en su claro en donde se encuentra la mayor tensión de esfuerzos en la unión de estas armaduras, ya que unen y evitan que se desplace la estructura a sus lados respectivos, sus extremos son amortiguados gracias a otra armadura plegable que se reduce en punta formando una cúpula geodésica, y mantiene atiesado el marco principal de la nave, también verificamos las tensiones máximas de esfuerzo en el modelo y se observa que la uniones del arco y su base es donde se encuentra la mayor fatiga, pero la misma forma de la geometría trasmite esas fuerzas a los apoyos sin sufrir mucha deformación, esto ayudará a implementar qué tipo de diseño podrá mitigar esas fuerzas de tensión.

Con estos parámetros nos ayudaremos a entender el comportamiento de la estructura y las fuerza que influyen en ella y anularemos esas vertientes máximas, aunque en este caso las fuerzas que interactúan en el modelo son mínimas y no existe mayor riesgo en la estructura, la verificación de los miembros se checa con el factor de servicio de LRFD, el cual tiene el rango de 1 a 1.05, en donde los miembros estructurales del modelo pasan ampliamente este rango, la nomenclatura de color verde es el rango de seguridad de los miembros que es de 1, los azules son los que están en rango 1.05 a 1.5 aunque si se pasan de 1.05 ya no entran como miembros seguros, los rojos son de los de rango de alto riesgo y se deben verificar y cambiar el miembro propuesto en la geometría.

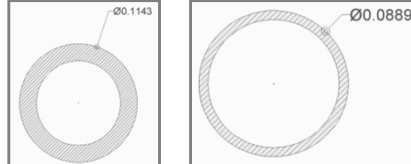
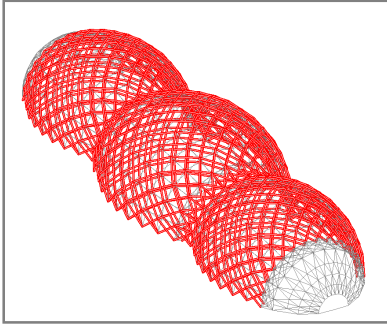
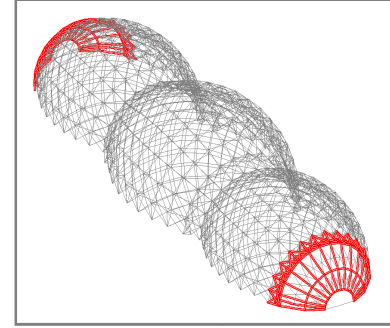


**ARRIBA Y DERECHA:** En esta grafica de simulación observamos que los miembros estructurales pasan por factor de servicios, aunque algunos miembros están en azul no exceden de 1.05 de tolerancia máxima de servicio.

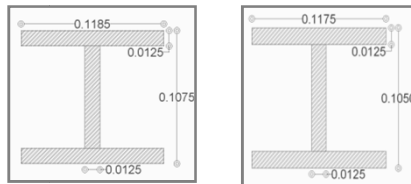
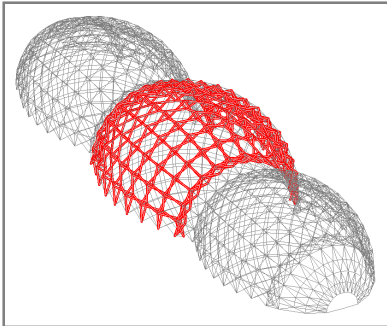
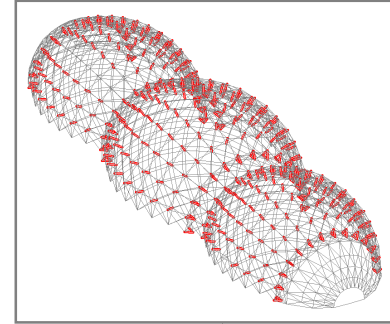
	From	To
1	Not Designed	
2	0	1
3	1	1.5
4	> 1.5	



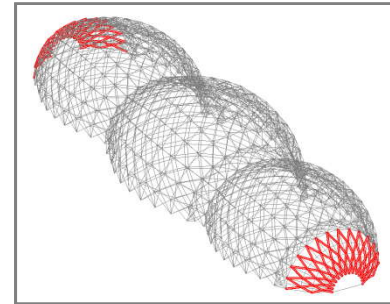
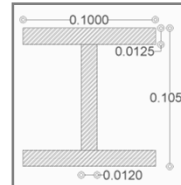
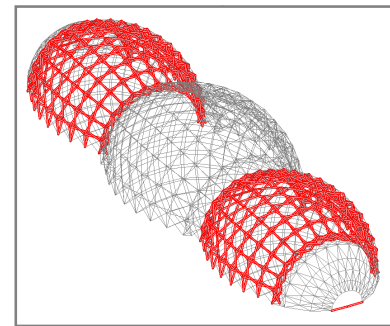
**ARRIBA:** Para la armadura que sostiene la estructura plegable de la geodésica, se propuso usar tubos que mantendrán rígida a la geometría y ayudarán a amortiguar los desplantes de los cuerpos grandes.



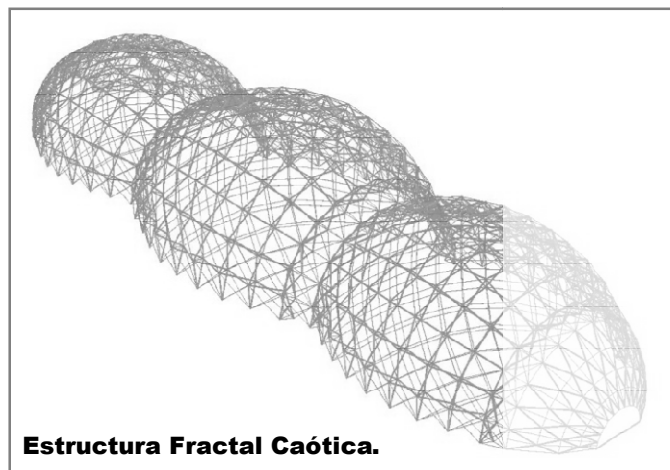
**ARRIBA:** Para la nave que sostiene la estructura plegable, se propuso tubos que mantendrán rígida a la geometría y ayudarán a amortiguar los desplantes de los cuerpos grandes.



**ARRIBA Y ABAJO:** Para los miembros de las naves más pequeñas y grandes se eligió un perfil forjado de acero A36, que pasa los factores de seguridad y con dimensiones estéticas para el diseño.



Por último, la conclusión de esta simulación estática nos da la verificación del modelo por servicios de factor permisible que se propusieron anteriormente, en los miembros pre-dimensionados, estas simulaciones nos ayudará a entender cómo actuará la geometría con miembros reales y checar las uniones más desfavorables de la estructura, también maximiza la eficiencia de la estructura al máximo, dando un mayor rendimiento a la propuesta de diseño biónico y a la forma geométrica fractal del modelo, se detallarán los piezas posteriormente con el desarrollo de la tecnología ya verificado por el cálculo estático dentro de la simulación permisible, para concluir esta etapa demostramos en estas sesiones de simulación cómo se comportan las estructuras naturalmente dentro de los espacios arquitectónicos, aun mejor: qué efectos tiene la forma geométrica en una escala real.



**Estructura Fractal Caótica.**

En el estudio de la tecnología estructural y **la industrialización del espacio**, se desarrolló la investigación de un principio estructural celular, ésta se maneja como un sistema de redes y ritmos espaciales, la cual da como consecuencia hacer una estructura flexible, adaptable a su contexto en sus formas y versátil a cambiar los espacios de estas estructuras, su principio de diseño se inclinó sobre la elaboración de un nodo, el cual podía unir dos elementos creando un sistema estructural muy flexible y resistente.

Toda esta perspectiva conceptual es justificada en las tendencias arquitectónicas, las cuales dejan principios básicos que pueden ayudar a reforzar mi tema, en la estructura del tiempo se encontraron cuatro postulados arquitectónicos, los cuales dieron origen a mi investigación, estas tendencias son el grupo Archigram, Metabolismo Japonés, Arquitectura High Tech, Arquitectura de Bioforma y Biomecánica, su origen es la creación de estructuras montables, flexibles y adaptables, creando un icono de diseño para la investigación.

Sin embargo, la experimentación fue un factor muy importante para una primera aproximación conceptual de la investigación, porque con sus aportaciones teóricas-prácticas se toman como un principio formal de la metodología análoga, generando posibles hipótesis conceptuales y proyectuales, esto se compara con la problemática que se quiere abordar, esto es: los espacios habitables; esta comparación sirvió para detectar posibles puntos débiles de la investigación.

Posteriormente las ideas conceptuales, ayudarán a crear modelos esquemáticos de estructuras biónicas, éstas sólo se implementarán para desarrollo de un principio de diseño estructural que pueda crear un sistema de redes espaciales, esto para que tenga un parámetro el producto experimental de la tesis, lo que podrá facilitar la delimitación del tema, dichos modelos generan un espacio rítmico versátil, flexible y adaptable.

En cuanto a la aplicación de los conceptos con el proyecto, se ejecutaron varias aproximaciones sucesivas por medio de la geometría arquitectónica, en consecuencia se encontraron hipótesis proyectuales, las cuales se acoplaba muy fácilmente al proyecto, esto ayudó a determinar que la geometría ortogonal es la más adecuada para adaptarse a su contexto.

Todo esto deja una propuesta geométrica formal, la cual se analiza con la estructura de los referentes, estos sirven para saber el porqué del origen de mi propuesta, extrapolando sus principios utópicos, técnicos, y morfológicos, esto creará una propuesta más viable donde su peso relativo es la composición rítmica espacial de la estructura, en cuanto a su emplazamiento estará sometido a una estructura que mutará como una célula hasta adaptarse a su entorno, esto implica conceptos bioclimáticos para obtener un mejor confort dentro de los espacios.

Sin embargo, esta adaptación tendrá límite y parámetros que deberán aplicar en el proyecto arquitectónico, esto evita las desviaciones a otros campos que no nos interesan, esta línea conductual se concentrará en la elaboración de un sistema biofórmico con implementaciones de un material que puedan soportar las condiciones climáticas extremas, en este caso se tomarán estos conceptos para generar la piel de la estructura flexible, y mantener esa versatilidad en el entorno y espacio.

En cuanto a las aplicaciones bioclimáticas y técnicas del proyecto, éstas se vieron reflejadas en su piel, en la estructura con la mutación biónica de la misma, ésta se adaptó a diferentes pieles en la fachada, para protegerse o aprovechar los elementos naturales del sitio; en la cimentación se eligió la versatilidad de implementarse una cimentación hidráulica que dio como resultado una mejor adaptación al contexto que si fuese fijada solamente, esto únicamente se cumple en relieves de suelos bien compactados ya que si fuese en otro terreno no tendría la misma adaptación.

Por último este tema de investigación puede tener otras utilidades, no es precisamente para uso único sino de muchas funciones pues la versatilidad de la estructura propicia que los espacios se puedan manipular muy fácilmente, esto se podría aplicar a edificios de oficinas o conjuntos de cubiertas, estructuras de un centro comercial, hasta crear una mega-estructura que pueda albergar varios espacios vivenciales entre sus áreas, por lo tanto el tema se cumple con la meta especificada al principio, que es generar una estructura adaptable a diferentes tipos de uso.

Sin embargo, se logró crear el módulo geométrico por medio de un sistema estructural no convencional, generar una adaptación bioclimática biofórmica del proyecto con su contexto, dar versatilidad de espacios dentro de la propuesta y aportar una nueva forma de ver el espacio, de diferente manera, que no es siempre rígida sino cambiante y caduco, que en la actualidad, el usuario moderno está sometido a constantes cambios y al crecimientos que tienen en dados momentos de su vida, aunque no todo está realizado en esta investigación hay puntos que se pueden retomar de mi tema para realizar un estudio más profundo, como es el caso de la adaptación del contexto, éste se puede dar de varias maneras no necesariamente sólo una, pero para cuestiones prácticas y de tiempo sólo se realizó una de las varias posibles transformaciones, también el tema de sistema constructivo se profundizó en principio de diseño y cómo será su elaboración de montaje en un terreno aislado, pero puede retomarse para crear diferentes posibilidades de montaje.

También este tema tiene varias líneas futuras de investigación, éstas se pueden retomar más adelante, una de ellas es la construcción industrializada del proyecto, patentados ingenieriles de la estructura, aplicando los sistemas de estructuras nodales y plegables, con sus fachadas cambiantes y adaptables al usuario, otra es la verificación estructural del sistema en cuanto a un cálculo estructural que indique qué tanta resistencia tendrá la estructura frente a una catástrofe natural, otra línea futura es el tema de la generación de una mega-estructura montable y desmontable que pueda crecer y controlar un hábitat hostil en equilibrio, estas líneas pueden retomarse para un mejor análisis profundo del tema.

### **-La Arquitectura**

El estudio de la arquitectura nos dio la herramienta necesaria para encontrar los principios conceptuales del producto de la investigación, ya sea por su historia o referentes visuales, encontramos una justificación muy clara de que el espacio en los edificios arquitectónicos tiene que ser elaborado de una manera diferente a lo que se ha estado haciendo tradicionalmente, ya que el usuario moderno tiene necesidades de constantes cambios en su hábitat, ya sea por función o por el entorno en donde vive, pero la implementación de sistemas flexibles no convencionales le da una opción de diseño más innovador y de vanguardia, adecuándose a una función o funciones del usuario, también provoca un nuevo orden de diseño urbano dentro de la ciudad pues la flexibilidad del sistema alternativo es cambiar el espacio de acuerdo a las necesidades del usuario, pero con pautas rítmicas de diseño que no agredan la imagen del entorno natural del lugar, tendiendo un nuevo sistema estructural hecho en redes y ritmos espaciales que crecen de forma más integral con el contexto.

### **- La Tecnología**

Esta etapa tuvo prioridad desde el principio del tema, pues le tocó jugar un papel muy importante en la elaboración y creación del sistema estructural flexible, esto se logró analizar a través del estudio histórico de los sistemas industriales en la arquitectura y cómo dieron paso a las piezas estandarizadas; este principio condujo a que se elaborara un sistema estructural hecho a base de nodos que ayudaran a montar de manera más rápida la estructura de un edificio.

La forma del modelo sistemático se adoptó por los principios de crecimiento celular ya que esta forma se puede adaptar muy fácilmente en su entorno; estos principios tuvieron desarrollos experimentales que ayudaron a crear una manera más acorde de aplicar una estructura flexible en el contexto, integrándose a su medio ambiente, generando vitalidad y confort dentro de esta estructura.

En cuanto a su tecnología bioclimática, se usaron dispositivos bioclimáticos industriales que ayudaron a proteger y a mantener un mejor confort micro-climático dentro del modulo, esta tecnología se conecta directamente con los fenómenos que ocurren en el entorno del modelo, esta aplicación de dispositivos hace que se integre más al contexto ambiental de la naturaleza, mimetizándose con el panorama sin agredir la imagen de la ciudad.

Esta consecuencia dio paso a la creación del modelo alternativo de estructura, puesto que dentro de sus espacios el usuario tiende a manipular constantemente las áreas gracias a la sobre-estructura móvil del modelo arquitectónico, dándole un uso constante de transformaciones y mutaciones dentro y fuera de su estructura, ayudando al crecimiento de la vivienda de manera pausada, rítmica, bajo una red estructural espacial, que ayuda a generar una nueva imagen en la ciudad y una alternativa de construcción más flexible y fácil de construir en ambientes cambiantes y hostiles.

Por último se cumplió la principal meta, que es crear el diseño de una estructura sistémica y adaptable a contextos variables, ya que este es uno de los tantos usos que puede llegar a tomar, esto ayuda a crear una conciencia de que el uso de sistemas alternativos tiene más aplicaciones que un sistema tradicional, lo cual genera hábitats de vida dentro de la ciudad con órdenes de diseño más acordes a la imagen urbana, cumpliendo con el objetivo de la investigación que es proporcionar espacios versátiles con sistemas estructurales alternativos.

# Glosario

**Articulación:** grupo de nodos que tiene cierta movilidad en las uniones y permiten el desplazamiento de los cuerpos, pues esto controla la estabilidad de geometrías estructurales.

**Bioclimatismo:** es el estudio que aprovecha todos los recursos naturales de su alrededor sin dañar el medio ambiente.

**Bioforma:** estudia las formas orgánicas de la naturaleza, tratando de adquirir un principio estético de los modelos naturales que existen en el mundo.

**Biomecánica:** es el estudio de los cuerpos en movimiento, con esto adaptan las formas orgánicas a las formas mecánicas para darle un mayor rendimiento.

**Biónica:** es el estudio que implementa modelos de organismos a las piezas tecnológicas, éstas ayudan a formar cuerpos flexibles que tienen libertad de movimiento

**Carácter arquitectónico:** que tiene presencia sobre el contexto urbano, adquiriendo identidad propia dentro de un estilo.

**Desfase:** que tiene una movilidad lateral, o que un objeto está desplazado sobre otro objeto.

**Ensamble:** término que se utiliza cuando una pieza de material tiene la facilidad de unirse con un sistema de estructuras.

**Estabilidad:** es cuando un cuerpo geométrico está en equilibrio en un lugar determinado.

**Estandarización:** es cuando una pieza u objeto se modula e industrializa para ser fabricado en serie.

**Estructuración:** cuando un volumen está colocado de manera adecuada y estable, esto ayuda a mantener a otro cuerpo en pie.

**Flexibilidad:** cuando un objeto tiene la facilidad de moverse o de quitar una de sus piezas sin alterar su resistencia o equilibrio, también se puede definir como una habilidad que tiene un espacio para poder transformarse.

**Montabilidad:** cuando un cuerpo puede unirse con facilidad, sus piezas son industrializadas y su adaptación constructiva es rápida.

**Modulación:** cuando un modelo o edificio está creado de manera simétrica y ortogonal, esto ayuda a que sus piezas sean fáciles de unir.

**Nodo:** es la unión donde se concentran varios vértices, sus partes son ensamblables y su sistema es de un armado muy fácil.

**Jerarquía:** es la imagen que refleja un edificio en el entorno urbano, esto se ve en la tendencia que tiene la edificación.

**Versatilidad:** la facilidad de poder mover y transformar un cuerpo, esto también ayuda a adaptar el cuerpo arquitectónico a cualquier necesidad.

# Bibliografía

## Historia de la Arquitectura

- Bassegoda Nonell, Juan (1999); La Cátedra de Antonio Gaudí, "Estudio Analfico de su Obra", 1  Ed, Editorial UPC, Barcelona. **[1]**
- Benévolo, Leonardo (1998); "Historia de la Arquitectura Moderna"; 8  Ed.; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona. **[2]**
- Bruno, Zevi, (1980): Historia de la Arquitectura Moderna, 1  , Ed, Editorial, Poseidón. **[3]**
- Candela, Félix (1985); En defensa del Formalismo y otros Escritos, 1  Ed, Ediciones Xarait, México. **[4]**
- Castro Villalba, Antonio (1995); Historia de la Construcción Arquitectónica, 3  Ed, Ediciones UPC, Barcelona. **[5]**
- Del Cueto, Juan Ignacio, (2008): Aquella Primavera Creadora..., Cascarones de Concreto Armado en México, 1 , ed, Editorial, IASS. **[6]**
- De Anda Alanis, Enrique X, (2008): Candela, 1 , Ed, Editorial, TASCHEN. **[7]**
- Faber, Colin (1970); Las Estructuras de Candela, 1  Ed, Ediciones CECSA, México. **[8]**
- Glancey, Jonathan (2001); "Historia de la Arquitectura"; 1  Ed.; Edit. Grupo Planeta Dorling Kindersley; Madrid. **[9]**
- Güell, Xavier (1986); Antonio Gaudí, "Estudio Paperback", 1  Ed, Editorial Gustavo Gili, Barcelona. **[10]**
- Gutiérrez de Velasco, Francisco (2002):100 Obras de Veracruz- Boca del Rio "Imágenes del siglo de historia construida 1902-2002" (1a ed.), Editorial cmic delegación de Veracruz. **[11]**
- McQuaid, Matilda, (2006): SHIGERU BAN, 1 , Ed, Editorial Phaidon. **[12]**
- Noelle, Louise (1993): Arquitectos Contemporáneos de México (2a ed.), Editorial Trillas, México. **[13]**
- Puente, Moisés (2000): 100 años (Pabellones de Exposición); 1  Ed. Gustavo Gili, Barcelona. **[14]**
- Risebero, Bill (1982); Historia Dibujada de la Arquitectura, 1  Ed. Ediciones Blume, Madrid. **[15]**
- Roth, Leland M. (1999); Entender la Arquitectura. "Sus Elementos, Historia y Significado", 3  Ed, Editorial Gustavo Gili, Barcelona. **[16]**
- Salto, Yutsaka (2005): Félix Candela : 1a, Ed, Editorial Matsumoto. **[17]**
- Segui, Miguel, (1972): Candela - Perez Piñero, Arquitecturas Ausentes del Siglo XX, 1 , Ed, Editorial NAOS. **[18]**
- Sol -Morales, Ignasi (1983); Gaudí, 1  Ed, Ediciones Polígrafa, S. A, Barcelona. **[19]**

## Diseño y Tecnología

- Banco, Alejandro (2007): Arquitectura Textil, Transformación del Espacio, 1 , Ed, Editorial Poseidón. **[20]**
- Becker, José, P. Kuschner, Estela, (1995); Tipologías Estructurales: La Desmaterializacion de las Estructuras de Grandes Luces, 2  Ed, Editorial Universidad Pontificia Chile, Medellín. **[21]**
- Berger, Horst (1996);"Light Structures, Structures of light, the art of tensile Architecture." 1  Edition Basel; Suiza. **[22]**
- Broto, Carles, (2006): Cubiertas, Innovación y Diseño, 1 , Ed, Editorial Links. **[23]**
- Carmona y Pardo, Mario de Jesús (2007), "Est tica en Arquitectura", 2  Ed.; Editorial Trillas; México. **[24]**

- Charleson, Andrew, (2006): La Estructura como Arquitectura, Formas, Detalles y Simbolismo, 1ª, Ed, Editorial Reverte-Espanhol. **[25]**
- Chilton, John (2000); "Space Grid Structures", 1º Ed, Editorial Architectural Press, Oxford, Boston, USA. **[26]**
- Chudley, Roy (2001): Manual de Construcción de Edificios (3a ed.), Gustavo Gili, S.A. DE C.V, Barcelona. **[27]**
- Conrad, Roland, (1979), "Frei Otto: Estructuras, estudios y trabajos sobre la construcción ligera", 1º Ed, Editorial Gustavo Gili, Barcelona. **[28]**
- Coppola Pignatelli, Paola (1997); "Análisis y Diseños de los Espacios que Habitamos". 1º Editorial Árbol, México. **[30]**
- Diez Gloria (2005); Diseño Estructural en la Arquitectura "Introducción", 1º Ed, Editorial Nobuko. **[31]**
- Engel Heino (2006); "Sistema de Estructuras", 4º Ed.; Editorial Gustavo Gili, S.A.; México. **[32]**
- Escrig, Félix, (1997): Star: Structural Architecture, 1ª, Ed, Editorial, Universidad de Sevilla. **[33]**
- Flores, Cecilia (2001); "Ergonomía para el Diseño"; 1º Ed.; Editorial Designio D.R. Librería, SA de CV. **[34]**
- Fonseca, Xavier (2002); "Las Medidas de una Casa" (Antropometría de la Vivienda); 1º Ed.; Editorial Concepto, SA. **[35]**
- Gómez, Jáurequi, Valentín (2007): Tensegridad, Estructuras Tensegricas en Ciencias y Artes, 1ª, Ed, Editorial Universidad Catalunya. **[36]**
- Gordon, J.E. (2006): Estructuras, Por qué las Cosas no se caen, 1a, Ed, Editorial Poseidón. **[37]**
- Heller, Salvadori, (2003): Estructuras para Arquitectos, 1a, Ed, Editorial Nobuko. **[38]**
- Jaramillo Jiménez, José Oscar, (2004): Análisis Clásicos de las Estructuras, 1ª, Ed, Editorial Universidad Nacional de Colombia. **[39]**
- J. Escofet, M. S. Millán, M. Ralló, (2001): "Modeling of woven fabric structures based on Fourier image analysis", 1a, Ed, Editorial Applied Optics. **[40]**
- Kronenburg Robert (2000), "Portable Architecture", 1º Ed, Editorial Oxford, Architectural. **[41]**
- Kronenburg, Robert, (2007): FLEXIBLE; Arquitectura que responde al Cambio, 1ª, Ed, Editorial Laurenc King. **[42]**
- Leonel Torres, Ricardo Franco, (2006); Estructuras Adaptables, 1º Ed, Editorial Universidad Nacional de Colombia. **[43]**
- Lyllan, Sutherland, (2004): Maestros de la Estructura, 1ª, Ed, Editorial Blume. **[44]**
- Medina, Franco, (2007): Estructuras Adaptables, 1ª, Ed, Editorial Universidad Nacional de Colombia. **[45]**
- Moore, Fuller (2000); "Compresión de las Estructuras en la Arquitectura", 1º Ed.; Editorial interamericana Mcgraw-Hill. **[46]**
- Moussavi, Farshid (2007): The Function of Ornament, 1a, Ed, Editorial Nauso
- Motro, Rene, (2003): Tensegrity, 1a, Ed, Editorial HSD. **[47]**
- M. Villasuso, Bernardo (1994); "Diseño y Cálculo de las Estructuras" (Principios Básicos Diseño Estructural), 1º Ed.; Editorial El Ateneo, S.A; Argentina. **[48]**
- Nonnas, Robert, (2003); El Proyectista de Estructuras Metálicas, 1a, Ed, Editorial Thomson-Paraninfo. **[49]**
- Otto, Frei (1962) "Cubiertas Colgantes", Versión española Folguera Francisco, 1º Ed.; Editorial Labor S.A; Barcelona. **[50]**
- Piano, Renzo (1995): Building Work Shop, 1º Ed.; Phaidon Press Limited. **[51]**
- Piano, Renzo (1987-89): Renzo Piano, Obras y Proyecto (1997-1998); 1º Ed.; Gustavo Gili, Barcelona. **[52]**
- Pople, Nicolás (2002); "Steel Construction Manual", 1º Ed.; Editorial Gustavo Gili, SA.; Barcelona. **[53]**



Quiroga Eduardo Daniel, Salomón Alberto (2000); Gaudí: Mecánica y Forma de la Naturaleza, 1ª Ed, Editorial Universidad de Mendoza – Argentina. **[54]**

Salvadori M. y Heller R. (1998); Estructuras para Arquitectos, 1ª Ed, Editorial Kliczkowski Publisher, Argentina. **[55]**

Sánchez, Sánchez, Francisco, (1992): Estructuras Ligeras para Grandes Luces, 1ª, Ed, Editorial Fundacion Emilio Pérez Piñero. **[56]**

Schock, Hasn-joanchim, (1997), “Soft Shells, Desing and technology of Tensil Architecture”, 1ª Ed, Editorial Birkhäuser Verlag, Berlín, Alemania. **[57]**

Segui W. (2000); Diseño de Estructuras de Acero con LRFD. 2ª Ed, Editorial Thomson Editores, S.A de C.V., México. **[58]**

Sierra Rodríguez, Fernando, Vanegas Luis (2006); Estructuras Ligeras, 2ª Ed, Editorial Universidad Pontífica Boliviana, Medellín. **[59]**

Sobek Habermann, Schultz (2000); “Steel Construction Manual”, 1ª Ed.; Edition Detail München; USA. **[60]**

Steffen, Huth (1977); “Construir con Células Tridimensionales” (Análisis de un Método Constructivo); 1ª Ed.; Gustavo Gili, Barcelona. **[61]**

Stephen M. Levin (2006); Biotensegrity and Dynamic Anatomy, 1ª Ed, Editorial McGraw-Hill, Usa. **[62]**

Vogel Steven (2000); Anclas y Palancas: Mecánica Natural y Mecánica Humana, 1ª Ed, Editorial Tusquets Editores, S.A. Barcelona. **[63]**

### Arquitectura y Modernidad

Middletopn, Robin, (1979): Arquitectura Moderna, 1ª, Ed, Editorial Aguiar. **[64]**

Montaner, Josep M. (1997); “La Modernidad Superada”; Edit. Gustavo Gili, S.A. de C.V.; México. **[65]**

Radevsky, Anton, (2007): Modern Architecture Pop-Up, 1ª, Ed, Edirorial Poisedon. **[66]**

### Teoría de la Forma

Aguilera, Néstor (2003), “Un Paseo por el Jardín de los Fractales”, 1ª Ed.; Editorial Olimpia, España. **[67]**

Bonsiepe, G. (1975): Teoría y práctica del diseño industrial, 1ª Ed, Editorial Gustavo Gili, Barcelona. **[68]**

Borrás Veses Eliseo (2002), “et al. Ritmos, matemáticas e imágenes”, 1ª Ed.; Editorial Nivela.; España. **[69]**

Campos Newman, Arq. Luis E. (1989); “Trazos de Redes y Mallas de Estructuras Geodésicas” (A partir de los Poliedros Regulares e Irregulares), 1ª Ed.; Editorial Universidad Iberoamericana A.C.; México.- **[70]**

Campos Newman, Arq. Luis E. (1995); “Geodéos “[Trazo Básico], 1ª Ed; Editorial Universidad Iberoamericana A.C.; México. **[71]**

Doczi, György (2002); “El Poder de los Límites” 7ª Ed.; Editorial Gustavo Gili, S.A de C.V.: México. **[72]**

Elam, Kimberly (2003); “Geometría del Diseño” (Estudio en proporción y composición), 1ª Ed.; Editorial Trillas, México. **[73]**

Giralt Mirache (2002); Gaudí, La Búsqueda de la Forma: Espacio, Geometría, Estructura y Construcción, 1ª Ed, Editorial Gustavo Gili, Barcelona. **[74]**

Hwang, Irene. Sakamoto Tomoko. Ferré, Albert (2006); “Natures vs Verb” 1ª Ed.; Editorial Actar-D, Barcelona. **[75]**

Hwang, Irene. Sakamoto Tomoko. Ferré, Albert (2006); “Matters & Verb” 1ª Ed.; Editorial Actar-D, Barcelona. **[76]**

Leoz, Rafael (1982); “Redes y Ritmos Espaciales”; 3ª Ed.; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona. **[77]**

Litinetski, I. (1975): *Iniciación a la Biónica*, Bonsiepe, G. (1975): *Teoría y práctica del diseño industrial*, 1º Ed, Barral Editores, Barcelona. [8]

Mandelbrot, Benoit (2003); "La Geometría Fractal en la Naturaleza", 2º Ed.; Editorial Tusquets, España. [78]

Mateu poch, Luis (2007); "Arquitectura y Armonía", 1ª Ed.; editorial Trillas; México. [79]

Munari, Bruno (1999); "El Cuadrado" (La Estructura del Cuadrado); 1º Ed.; Editorial Gustavo Gili, S.A de C.V.: México. [80]

Munari, Bruno (1999); "El Triángulo" (El Triángulo Equilátero); 1ª Ed.; Editorial Gustavo Gili S.A de C.V.; México. [81]

Montú, Aldo (1999); "El Pentágono" (La Forma de la Estructura Pentagonal), 1º Ed.; Editorial Gustavo Gili, S.A de C.V. ; México. [82]

Moisset, Inés (2003); "Fractales y Formas Arquitectónicas", 1º Ed. Editorial CONICET.; Argentina. [83]

Raeder, Pablo (1992); "La geometría de la forma", 1º Ed.; Editorial UNAM, México. [84]

Stevens, Peter (1987); *Patrones y Pautas en la Naturaleza*, 1º Ed, Editorial Salvat Editores, S.A. Barcelona. [85]

Thompson, D'arcy (1980); "Sobre el Crecimiento y la Forma"; Edit. Hermann Blume. [86]

Yahya Harun (2006); "El Diseño en la Naturaleza", 1º Ed.; Edición Alli Gua Sein, Impresa por Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona. [87]

Zubiri, Xavier (1996); *Espacio, Tiempo, Materia*, 1º Ed, Editorial Alianza Fundación Xavier Zubiri, Madrid. [88]

### Teoría de la Arquitectura

Martínez Cendra, Francisco (2003); "Hacia una Arquitectura Fractal", 1º Ed.; Editorial Universidad de San Martín de Porres, Argentina. [89]

Montaner, Josep María (2002); "Las Formas del Siglo XX"; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona. [90]

Montaner, Josep María (2002); "Arquitectura y Crítica"; 3º Ed.; Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona. [91]

Montaner, Josep María (1993); "Después del movimiento moderno. Arquitectura de la segunda mitad del siglo xx", Edit. Gustavo Gili, SA.: Barcelona (Quinta edición, 2002). [92]

Galiano, Luis Fernando, (2008); *Pabellón de España*, 1ª, Ed, Editorial Arquitectura Virtual.

### Teoría de la Ciudad

Banham, Reyner; (2001); "Mega estructuras: futuro urbano del pasado reciente"; 2ª Edición; Edit. Gustavo Gili, S.A de C.V: Barcelona. [93]

### Arquitectura Sostenible

Behling, Sphia y Stefan, (2002) "Sol power. La evolución de la arquitectura Sostenible", Edit. Gustavo Gili, S.A. de C.V.: Barcelona. [94]

Ferreiro, Héctor. A. Fuentes Víctor (1991); "Manual de Arquitectura Solar" ,1º Ed.; Editorial trillas, México. [95]

Hinz, Elke, (1986); *Proyecto Clima y Arquitectura*, Vol.1, editorial: Gustavo Gili, S.A De C.V. México. [96]

- Hinz, Elke, [1986]: Proyecto Clima y Arquitectura, Vol.2, editorial: Gustavo Gili, S.A De C.V. México. **[97]**
- Hinz, Elke, [1986]: Proyecto Clima y Arquitectura, Vol.3, editorial: Gustavo Gili, S.A De C.V. México. **[98]**
- Mercuri Osvaldo, [2005]: Arquitectura Ecológica, Colección Ecológica, 1ª, Ed, Editorial Pacto Ecologico Bonaerense. **[99]**
- Ogley, Víctor [1998]; "Arquitectura y Clima" (Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas), Editorial Gustavo Gili, S.A.; Barcelona. **[100]**
- Pople, Nicolás [2002]: "Casas experimentales", Ediciones G. Gili S.A de C.V., México, 2001. **[101]**
- Senosiain Aguilar, Javier [2004]; "Bio Arquitectura" (En busca de un Espacio); 2ª Ed.; Editorial Limusa, S.A de C.V; Grupo Noriega Editores; México. **[102]**
- Ramón Fernando, [1980]: Ropa, Sudor y Arquitecturas, editorial: H. BLUME, EDICIONES. **[103]**

### Sitios de Búsqueda

- Aguayo González, Ricardo (2003): Artículo: Bioclimático –Automatización= Edificios Inteligentes, Departamento de Arquitectura, Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México.
- Discovery Channel (2003): Mega Construcciones (Construcción de un Puente Colgante), Sábado, 9:00pm.(Construcción de las Torres Petronas)Martes,4:00pm.
- Discovery Channel (2007): Maravillas de China (Edificios Contemporáneos para Los Juegos Olímpicos), Jueves, 7:00pm.
- Fritche, Jena (2006): Artículo: Recursos Ambientales; Coordenadas Solares.
- Fotografías Experimentales de Diseño, Autor: Mtro. Arq. Carlos César Morales Guzmán.
- History Channel (2007), Las Siete Maravillas Industriales, Puente Brooklyn, New York, lunes, 3:00pm.
- History Channel (2007), Maravillas Modernas, Cartografía, Topología Triangular, Lunes, 12:00am.
- Maravillas Modernas, History Channel, 8:00 pm, Arcos en la Construcción.
- Maravillas Modernas, History Channel, 3:00 pm, Creando Imperios.
- Maravillas Modernas, History Channel, 2:00 pm, los Códigos de Da vinci.
- National Geografic (2004): Super Estructuras (Muros Cortinas), Domingos, 7:00pm
- National Geografic (2006): Catástrofes Naturales (DVD), Documental.
- National Geografic (2006): El Diluvio Universal (DVD), Documental.
- Morales Guzmán Carlos C. (2007), Tesis de Maestría: Sistema Flexible en la Vivienda, Universidad Cristóbal Colon.
- Oliveros Ruiz, Joel (2003): Tema: Estructuras en la Arquitectura, Escuela Gestalt De Diseño de Xalapa, Ver.
- Revista Científica de Arte (2006): Genios de la Arquitectura: Calatrava, Autor: T. Estevez, Alberto, Editorial Susaeta.
- Revista Científica Técnica: International Journal of Space Structures, Vol.6, No-4 (1991), Edición: H. Nooshin, Z.S. Makowski.
- Revista EL CROQUIS (1995).Nº 52, Madrid. Monográfico Zaha Hadid.
- Revista EL CROQUIS (2001).Nº103, Madrid Monográfico Zaha Hadid.
- Revista Monográfica (2007): AV Arquitectura Viva; Proyectos Contemporáneos.

# Agradecimientos.

-En estos momentos de trascendental importancia en mi vida, quiero dar **gracias a Dios** en primer lugar por la voluntad que sembró en mí para elaborar con paciencia y sabiduría este proyecto. Por su compañía que me hizo perseverar en mi objetivo, alentándome cada día con sus bendiciones.

-En segundo lugar, a **mi madre** que siempre ha estado conmigo con sus consejos, estímulos y sus mejores deseos para mí. Mamá, acuérdate por todo lo que pasamos para llegar juntos a esta meta que hoy alcanzo..., este logro es de los dos. Gracias infinitamente por tu amor, comprensión y apoyo con los cuales yo siempre he contado. Te quiero mucho.

-Toca este espacio a **mis hermanos**, gracias por su apoyo incondicional y confianza que depositan en mí, les prometo que no los decepcionaré, doy gracias a Dios por tener unos hermanos tan comprensivos y tan admirables, ha valido la pena sus ánimos y hoy reconozco que son parte de este logro, gracias queridos hermanos.

-A **mi querida Lizbeth**, gracias a ella he terminado este documento, ayudó en toda la redacción y ejecución de este tema aunque muchas cosas no comprendía tubó la suficiente paciencia para poder corregir grandes fallos gramaticales en este documento. Has sido testigo, comienzo y el final, de mis altibajos a través de todo este proceso y no me queda mas que decirte que eres parte no tan solo de mis logros, sino también de mi vida; Gracias por tu amor y paciencia por siempre.

-Al **Dr. Arq. Juan Gerardo Oliva Salinas**; ha valido la pena el tiempo transcurrido y le agradezco su confianza y comprensión, por permitirme trabajar con libertad, así como por aceptar dirigirme en la perspectiva del diseño en la arquitectura... mil gracias.

-Un agradeciendo muy especial a la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por abrirme sus puertas y dejarme entrar a un mundo lleno de conocimientos, trataré siempre de llevar en alto a la universidad que me vio transformarme en un doctor, gracias a la calidad humana de sus catedráticos y colaboradores. Les estaré siempre agradecido por darme la gran oportunidad de crecer con ustedes.

# Anexos

## Apéndice A

### Fundamentos del LRFD

El objetivo primario de la especificación de LRFD es proporcionar una seguridad de funcionamiento uniforme para todas las estructuras de acero bajo varias condiciones de carga. Esta uniformidad no puede obtenerse con el formato de diseño de esfuerzos permisibles (ASD).

El método de ASD puede representarse por la desigualdad

$$\sum Q_i < R_n / F.S.$$

El término del lado izquierdo de la desigualdad es la resistencia requerida, la cual es la sumatoria de los efectos de la carga  $Q_i$  (fuerzas y momentos). El término del lado derecho, la resistencia de diseño, es la resistencia nominal o resistencia  $R_n$ , dividida por un factor de seguridad. Cuando se divide por la adecuada propiedad de la sección (área o módulo de la sección), los dos lados de la desigualdad se convierten en el esfuerzo real y el esfuerzo permisible respectivamente. ASD, entonces, se caracteriza por el uso de cargas de “trabajo” no factorizadas, en conjunto con un simple factor de seguridad aplicado a la resistencia. Debido a la gran variabilidad y, por ende, a la impredecibilidad de la carga viva y otras cargas en comparación con la carga muerta, una seguridad de funcionamiento uniforme no es posible.

LRFD, como su nombre implica, usa factores separados para cada carga y resistencia. Ya que los diferentes factores reflejan el grado de incertidumbre de diferentes cargas y combinaciones de cargas y de la precisión para predecir la resistencia, una seguridad de funcionamiento más uniforme no es posible. El método de LRFD puede ser sintetizado por la desigualdad

$$y_i Q_i < R_n \phi$$

En el lado izquierdo de la desigualdad, la resistencia requerida es la sumatoria de los efectos de las cargas,  $Q_i$ , multiplicadas por sus respectivos factores de carga, el  $y_i$ . La resistencia de diseño, el término del lado derecho, es la resistencia nominal o resistencia  $R_n$ , multiplicada por un factor de resistencia,  $\phi$ .

En la adaptación de LRFD en STAAD, se asume que el usuario usará los factores de carga adecuados y creará las combinaciones de carga necesarias para el análisis. La parte correspondiente a diseño del programa, toma en consideración los efectos de carga (fuerzas y momentos) obtenidos desde el análisis. Los cálculos para resistencias de elementos (las vigas, columnas, etc.), resistencia (la resistencia nominal) y el factor de resistencia aplicable, serán considerados automáticamente.

## Los Resultados Tabulados del Diseño de Acero

Los resultados de la verificación del código y selección de miembros son presentados en un formato tabular. Una discusión detallada del formato se proporciona en la Sección 2.11. Observe las siguientes excepciones: CONDICIÓN CRÍTICO (CRITICAL COND) se refiere a la sección de las especificaciones de LRFD que gobernaron el diseño.

Si el TRACK se pone a 1.0, la resistencia de diseño de los miembros será enviada a impresión.

Tabla 2.2 - Parámetros del LRFD

Nombre del Parámetro		Descripción
KX		Valor de K para el pandeo flexión-torsional.
KY		Valor de K en eje local Y. Usualmente es el eje menor.
KZ		Valor de K en eje local Z. Usualmente es el eje mayor.
LX	Longitud del miembro	Longitud para el pandeo flexión-torsional.
LY	Longitud del miembro	Longitud para calcular la relación de esbeltez por pandeo sobre el eje local Y.
LZ	Longitud del miembro	Longitud para calcular la relación de esbeltez por pandeo sobre el eje local Z.
FYLD	ksi	Resistencia a la Fluencia del acero.
FU	ksi	Resistencia Última de Tensión del Acero.
NSF		El factor de sección neta para los miembros de tensión.

Tabla 2.2 - Parámetros del LRFD Cont.

Nombre del Parámetro	Valor por Omisión	Descripción
UNT	Longitud del miembro	Longitud no soportada (Lb) del patín superior* para la fuerza de flexión calculada. Sólo se usará si la compresión de flexión está en el patín superior.
UNB	Longitud del miembro	Longitud no soportada (Lb) del patín inferior* para la fuerza de flexión calculada. Sólo se usará si la compresión de flexión está en el patín inferior.

STIFF	Longitud del miembro	Espaciado de atiesadores para las vigas para el diseño por corte.
CB	1.0	Coefficiente Cb por Capítulo F. Si Cb póngase a 0.0, se calculará por el programa. Cualquier otro valor se usará directamente en el diseño.
TRACK	0.0	0.0 = Suprime todas las fuerzas de diseño. 1.0 = Imprime todas las fuerzas de diseño. 2.0 = Imprime la salida extendida del diseño.
DMAX	45.0 pulgada.	Peralte máximo permisible
DMIN	0.0 pulgada.	Peralte mínimo permisible.
RATIO	1.0	La relación permisible de carga real y resistencia de diseño.
BEAM	1.0	0.0 = diseño en los extremos y esas situaciones especificadas por el comando SECTION. 1.0 = diseño a los extremos y en cada punto a 1/12 a lo largo de la longitud del miembro. (El valor por omisión)

\* La parte superior e inferior representan el lado positivo y negativo del eje local Y (el eje local Z si se usa ZET Z UP).

Nota: Para la revisión de la deflexión, pueden usarse los parámetros DFF, DJ1 y DJ2 de Tabla 2.1. Todos los requerimientos permanecen igual.

### Metodología de Cálculo en Staad Pro. 2007

STAAD.Pro ofrece dos análisis engine STAAD y STARDYNE. El análisis engine del STAAD se ha descrito como el primer software de análisis de elemento finito disponible comercialmente para el análisis dinámico y ha estado en uso a lo largo del mundo durante 35 años. STARDYNE ofrece al analista estructural un fiable y fácil método para usar en la resolución de cualquier problema en la estática y el análisis dinámico.

Esta sección del manual contiene una descripción general de las capacidades de análisis disponible en STARDYNE. Formatos de comandos detallados y otra información especificada por el usuario es la misma que en el STAAD engine (vea Sección 5). Además, pueden especificarse varias opciones de análisis antes de que el Análisis sea realizado. Para la explicación de estas opciones, por favor refiérase a la Sección 3 del manual del Ambiente Gráfico del STAAD.PRO.

El objetivo de esta sección es familiarizar al usuario con los principios básicos involucrados en la aplicación de varias capacidades del análisis.

## Constantes de los Materiales STARDYNE

Las constantes de materiales son: el módulo de elasticidad (E1, E2, E3); la densidad de peso, la relación de Poisson (POIS12); los coeficientes de expansión térmica (ALPHA1,2,3), G12, G23, G31, el coeficiente compuesto de amortiguamiento, y los elementos compuestos de criterio de falla constante.

Se usa la densidad de peso en el análisis estático cuando el peso propio de la estructura será tenido en cuenta y en la dinámica para calcular las masas nodales. La relación de Poisson (POIS12) puede usarse para calcular el módulo de corte (G12), si G12 si hay un espacio en blanco izquierdo, por la fórmula,

$$G12 = 0.5 \times E1 / (1 + POIS12)$$

Los coeficientes de expansión térmica (ALPHA1,2,3) se usan para calcular la expansión de los elementos si las cargas de temperatura son aplicadas. La unidad de temperatura para la carga de temperatura y ALPHAs tiene que ser la misma.

Se asume que las direcciones constantes de los materiales son las direcciones principales. Para las vigas los ejes del material son los ejes locales de las vigas. Para los elementos sólidos los ejes de los materiales son los ejes globales. Para los elementos de placa, los ejes de los materiales serán igual que los ejes locales de la placa a menos que un ángulo del eje se especifique para esa placa.

## Análisis Estático STARDYNE

MODELADO DE RIGIDECES - El procedimiento de la solución general consiste en formular una matriz de rigidez nodal de los elementos finitos (las vigas, placas y sólidos) y realizar uno o más de los procedimientos siguientes: el análisis estático, extracto del eigenvalue/eigenvector, y el análisis de respuesta dinámico. El análisis estático y las fases del extracto modales también están basadas en el "Método de Rigidez" conocido como el "Método del Desplazamiento". Las hipótesis y formulaciones son consistentes con la "Teoría del Desplazamiento Pequeño".

Cada elemento finito contribuye a la rigidez en los nudos a los que se conecta. Cada tipo de elemento tiene una forma supuesta de desplazamiento de tal manera que satisface el equilibrio de fuerzas y la compatibilidad del desplazamiento de los nudos. Se calculan las matrices de rigidez nodales de los elementos finitos individuales primero y entonces transformado el sistema de coordenadas del elemento local al sistema de coordenadas globales. Finalmente, se suman las rigideces individuales asociadas con cada punto nodal sistemáticamente para obtener el total (global) de la matriz de rigidez [K]. Esta matriz simétrica cuadrada tiene arriba de 6 ecuaciones por nudo.



### Las Hipótesis del Método de Rigidez

Para un análisis completo de la estructura, las matrices necesarias se generan en base a las hipótesis siguientes:

- 1) La estructura se idealiza en un ensamble de vigas, placas, sólidos, resortes y elementos de tipo de matriz unidos juntos en sus vértices (los nudos). El ensamble está cargado y reacciona para las cargas concentradas que actúan en los nudos. Estas cargas pueden ser fuerzas y momentos que pueden actuar en cualquier dirección especificada.
- 2) Un elemento viga es un elemento estructural longitudinal que tiene una constante, doblemente simétrica o una sección transversal variando linealmente a lo largo de su longitud. Los elementos viga pueden llevar fuerzas axiales, corte y flexión en dos planos perpendiculares arbitrarios, y también estar sujetos a torsión.
- 3) Un elemento placa es un elemento plano de tres o cuatro nudos que tiene espesor constante y propiedades ortotrópicas.
- 4) Un elemento sólido es un elemento tridimensional de cuatro a ocho nudos que tiene las propiedades ortotrópicas uniformes.
- 5) Un elemento de la matriz general puede ser un resorte o puede ser elementos generadores de matrices o ensamble de rigidez / matrices de masa de una fuente externa.
- 6) Las vigas tienen de 1 a 6 grados de libertad (DOF) en cada nudo; las placas tienen 5 DOF; y los sólidos tienen 3 DOF. Debido a esta desigualdad en DOF, la conexión entre los elementos sólidos y placas o vigas necesitan un modelado especial.
- 7) El resultado de la fuerza interior del elemento y las cargas externas aplicadas que actúan en cada nudo, están en equilibrio excepto en los soportes.
- 8) Se usan dos tipos de sistemas de coordenadas en la generación de las matrices requeridas y están referenciadas a los sistemas locales y globales. Se asignan los ejes de coordenadas locales a cada elemento individual y se orientan de tal modo que ese cálculo para las matrices de rigidez del elemento se generalicen y minimicen. La coordenada nodal que entró en los datos está por definición en el sistema de ejes de coordenadas Globales. Las fuerzas ensambladas y rigidez y los resultados de los desplazamientos están en este sistema de coordenadas Globales.

MODELADO DE LA APLICACIÓN DE CARGAS - Pueden aplicarse cargas en la forma de cargas distribuidas en las superficies del elemento o como cargas concentradas en los nudos, gradientes termales de elementos, las presiones, inercia (peso propio) las cargas e incluso los desplazamientos nodales. Usando métodos de elemento finito normales, las cargas se ensamblan en un vector de fuerza nodal.

SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN ESTÁTICA – Durante un análisis estático, esta ecuación de la matriz se resuelve:

$$[K] \cdot \{ \delta \} = \{ P \}$$

Donde

$[K]$  = la matriz de rigidez

$\{ \delta \}$  = los vectores del desplazamiento nodales resultantes

$\{ P \}$  = los vectores de fuerza nodales aplicados

La solución de la ecuación estática usa uno de dos métodos:

- 1) La solución del gradiente preconditionado conjugado (TurboSolver). Esta solución es mucho más rápida que el método 2 y usa mucho menos disco. El TurboSolver se usa siempre que es posible [ni con soportes inclinados (ASYSG), resortes en los apoyos, o sistemas rígidos (el master/slave)]; por otra parte una
- 2) Solución de ancho de banda variable Gauss modificado, LDLT, es usada. Esta solución siempre es usada en el eigensolutions.

#### **La consideración de [K] la Matriz de Ancho de Banda**

Método 2 (LDLT) es más eficaz cuando las ecuaciones se piden de nuevo para tener los no-ceros [K] las condiciones de la matriz forman una banda estrecha sobre la diagonal. STARDYNE calcula un orden del nudo casi óptimo automáticamente. Para este tipo de matriz se requieren menos cálculos debido al hecho de que las condiciones fuera de la banda son todas iguales a cero. STARDYNE toma total ventaja del ancho de banda variable durante la solución.

**Independiente "Desencaje" de las Estructuras (Integridad Estructural)** – Como en STAAD pueden resolverse dos o más diferentes estructuras independientes. Verifique el "mensaje del archivo " para mensajes de la estructura que desencajan para ver si se descubrieron las estructuras independientes. Resolver las estructuras múltiples en un análisis no se recomienda y normalmente es el resultado de un error de modelado.

**Problemas Numéricos de Inestabilidad - Singularidades:** Los problemas de inestabilidad pueden ocurrir debido a dos razones primarias.

- 1) Problema de Modelado - Hay una variedad de problemas de modelado que pueden dar lugar a las condiciones de inestabilidad. Ellos pueden ser clasificados en dos grupos.
  - a) La Inestabilidad Local - Una inestabilidad local es una condición dónde las condiciones de empotramiento condicionan a un nudo del elemento a causar una inestabilidad en el elemento aproximadamente de uno o más grados de libertad. Los ejemplos de posible inestabilidad local son:
    - (i) Relajación de Viga: La relajación de los elementos viga en ambos extremos para cualquiera de los grados siguientes de libertad (FX, FY, FZ y MX) puede causar este problema.
    - (ii) TRUSS o sólo axial en vigas no tienen ninguna capacidad de transferir cortes o momentos de la superestructura a los soportes. Dependiendo de la capacidad de transporte de carga de la estructura, resultante puede haber una inestabilidad local.
    - (iii) Las placas en STARDYNE no tienen los 6 dof (la rotación sobre la dirección normal a la de la superficie) en cada nudo.

**NOTA 1:**

Poner a cero la Rigidez en un nudo en uno o más direcciones es correcto. Se ignorarán las cargas en esas direcciones.

**NOTA 2:**

Para la solución de LDLT, se corrigen las Singularidades de Punto de Nudo (pero no para el TurboSolver). Esta singularidad ocurre cuando hay una dirección de rigidez cero más que en una dirección global.

- b) Inestabilidad Global - Estas son causadas cuando los soportes de la estructura son tales que no pueden ofrecer resistencia al movimiento, deslizamiento o volcadura de la estructura en una o más direcciones. Un ejemplo de esto es una estructura con todos los soportes soltados para FX, FY o FZ.
- 2) Precisión matemática - Un error de precisión de matemática es causado cuando las inestabilidades numéricas ocurren en el proceso de descomposición de la matriz. Cuando un elemento muy "rígido" es adyacente a un elemento muy "flexible", un error de precisión de matemática puede ocurrir. Reemplace los elementos rígidos con un sistema rígido o artificialmente ablande el elemento.

Se calculan las cargas y esfuerzos en los elementos usando el vector del desplazamiento nodal calculado.

## Apéndice B

### CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

#### Estados límite

Para fines de aplicación de estas Normas, se alcanza un estado límite de comportamiento en una construcción cuando se presenta una combinación de fuerzas, desplazamientos, o ambos, que determina el inicio o la ocurrencia de un modo de comportamiento inaceptable de dicha construcción. De acuerdo con los artículos 148 y 149 del Reglamento, tales estados límite se clasifican en dos grupos: estados límite de falla y estados límite de servicio. Los primeros se refieren a modos de comportamiento que ponen en peligro la estabilidad de la construcción o de una parte de ella, o su capacidad para resistir nuevas aplicaciones de carga. Los segundos incluyen la ocurrencia de daños económicos o la presentación de condiciones que impiden el desarrollo adecuado de las funciones para las que se haya proyectado la construcción.

#### Resistencias de diseño

##### Definición

Se entenderá por resistencia la magnitud de una acción, o de una combinación de acciones, que provocaría la aparición de un estado límite de falla de la estructura o cualesquiera de sus componentes.

En general, la resistencia se expresará en términos de la fuerza interna, o combinación de fuerzas internas, que corresponden a la capacidad máxima de las secciones críticas de la estructura. Se entenderá por fuerzas internas las fuerzas axiales y cortantes y los momentos de flexión y torsión que actúan en una sección de la estructura.

## Determinación de resistencias de diseño

La determinación de la resistencia podrá llevarse a cabo por medio de ensayos diseñados para simular, en modelos físicos de la estructura o de porciones de ella, el efecto de las combinaciones de acciones que deban considerarse de acuerdo con las secciones 3.3 y 3.4.

Cuando se trate de estructuras o elementos estructurales que se produzcan en forma industrializada, los ensayos se harán sobre muestras de la producción o de prototipos. En otros casos, los ensayos podrán efectuarse sobre modelos de la estructura en cuestión.

La selección de las partes de la estructura que se ensayen y del sistema de carga que se aplique, deberá hacerse de manera que se obtengan las condiciones más desfavorables que puedan presentarse en la práctica, pero tomando en cuenta la interacción con otros elementos estructurales.

Con base en los resultados de los ensayos, se deducirá una resistencia de diseño, tomando en cuenta las posibles diferencias entre las propiedades mecánicas y geométricas medidas en los especímenes ensayados y las que puedan esperarse en las estructuras reales.

El tipo de ensayo, el número de especímenes y el criterio para la determinación de la resistencia de diseño se fijará con base en criterios probabilísticos y deberán ser aprobados por la Administración, la cual podrá exigir una comprobación de la resistencia de la estructura mediante una prueba de carga de acuerdo con el Capítulo XII del Título Sexto del Reglamento.

## Acero estructural

B-254 (ASTM A36) Acero estructural.

B-99 (ASTM A529) Acero estructural con límite de fluencia mínimo de 290 MPa (2950 kg/cm<sup>2</sup>).

B-282 (ASTM A242) Acero estructural de baja aleación y alta resistencia.

B-284 (ASTM A572) Acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso-vanadio.

(ASTM A588) Acero estructural de alta resistencia y baja aleación de hasta 100 mm de grueso, con límite de fluencia mínimo de 345 MPa (3515 kg/cm<sup>2</sup>).

(ASTM A913) Perfiles de acero de alta resistencia y baja aleación, de calidad estructural, producidos por un proceso de tratamiento térmico especial.

(ASTM A992) Acero estructural para perfiles H laminados para uso en edificios.

B-177 (ASTM A53, grado B) Tubos de acero, con o sin costura.

B-199 (ASTM A500) Tubos de acero al carbono para usos estructurales, formados en frío, con o sin costura, de sección circular o de otras formas.

B-200 (ASTM A501) Tubos de acero al carbono para usos estructurales, formados en caliente, con o sin costura.

En la tabla 1.1 se indican los valores de los esfuerzos  $F_y$  y  $F_u$  de los aceros listados arriba.

**Tabla 1.1 Esfuerzos  $F_y$  y  $F_u$  de aceros estructurales**

Nomenclatura		$F_y$ (3)		$F_u$ (4)	
NMX 1	ASTM 2	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>
B-254	A36	250	2530	400 a 550	4080 a 5620
B-99	A529	290	2950	414 a 585	4220 a 5975
B-282	A242	290	2950	435	4430
		320	3235	460	4710
		345	3515	485	4920
B-284	A572	290	2950	414	4220
		345	3515	450	4570
		414	4220	515	5270
		450	4570	550	5620
	A992	345	3515	450 a 620	4570 a 6330
B-177	A53	240	2460	414	4220
B-199	A500 (5)	320	3235	430	4360
B-200	A501	250	2530	400	4080
	A588 (6)	345 (6)	3515 (6)	483 (6)	4920 (6)
	A913	345 a 483 (7)	3515 a 4920 (7)	448 a 620 (7)	4570 a 6330 (7)

1 Norma Mexicana

2 American Society for Testing and Materials.

3 Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material.

4 Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible.

5 ASTM especifica varios grados de acero A500, para tubos circulares y rectangulares.

6 Para perfiles estructurales; para placas y barras, ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material.

7 Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70.

La dirección en que se laminan los perfiles y placas es la de mayor interés en el diseño de las estructuras, por lo que el esfuerzo de fluencia en esa dirección, determinado por medio de ensayos estándar de tensión, es la propiedad mecánica que decide, en la mayoría de los casos, el tipo de acero que ha de emplearse. Sin embargo, otras propiedades mecánicas, tales como anisotropía, ductilidad, tenacidad, facilidad de formado en frío, resistencia a la corrosión, pueden ser también importantes para el comportamiento correcto de algunas estructuras. Cuando éste sea el caso, habrá que remitirse a la literatura especializada para obtener la información que permita escoger el material más adecuado.

## Estabilidad y relaciones de esbeltez

En esta sección se especifican requisitos de carácter general para asegurar la estabilidad de la estructura en conjunto y la de cada uno de sus elementos.

### Relaciones de esbeltez

La relación de esbeltez  $KL/r$  de los miembros comprimidos axialmente o flexocomprimidos, se determina con la longitud efectiva  $KL$  y el radio de giro  $r$  correspondiente.  $L$  es la longitud libre de la columna, entre secciones soportadas lateralmente, y  $K$  es el factor de longitud efectiva, que se calcula como se indica más adelante. Debe tenerse cuidado, en todos los casos, de utilizar la relación de esbeltez máxima del miembro, ya que  $K$ ,  $L$ , y  $r$ , o cualquiera de esas cantidades, pueden tener varios valores diferentes en un mismo elemento, dependiendo del eje de las secciones transversales alrededor del que se presente el pandeo, de las condiciones en sus extremos y de la manera en que esté soportado lateralmente.

La relación de esbeltez  $L/r$  de miembros en tensión se determina con su longitud libre  $L$ .

### Relaciones de esbeltez máximas

La relación de esbeltez  $KL/r$  de miembros en compresión no excederá de 200.

La relación de esbeltez  $L/r$  de miembros en tensión puede tener cualquier valor, pero conviene que no pase de 240 en miembros principales, ni de 300 en contraventeos y otros miembros secundarios, especialmente cuando están sometidos a cargas que puedan ocasionar vibraciones.

Si el miembro en tensión es una varilla no se pone límite a su relación de esbeltez, pero se recomienda pretensionarla para evitar vibraciones o deformaciones transversales excesivas.

### Deflexiones, vibraciones y desplazamientos laterales

Las deformaciones de los elementos estructurales y sus combinaciones, producidas por cargas de trabajo, serán tales que no perjudiquen el comportamiento de la estructura, en condiciones de servicio.

#### a) Deflexiones

Las deflexiones transversales de elementos estructurales y sus combinaciones, incluyendo pisos, techos, muros divisorios y fachadas, producidas por cargas de trabajo, no deben exceder los valores máximos permisibles.

En el Título Sexto del Reglamento se proporcionan algunos de estos valores máximos, y las tablas 7.1 y 7.2. Contienen información adicional, relativa a edificios industriales, bodegas, y otras construcciones semejantes, con estructura de acero.

**Tabla 7.1 Desplazamientos verticales máximos permisibles en elementos estructurales**

Elemento	Carga	Desplazamiento máximo
Miembros que soportan cubiertas de techo rígidas.	CV 1	$L/240$
Miembros que soportan cubiertas de techo flexibles.	CV 1	$L/180$
Trabes carril para grúas.		Ver tabla 7.2

Tabla 7.2 Desplazamientos máximos permisibles en traveses carril y edificios que soportan grúas

Elemento	Carga	Desplazamiento máximo
<b>a) Desplazamientos verticales</b>		
Trabe carril		
Grúa colgada o monorriel, clase A, B o C.	Carga vertical de la grúa (sin impacto)	$L/450$ 1
Grúa de puente		
Clase A, B o C	Carga vertical de la grúa (sin impacto)	$L/600$ 1
Clase D		$L/800$ 1
Clase E		$L/1000$ 1
<b>b) Desplazamientos laterales</b>		
Marco de acero		
Grúa operada desde el piso	Fuerza lateral de la grúa,	$H/100$ 1
Grúa operada desde una cabina	viento o sismo	$H/240$ $\leq 50$ mm (2)
Trabe carril	Fuerza lateral de la grúa	$L/400$ 1

1L es el claro de la trabe carril.

2H es la altura a la que se apoya la trabe carril; el desplazamiento se mide a esa altura.

Las clases de grúas que aparecen en la tabla son las definidas por la Asociación de Fabricantes de Grúas de América (C.M.A.A.A.).