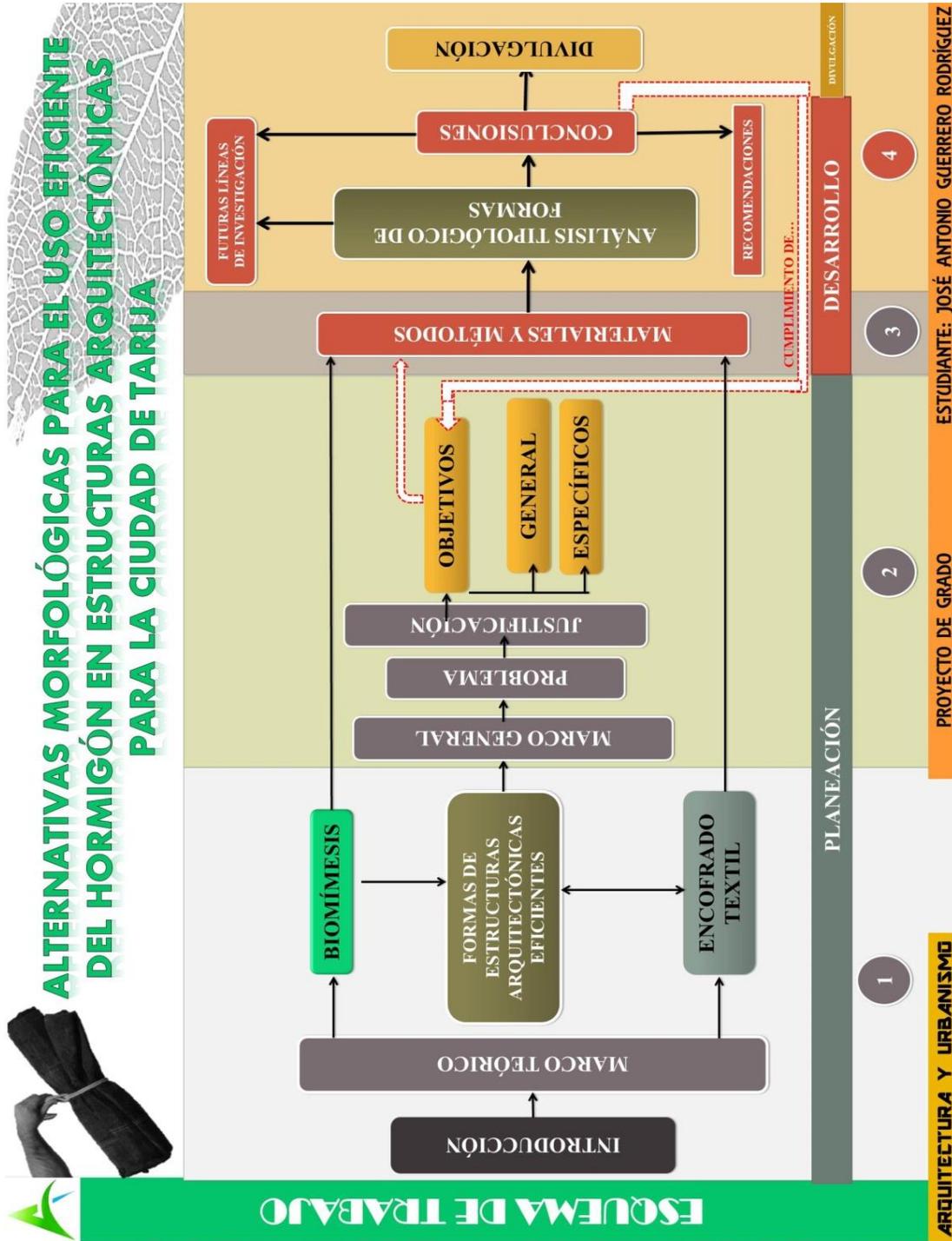


**CAPÍTULO I:**  
**MARCO GENERAL**



# 1.1. METODOLOGÍA





## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El material más utilizado en la construcción en Tarija es el hormigón, el uso ineficiente de esta materia es a causa de su morfología estructural que es prismática y pesada.

Las formas prismáticas de las estructuras se deben a los paneles rígidos utilizados para encofrar el hormigón, el cual en su inicio es un material fluido.

Los encofrados de madera son los más utilizados en Tarija, estos encofrados tienen un alto costo en la construcción, la reutilización del encofrado no es muy buena porque se deforma con la humedad y pierde resistencia creando muchos desperdicios en la construcción.

## **1.3. DELIMITACIÓN DEL TEMA**

La investigación se centrará en elaborar alternativas de formas estructurales con encofrados textiles aplicados en columnas, vigas y pórticos.

Se analizarán las formas y funciones de la naturaleza que pueden ser aplicadas en estructuras arquitectónicas, buscando sobre todo la eficiencia que nos ofrece la naturaleza en el uso de materiales.

Los resultados se los plasmará en modelos a escala para apreciar su forma y su técnica de construcción.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

### **Variedad de posibilidades formales en el hormigón**

El hormigón comienza su vida como un material fluido que puede tomar diferentes morfologías, esto depende del material que se utiliza para encofrarlo.

### **Optimización de materiales en la construcción**

Las formas en la naturaleza y su funcionamiento estructural son eficientes, la aplicación de las formas naturales (Biomímesis) en estructuras arquitectónicas permiten obtener mayor eficiencia en el uso de materiales.



## **Manejo de los encofrados más livianos**

El encofrado textil es liviano, fácil de transportar y tiene una mejor calidad de superficie, exactitud de la forma y no necesita equipos tecnológicos para su armado.

### **1.5. OBJETIVOS**

#### **1.5.1. Objetivo personal**

- ✓ Utilizar la investigación para realizar emprendimientos laborales en el futuro, aplicando los conocimientos adquiridos.

#### **1.5.2. Objetivo académico**

- ✓ Fortalecer los conocimientos en el área de tecnología de estructuras arquitectónicas.

#### **1.5.3. Objetivo general**

- ✓ Desarrollar alternativas morfológicas en estructuras arquitectónicas para el uso eficiente del hormigón tomando en cuenta el desarrollo científico de la Biomímesis y su construcción en encofrados flexibles.

#### **1.5.4. Objetivo específicos**

- ✓ Aplicar la morfología de la naturaleza (Biomímesis) en estructuras arquitectónicas de hormigón.
- ✓ Elaborar encofrados textiles en base a las formas naturales (Biomímesis) en estructuras arquitectónicas.
- ✓ Tipologar la morfología de la naturaleza aplicada al diseño en un catálogo, clasificarla según su uso y función.

### **1.6. PREGUNTAS ORIENTADORAS**

- ¿Qué formas me ofrece la naturaleza para su aplicación en estructuras arquitectónicas?
- ¿Qué encofrados se utilizan y cuál es el más óptimo para la construcción de formas naturales en estructuras arquitectónicas?



- ¿Cómo se pueden clasificar las formas alternativas con ayuda de la Biomímesis y de los encofrados flexibles?

### **1.7. HIPÓTESIS**

Existe una variedad de formas en la naturaleza que se pueden aplicar en el diseño de estructuras y elementos arquitectónicos utilizando los conceptos de la Biomímesis y su construcción en encofrados flexibles.

Aplicando los conceptos de la Biomímesis y construidos en encofrados flexibles se podrá determinar formas alternativas de estructuras arquitectónicas eficientes.

CAPÍTULO II:  
MARCO CONCEPTUAL Y  
TEÓRICO



## 2.1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se desarrolla de una manera histórica los antecedentes de las estructuras en la arquitectura. Estudiamos las obras de arquitectos e ingenieros que plantearon estructuras innovadoras para su época. En este capítulo también se desarrolla las bases teóricas del proyecto, como las teorías de la Biomímesis, la biomecánica y los encofrados textiles.

### 2.1.1. ESTRUCTURAS EN LA ANTIGÜEDAD

En la antigüedad, se observa que las estructuras eran de gran tamaño y de formas puras. Los materiales que se utilizaban para su construcción eran del lugar y no tenían alteraciones de sus componentes. Estas estructuras portantes trabajan a compresión. El concepto de la forma de estas estructuras parte de una idea matemática (figura 2.2) En las pirámides de Giza sus ángulos están basado en Pi, número matemático que se encuentra en la naturaleza como también el número de oro que se encuentra en el Partenón de Atenas (figura 2.3).



Fig. 2.1 CULTURA SUMERIA EN MESOPOTAMIA: ZIGURATS 3200



Fig. 2.2. CULTURA EGIPCIA. PIRÁMIDES DE GIZA 3100 a.C.

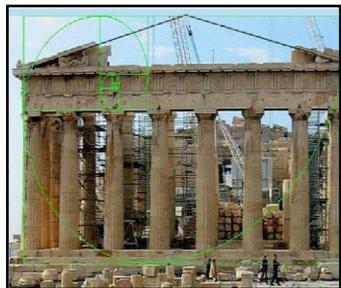


Fig. 2.3. CULTURA GRIEGA: ACRÓPOLIS 776 a.C.



Fig. 2.4. CULTURA ROMANA: EL COLISEO 750 a.C.



En la cultura sumeria en Mesopotamia (figura 2.1) se observa en los zigurats que las formas que utilizan son prismáticas, los materiales son del sitio. La estructura es portante ya que trabaja a compresión y sus muros son de gran tamaño.

En la cultura Egipcia se construyó las pirámides de Giza (2.2.). La forma de su estructura es prismática y resiste a esfuerzos a compresión.

En la cultura griega se ve una innovación y aligeramiento de las estructuras en la Acrópolis (figura 2.3), utiliza materiales del lugar y su estructura resiste a esfuerzos a compresión.

En la cultura romana se observa que hay una complejidad en el diseño del Coliseo Romano (figura 2.4.).

## **2.2. ANTECEDENTES DE FORMAS NATURALES EN ESTRUCTURAS ARQUITECTÓNICAS (BIOMÍMESIS).**

La naturaleza ha sido durante todas las épocas fuente infinita de inspiración para arquitectos, ingenieros y diseñadores. El desempeño, eficiencia y complejidad de los diseños observados en los organismos naturales aun sorprende día a día a los arquitectos.

Los principios de diseños utilizados en el mundo natural son innumerables y en todos ellos encontramos como denominador común: la armónica combinación de las partes en unión al todo (sinergia) destinadas a un propósito y en perfecto balance con su medio ambiente.

Arquitectos como Antonio Gaudí, Frank Ll. Wright, Le Corbusier, Buckminster Fuller, Otto Frei, Renzo Piano y Santiago Calatrava entre muchos otros, emplearon la analogía y el concepto de lo “orgánico” en sus diseños.

### **2.2.1. ANTONIO GAUDÍ**

Lo sorprendente de las obras gaudinianas es su dimensión plástica, la fuerza de las formas y la expresividad de los materiales. Gaudí entendía los edificios como una



unidad, por lo que buscó soluciones tridimensionales, la ayuda de las estructuras que debían soportar los edificios.

Es cierto que Gaudí se inspiró en las formas naturales y su espíritu de síntesis apoyo al diseño de los edificios ayudando al planteamiento funcional, una economía de la forma basada en la experiencia y la observación de los hechos.



Fig. 2.5. Columnas arborescentes



Fig. 2.6. Morfología Árbol.



Fig. 2.7. Antonio Gaudí.

Antonio Gaudí (1852- 1926)

Analogías entre pilares interiores en “templo de la sagrada familia” y la configuración ramificada de árboles.

Cuadro. 2.1. Antonio Gaudí. Elaboración propia

### 2.2.2. LE CORBUSIER (1887 - 1965)

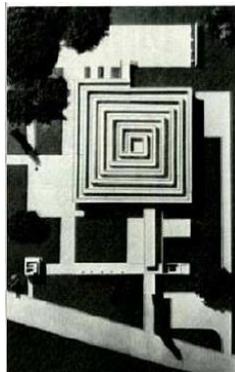


Fig. 2.8. Museo infinito

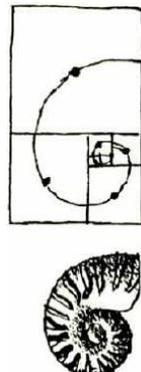


Fig. 2.9 Nautilus.



Fig. 2.10. Le Corbusier

Le Corbusier (1887 – 1965)

Inspirado en la configuración espiralada de Nautilus, diseñó el proyecto del “museo de crecimiento ilimitado” (1929)

Cuadro. 2.2. Le Corbusier. Elaboración propia



### 2.2.3. FRANK LLOYD WRIGHT



Fig. 2.11 edificio de oficinas HF Johnson jr.  
Frank Lloyd Wright (1867 - 1959)

Fig. 2.12 Hongo

Fig. 2.13 Frank Lloyd  
Wright

Su obra siempre tuvo una conexión con la naturaleza, para Wright los edificios también eran “hijos de la tierra y el sol”.

En el edificio administrativo de la compañía Johnson & Son, eligió una configuración orgánica para las columnas, las que se fusionan con la cubierta translúcida, muy similar a la forma, estructuralmente eficiente, de un hongo que crece en la región.

Cuadro. 2.3. Frank Lloyd Wright. Elaboración propia

### 2.2.4. FREI OTTO (1925 - )

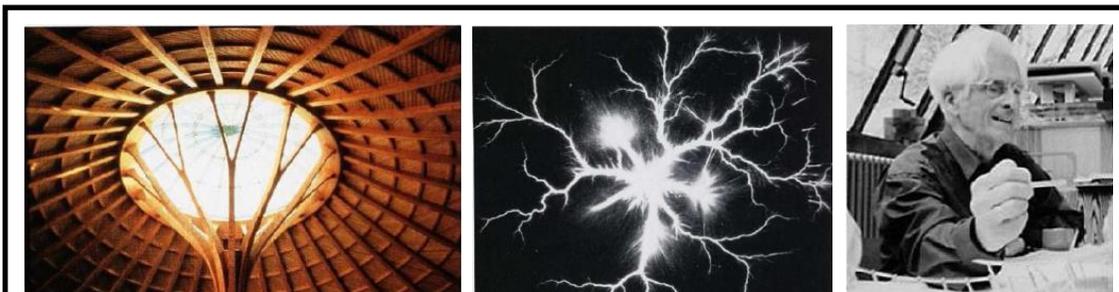


Fig. 2.14 hotel Alemán

Fig. 2.15 morfología de un rayo

Fig. 2.16 Frei Otto

Frei Otto (1925 - )

Arquitecto alemán, conocido mundialmente por sus investigaciones sobre eficiencia estructural a partir del estudio de organismos y formas generadas por la naturaleza en ILEK. El famoso instituto para desarrollo de estructuras ligeras en la universidad de Stuttgart que encabezó el mismo desde al año 1964 hasta su retiro de la vida académica.

Su gran experiencia en construcción, mallas y otros sistemas de coberturas tensadas le han dado un lugar entre los arquitectos más significativos del siglo XX.

Cuadro. 2.4. Frei Otto. Elaboración propia



### **2.2.5. CONCLUSIONES**

La evolución de las estructuras son una muestra de que sus formas puras se van complejizando. Los materiales de construcción son más variados y su composición es más compleja. Las estructuras son más livianas y más eficientes en el uso de materiales. El método de diseño con CAD ayudó al avance de estructuras de forma compleja y también hubo una evolución con los sistemas constructivos.

### **2.3. ORÍGENES DE LA BIOMÍMESIS**

Si bien observamos el análisis de funcionalidad fisiológica, estética morfológica y eficiencia de adaptación al medio encontrada en animales, plantas, bacterias y ecosistemas que han generado la innovación técnica o tecnológica, sería absurdo revelar una fecha de inicio de la Biomímesis, ya que es parte intrínseca de los humanos la emulación de la naturaleza con el fin de subsistir o adaptarse al medio natural.

Fue hasta el siglo XV que comenzaron a surgir aplicaciones biomiméticas reales, tal es el caso de Leonardo Da Vinci quien basó muchos de sus estudios en entender el vuelo de las aves, y morfologías animales y humanas para así crear inventos que permitirían el vuelo de humanos.

El barroco y el rococó como estilos estéticos (siglo XVII y XVIII) integraban toda aquella alegoría que respondía a la “irregular” naturaleza, representada con curvas y colmada de planta, animales y rocas que pueden ser vistas principalmente en altares religiosos, fuentes, herrajes y alfombrados exuberantes a lo largo de Europa y por supuesto en los nuevos pueblos de América.

En el siglo XIX, la biomimética comienza a ser aplicada en áreas médicas: prótesis, anteojos y audífonos entre otros, que fueron elementos determinados por características que se relacionaban estrechamente con la naturaleza.

Durante el siglo XIX, la ciencia revelaba sobre la naturaleza un cúmulo de verdades. En aquella época, la teoría de la evolución de las especies alteró el concepto de



creación, el trabajo de Darwin representaba la culminación del espíritu ilustrado que emprendió la exploración científica y objetiva de la naturaleza.

William Morris usaba la naturaleza como base para la producción de sus tapices, mobiliario o telas. Como precursor del movimiento ecologista, él escribió: “Si el hombre destruye su ambiente se destruye a sí mismo”. Ya dentro del movimiento de las artes y oficios (Arts and Crafts) buscaba ver a la naturaleza como parte de un ejercicio noble al estar presente en la producción artesanal.

El siglo XX encuentra en el Art Nouveau la introducción de un concepto clave, el Biodiseño, que utiliza formas vegetales en la producción industrial, todo en busca de conceptos de ligereza y elegancia. Las vidrieras, escaleras, entradas de metro, integraban ultraligeros esqueletos de hierro.

Esta estrategia “estructural” debería añadirse a las cuatro estrategias descritas por Greenhalgh, ya que hubo arquitectos y diseñadores como Christopher Semper o Gaudí, que fueron más allá de las interpretaciones formales de la naturaleza y vieron en ella modelos de construcción que se podían imitar. Gaudí manifestó en alguna ocasión, que no encontraba en los libros las soluciones a lo que buscaba y que la naturaleza era el único libro que el arquitecto debería leer.

A la entrada del Art Deco, Luis Sullivan revolucionó la ornamentación en su diseño de edificios. Posteriormente, su discípulo Frank Lloyd Wright mostraría una arquitectura orgánica que brindaría el clímax del Art Nouveau mostrando a la naturaleza como un balance y dando la bienvenida al modernismo, en el cual se trató de integrar esa visión de lo natural a la industrialización.

### 2.3.1. TAXONOMÍA DE LA NATURALEZA

La taxonomía de la naturaleza es la clasificación de la naturaleza en grupos y subgrupos dependiendo de las funciones que realicen. El instituto Biomimicry, con la científica Yanine Benyus a la cabeza, con un equipo multidisciplinario realizó la taxonomía de la naturaleza donde la naturaleza está ordenando a la función que realiza. Los grupos que se relacionan con mi tema buscan mantener la integridad física.





Grupo	Sub - Grupo	Función
MANTENER LA INTEGRIDAD FÍSICA	Protección de los factores bióticos	Animales – Plantas – Hongos Microorganismos
	Protección de los factores abióticos	Exceso de líquido – Viento - la pérdida de líquidos - Gases - Pérdida de gases - Luz- química – fuego – hielo - Temperatura – radiación nuclear
	Manejar las fuerzas estructurales	Choque térmico- Impacto – <b>tensión</b> - turbulencia Uso mecánico – uso químico- <b>compresión</b>
	Regula los procesos fisiológicos	Proceso celular - Reproducción o crecimiento
	Prevenir el fracaso estructural	<b>Trabando – deformación- rotura - disipar</b>

Esquema 2.2 Taxonomía de la Naturaleza- grupo mantener la integridad física. Fuente internet.

- **EJEMPLOS DE LA TAXONOMÍA DE LA BIOMÍMESIS.**

**LA FORMA DISTRIBUYE LA TENSIÓN: ERIZO DE MAR**



fig. 2.17. Erizo de mar. Fuente internet.

El caparazón de los erizos de mar previene el agrietamiento y la rotura a través de la forma achatada.

**Taxonomía biomimetismo**

- Mantener la integridad
- Gestión de fuerzas estructurales
- Compresión



## Resumen

"Las esferas de igual forma están distorsionadas por la gravedad. Si una gota de lluvia al caer mantiene una forma esférica por la tensión superficial y cuando se coloca sobre una superficie está sometida a fuerzas de la gravedad de compresión, que tiende a convertirse en una forma más aplanada o achatada. La cáscara del erizo de mar despliega espinas lo que achata la forma distribuyendo la tensión uniformemente sobre la superficie y reduce la probabilidad de agrietamiento o rotura. El principio rector de la economía, que es siempre evidente por la forma, es más eficiente cuando se reduce su trabajo a un mínimo.

## Productos bioinspirados e ideas de aplicación

Ideas de aplicación: Techos / edificios que resisten el granizo u otros daños de la tormentas.

Sector Industrial (s) interesado en esta estrategia: Arquitectura

### 2.3.2. MÉTODOS DE DISEÑO BIOMIMÉTICO.

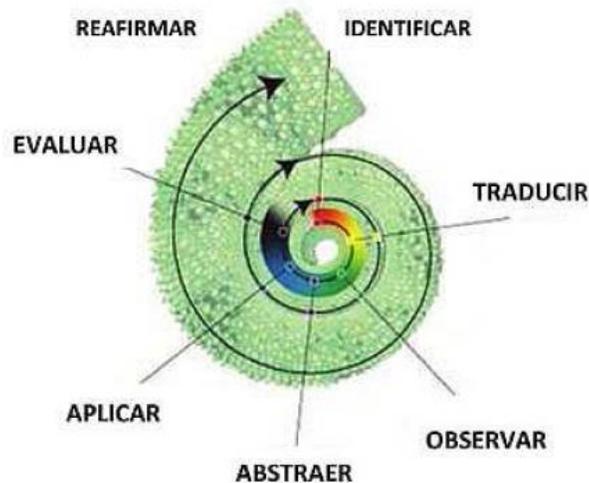


Figura 2.18. Espiral de Diseño Biomimético (Biomimicry Institute) Fuente internet.



### 2.3.2.1. IDENTIFICAR

Desarrollar un planteamiento de diseño sobre la necesidad humana:

- Desarrollar un planteamiento de diseño con especificaciones del problema a resolver.
- Descomponer el sumario de diseño para identificar el problema central y las especificaciones de diseño.
- Identificar la función que se quiere lograr ¿Qué es lo que el diseño quiere implementar?
- ¿Qué es lo que personalmente se quiere diseñar? Continuar preguntándose hasta llegar al problema principal.
- Definir las especificaciones del problema:
  - Identificar el usuario principal:

¿Quién está involucrando con el problema y quien se verá envuelto en la solución?

- Contexto:

¿Dónde se ubica el problema? ¿Dónde será aplicada la solución?

### 2.3.2.2. TRADUCIR

Biologizar la pregunta, es decir, plantear el informe de diseño desde la perspectiva que tiene la naturaleza.

- Traducir la función práctica de diseño en relación a las funciones que se encuentran en la naturaleza.

¿Cómo la naturaleza realiza esta función?

¿Cómo la naturaleza no realiza esta función?

- Replantearse estas preguntas con palabras claves adicionales.
- Definir el hábitat/localización
- Condiciones climáticas



- Condiciones sobre los nutrientes
- Condiciones sociales
- Condiciones temporales

### **2.3.2.3. OBSERVAR**

Voltear hacia los campeones en la naturaleza que han resuelto el problema.

- Encontrar los mejores modelos naturales que respondan a las preguntas.
- Considerar tal modelo, tanto literal como metafórico

Encontrar los campeones en adaptación preguntando: ¿de qué depende su supervivencia?

- Encontrar organismos que han luchado con el problema que se está tratando de resolver, pero que a la vez está determinado a ello.
- Observar los extremos del hábitat
- Abrir discusiones con biólogos y especialista en este campo

### **2.3.2.4. ABSTRAER**

- Encontrar los patrones y procesos repetitivos en donde la naturaleza ha logrado aciertos
- Crear una taxonomía en las estrategias de la vida
- Seleccionar a los campeones con la estrategia más relevante en el particular reto de diseño.
- Abstraer de la lista de aciertos y principios aquellos ejemplos que han generado trascendencia.

### **2.3.2.5. APLICAR**

Desarrollar ideas y soluciones basadas en modelos de la naturaleza.

- Desarrollar conceptos e ideas que apliquen las lecciones de los maestros que es la naturaleza.



- Aplicar estas lecciones lo más profundo que se pueda en el diseño:
- **Imitando la forma:**
  - Encontrar detalles en las morfologías
- **Entender los efectos en la escala**
  - Considerar factores de influencia en efectividad de la forma del organismo
  - Considerar caminos en los que se debería profundizar al imitar el proceso y/o ecosistemas.
- **Imitar función:**
  - Encontrar detalles en los procesos biológicos
  - Entender los efectos en la escala
  - Considerar factores de influencia en la actividad del proceso del organismo
  - Considerar caminos en donde se debería profundizar al imitar el ecosistema
- **Imitar el ecosistema:**
  - Encontrar detalles en el proceso biológico.
  - Entender los efectos en la escala.
  - Considerar factores de influencia en la afectividad del proceso del organismo.

#### **2.3.2.6. EVALUAR**

¿Cómo estas ideas pueden ser compradas? ¿Con los “principios de la vida”, los principios efectivos de la naturaleza?

- Evaluar la solución de diseño.
- Desarrollar preguntas apropiadas a los “principios de la vida” y continuar cuestionándose la solución obtenida.
- Identificar los diferentes caminos para mejorar el diseño y plantear más preguntas para explorar. Las preguntas ahora deben ser para refinar el



concepto en el siguiente nivel: envase, manufactura, mercadotecnia, transporte, nuevos productos, aditamentos, etc.

### **2.3.2.7. REAFIRMAR**

Desarrollar y refinar el planteamiento de diseños basado en las lecciones aprendidas al evaluar los “principios de la vida”.

#### **Tabla 1. Patrones de la vida o principios básicos de la biología**

Estos patrones nos llevan a entender la vida, estando insertos en la biología general o las ciencias naturales, dan una amplia noción de lo que se puede adoptar para generar diseño biomimético, según la autora de Biomimicry, Jenine Benyus.

Resumen estos en 9 principios:

- La naturaleza se ejecuta en luz solar.
- La naturaleza utiliza solo energía que necesita.
- La naturaleza adapta la forma a la función.
- La naturaleza recicla todo.
- La naturaleza gratifica la cooperación.
- La naturaleza se concentra en la biodiversidad.
- La naturaleza demanda la experiencia local.
- La naturaleza frena sus excesos.
- La naturaleza relaciona el poder de los límites.

#### **Análisis:**

Esta metodología es muy completa y permite lograr buenos resultados hacia la innovación sustentable. Sin embargo, dentro de sus 7 fases se puede notar que integran otras subfases, las cuales pueden frenar el desarrollo de la investigación debido a su extensión.



Las fases “evaluar” y “reafirmar” son de gran valor, ya que se requieren para dar seguimiento después de que el objeto, sistema o servicio, es diseñado.

#### **2.4. BIOMÍMESIS EN LA ARQUITECTURA.**

Biomímesis (de bio, vida y mimesis, imitar), también conocida como biomimética o biomimetismo, es la ciencia que estudia a la naturaleza como fuente de inspiración, nuevas tecnologías innovadoras para resolver aquellos problemas humanos que la naturaleza ha resuelto, mediante los modelos de sistemas (mecánica), procesos (química) y elementos que imitan o se inspiran en ella.

La naturaleza, el Universo, le lleva al ser humano millones de años de ventaja en cualquier campo. Es por ello que es más ventajoso copiarla que intentar superarla. El ser humano está vinculado desde siempre con su entorno, este vínculo establecido en un inicio nos muestra como el ser humano depende completamente de naturaleza, desde los elementos básicos de supervivencia como de todo tipo de materias primas para la creación de los sistemas de la vida cotidiana.

De acuerdo a la bióloga Janine Benyus, autora del libro biomimicry: innovación inspired by nature, la idea central es, que la naturaleza imaginativa por necesidad, “ya ha resuelto muchos de los problemas que los diseñadores de hoy enfrentan y que con todo el conocimiento biológico, contamos ya con la capacidad e instrumentos necesarios para empezar a imitarle”.

Benyus enfatiza que “el unico camino para seguir aprendiendo de la naturaleza es salvaguardarla como la fuente de buenas ideas”, enfatizando que en “este momento de la historia, estamos contemplando la posibilidad real de perder un cuarto de las especies en los próximos treinta años y la biomimetica, se convierte más que en un nuevo camino para observar la naturaleza, se vuelve una carrera al rescate”. Por otro lado, se debe saber que casi la mitad de los ecosistemas terrestres estan degradados y en peligro de desaparecer, y por esta razón la biomimética es tambien una forma de valorarla y conservarla. La naturaleza puede mostrarnos no solo una estética incomparable, sino también puede ser nuestro modelo, mentor y mensura.



Fig. 2.19 Museo de Arte de Milwaukee.  
Fuente internet.



Fig. 2.20 El Shopping Center Eastgate -  
En Zimbabwe África. Fuente internet.



Fig. 2.21 Estadio Nido de  
Pájaro. Fuente internet.



Fig. 2.22 Museo de Arte de Milwaukee.  
Fuente internet.

Por ejemplo, el famoso Estadio Nacional de Beijing, compuesto de un marco de acero que se inspira en un nido de pájaros; el Cubo de Agua para el Centro Acuático Nacional; o el Pabellón Quadracci del Museo de Arte de Milwaukee de Santiago Calatrava, que se abre y se cierra durante el día como las alas de una mariposa o el despliegue de una flor.

Pero muchas de estas expresiones, que en un principio parecen ser sólo estéticas, revelan en ciertos casos un orden subyacente, que de alguna u otra manera ha aportado a la eficiencia del edificio, no sólo en temas energéticos, sino también en ámbitos constructivos, materiales o funcionales.

Otro ejemplo es el sistema de refrigeración pasiva del Eastgate Center de Mick Pearce, en Zimbabwe, que imita la forma de los termiteros africanos para mantener



una temperatura interna constante a pesar de los grandes cambios de temperatura de la región. El Centro utiliza el aire frío de la noche para enfriar la masa del edificio, y durante el día este se eleva desde el primer piso a los niveles superiores a través de chimeneas.

Estas formas naturales han demostrado funcionar mucho mejor que las tecnologías más innovadoras que existen en la actualidad, ya que requieren menos energía y producen menos residuos, actuando de manera directa en el diseño de estructuras.

Su campo se extiende a sistemas de ingeniería y arquitectura tratando la relación forma/función y entrando en el dominio de la morfología funcional, definiéndola en el campo de la construcción como biomórfica.

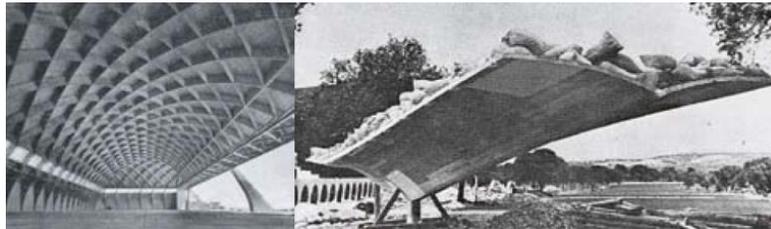


Fig. 2.23 Obras del ingeniero Pier Luigi Nervi. Fuente internet.

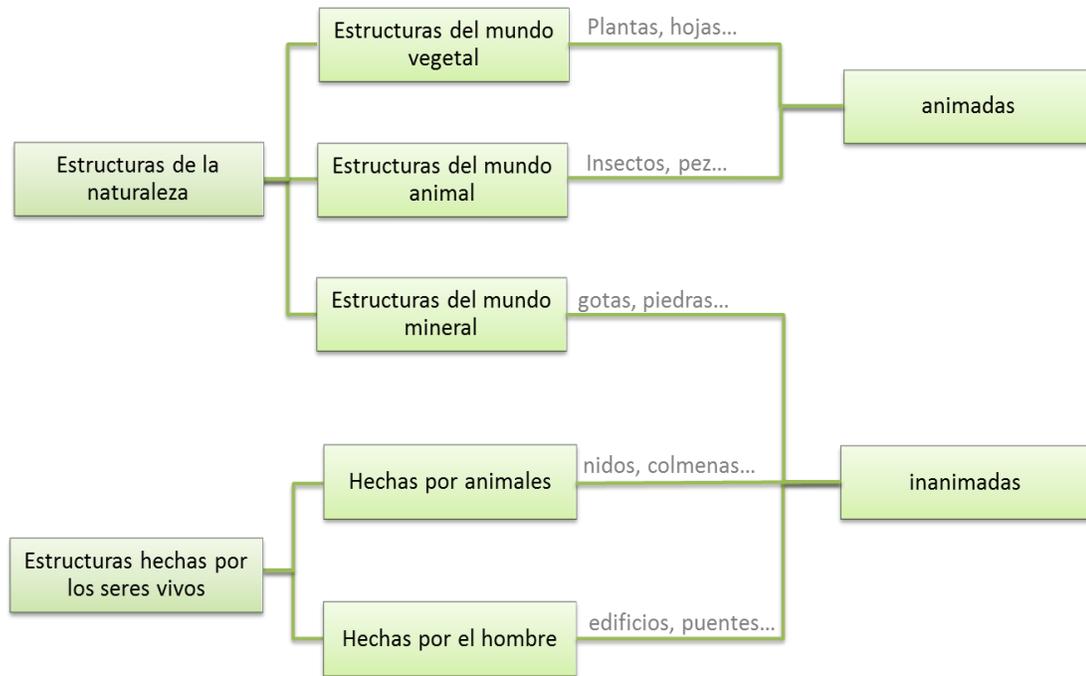
### **2.4.1. ESTRUCTURAS EN LA NATURALEZA**

Las estructuras que encontramos en la Tierra se distinguen en dos grandes grupos: uno referente a las estructuras de la naturaleza, y otro referente a las estructuras hechas por los seres vivos. Este último a su vez, es divisible en las estructuras hechas por el hombre en las cuales hay edificios, puentes, infraestructuras, etc. Y las que están hechas por los animales, en las cuales hay los nidos, hormigueros, colmenas, etc. En ambos casos se produce una modificación del hábitat para responder a necesidades determinadas.

Las estructuras hechas por los animales utilizan los principios de economía en el uso de materiales locales asequibles, reciclaje, optimización de las formas o la adaptación al medio con el consecuente ahorro energético. Además son estructuras realizadas con medios propios, por lo cual las mayores diferencias son entre un ciclo de vida cerrado, y no abierto como en el caso de las estructuras hechas por el hombre.

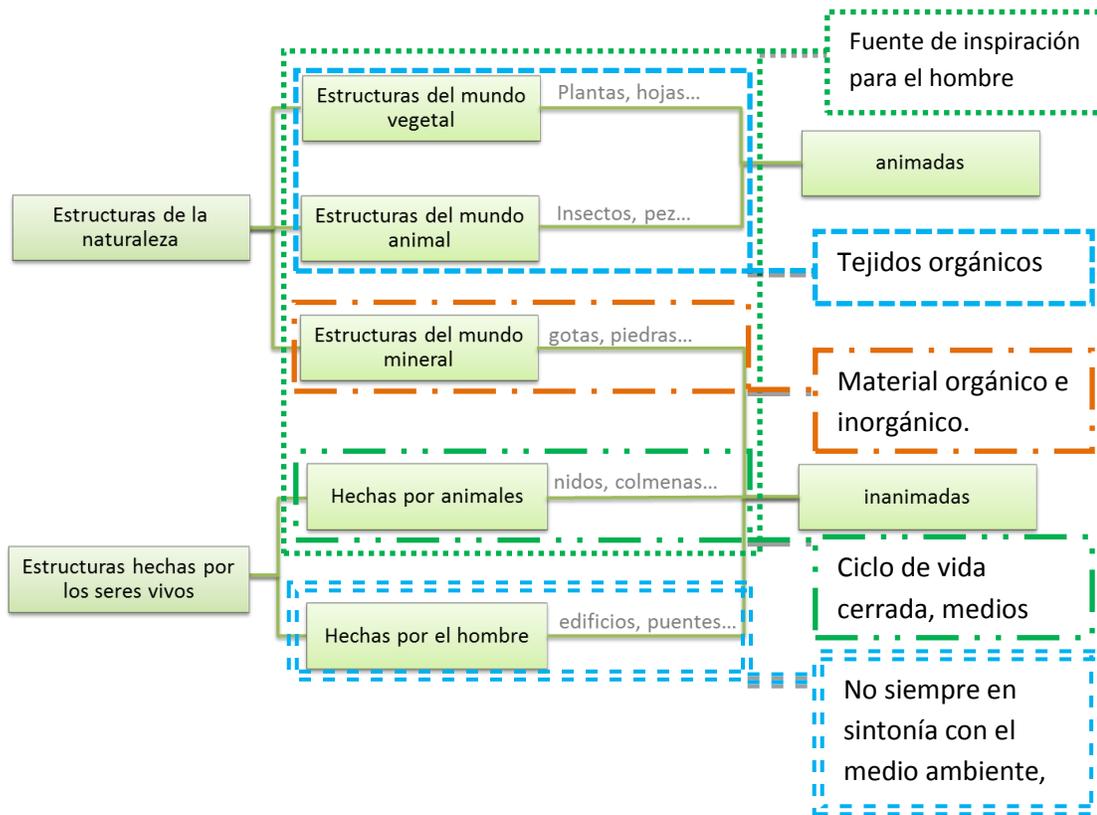


Además, la falta del uso de maquinaria para la construcción pone en evidencia la consecuente ausencia del uso de petróleo y una importante reducción del consumo de agua.



Esquema 2.3. Clasificación de las estructuras presentes en la naturaleza, según pertenezca al mundo natural o están hechas por seres vivos y además se evidencia la diferencia del mundo animal e inanimado. Fuente internet.

Las estructuras de la naturaleza se dividen en inanimadas y animadas, y éstas últimas, a su vez, se dividen en las del mundo animal y las del mundo vegetal. Cada una presenta desarrollos estructurales diferentes. En particular, las estructuras inanimadas o del mundo mineral, entre las cuales se encuentra el agua, las piedras o los copos de nieve, se caracterizan por ser materia orgánica e inorgánica, y según la escala de análisis varían las formas sobre las cuales actúan las fuerzas físicas, tanto externas como internas. Por ejemplo, es diferente observar el efecto de erosión del viento sobre una montaña o la estructura de las propiedades mecánicas de una formación rocosa.



Esquema 2.4 Algunas de las principales características de las estructuras presentes en la tierra, en relación a la clasificación y características. Fuente

Las estructuras animadas se caracterizan por estar formadas de tejidos vivos y orgánicos constituidos por un conjunto de células organizadas más o menos especializadas. Según el tamaño del organismo corresponderá un mayor o menor desarrollo de tejidos con funciones específicas y por consecuente variará la complejidad estructural correspondiente. La observación de un animal cambia al mirar su tejido óseo, el comportamiento mecánico del esqueleto y los tendones o su comportamiento general en el medio, como la aerodinámica para las aves o la fluido dinámica para los peces.

Se observa como la vida crea una tecnología adecuada para cada caso, con una gran diversidad de diseños, materiales, dispositivos e invenciones mecánicas dentro de una amplia escala de complejidad.



En el proceso de hacer fotografías uno se acerca a un sujeto, en este caso prioritariamente del mundo vegetal, y la secuencia fotográfica lleva a la observación de diferentes elementos. Por ejemplo, si al fotografiar una flor nos encontramos con un brote aun no abierto, podemos mirar la planta para observar las diferentes fases de crecimiento de una flor. Eso nos lleva a cambiar la mirada hacia la planta, vista ahora como un ser dinámico, sujeto a continuos cambios.

A continuación se propone una selección fotográfica de algunos ejemplos de estructuras naturales como flores, setas, telarañas, etc. Subrayando que la fascinación ejercida por un organismo o elemento presente en la naturaleza tiene que estar relacionada a su función y a las relaciones que tiene con las otras partes en una visión holística. Esto para que sus posibles reinterpretaciones, análisis y diseño sean correctamente fundamentadas.



Fig.2.24 Estructuras en la naturaleza. Fuente internet.

## 2.5 LA BIOMECÁNICA

La biomecánica estudia por qué cada árbol tiene una forma diferente y cómo logra resistir su peso y soportar vendavales, el secreto los árboles es que sienten como deben crecer.

El árbol mide su estado y nota donde sufre determinadas tensiones, posee sensores mecánicos, de lo contrario no podría hacerlo entonces recarga esa área con anillos más gruesos hasta que logra compensar esa tensión.

Lo que hacen los árboles para optimizar esa área se puede imitar con sencillos medios geométricos

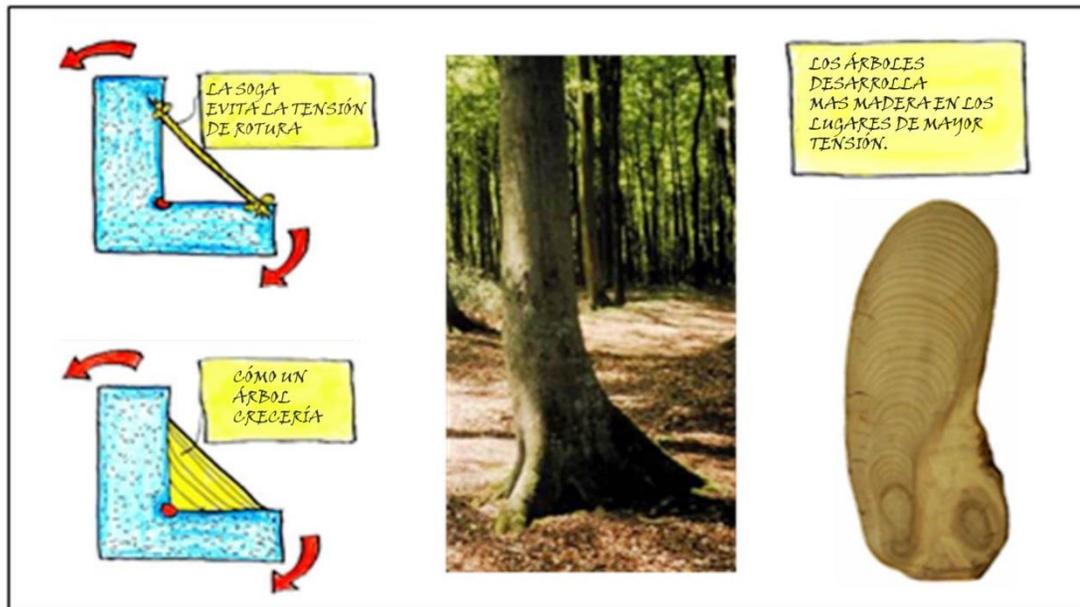


Fig.2.25 Medio geométrico que utiliza la naturaleza para optimizar la forma

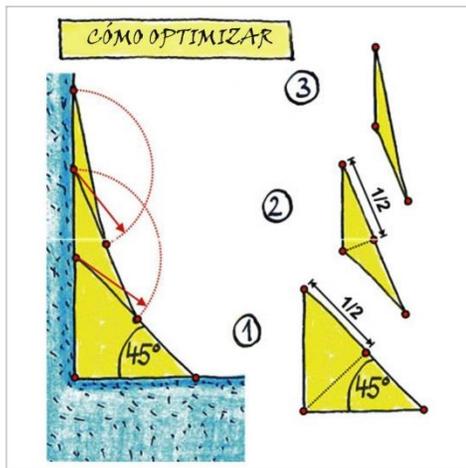


Fig.2.26 triángulos de tracción.

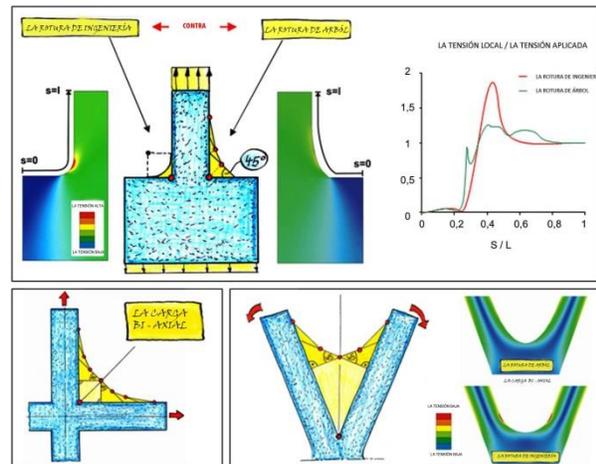


Fig.2.27 análisis en programas CAD de la geometría de la naturaleza.

Este fenómeno se puede observar en la naturaleza, en las cortezas de los árboles, en los huesos, o en otras estructuras naturales, incluso una cadena adopta la forma de los triángulos de tracción si se la tira de ellas en sus extremos.

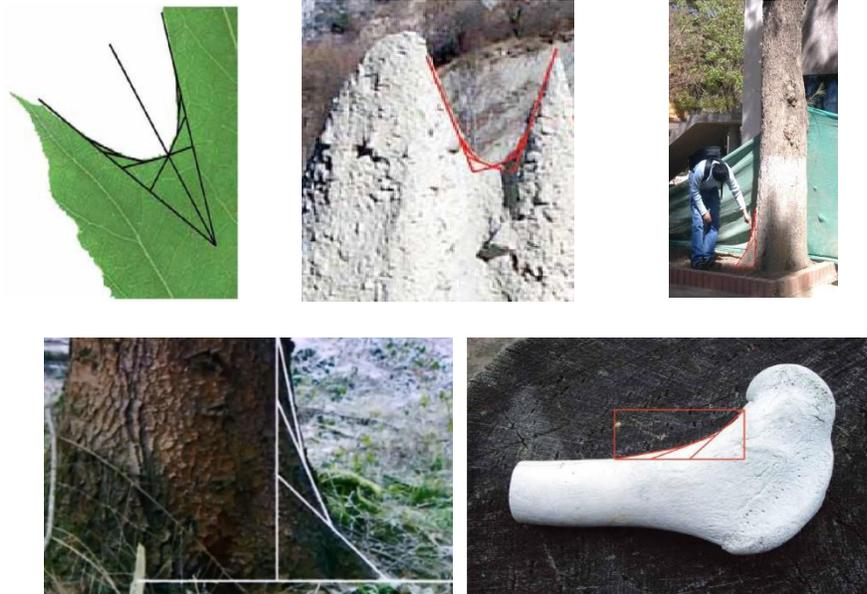


Fig.2.28 Los triángulos de tracción en la

### 2.5.1. MÉTODO DE CONOS DE FUERZA

#### Concepto:

Las cargas axiales se orientan a 90° respecto al cono de compresión y al cono de tensión. Usando los bordes y la intersección de estos conos, se puede generar un diseño ligero.

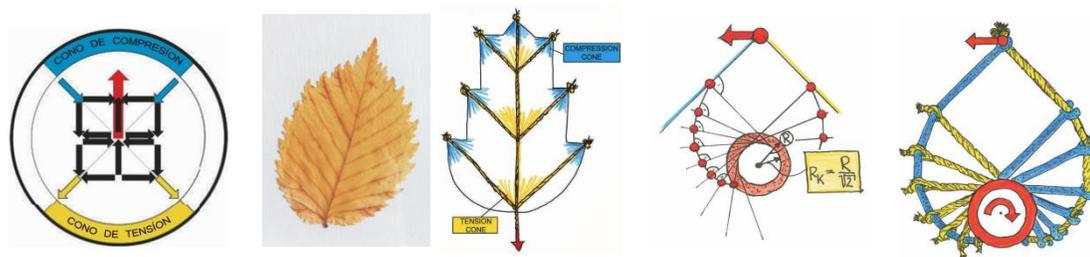


Fig.2.29 conos de tracción y compresión en la naturaleza

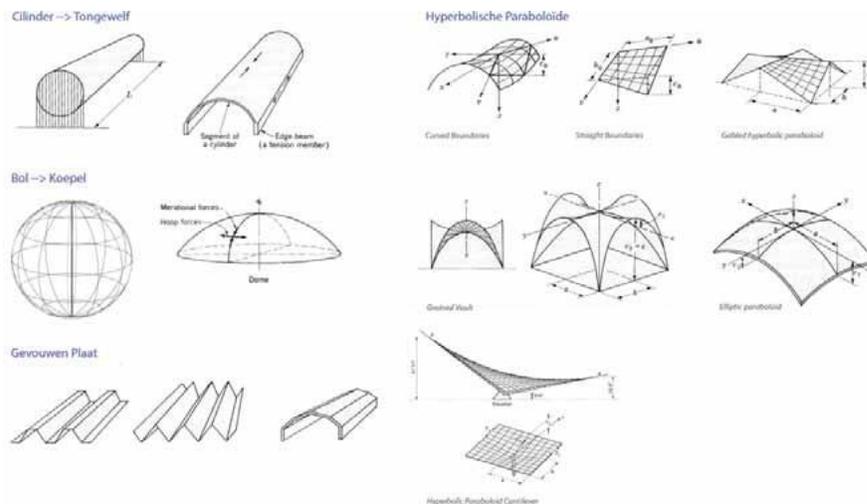


## 2.6. MÉTODO DE DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE FORMAS COMPLEJAS EN HORMIGÓN ARMADO

Los métodos de diseño basados en la información que se recogió de revisión literaria de Formas Complejas en el Hormigón, se clasifican en tres métodos de diseño, los cuales desarrollamos a continuación.

### 2.6.1. FORMAS ANALÍTICAS

Los ingenieros Félix Candela, Eduardo Torroja y Malecón y Luigi Nervi diseñaron, calcularon y construyeron las estructuras de cáscaras de hormigón sumamente delgado y elegante. Sus diseños eran basados en las técnicas matemáticas y se describen por consiguiente como formas analíticas. Las formas matemáticas no sólo eran una manera práctica de describir las formas complejas, sino también eran esenciales para los cálculos estructurales de las cáscaras. Obviamente, el software estructural no estaba disponible para calcular las tensiones y resistencias en las formas complejas. Sin embargo, debido a su naturaleza matemática, las cáscaras pudieron dividirse en los elementos menos complejos como las vigas, arcos o anillos. Esto permitió a los ingenieros hacer predicciones exactas de la conducta estructural y ajustar la geometría, el espesor y/o refuerzo. El problema de las formas analíticas, era limitado en formulación de formas complejas.



Esquema 2.5. Libertad limitada de formas, las formas analíticas. Fuente estructuras de Eino Engel.

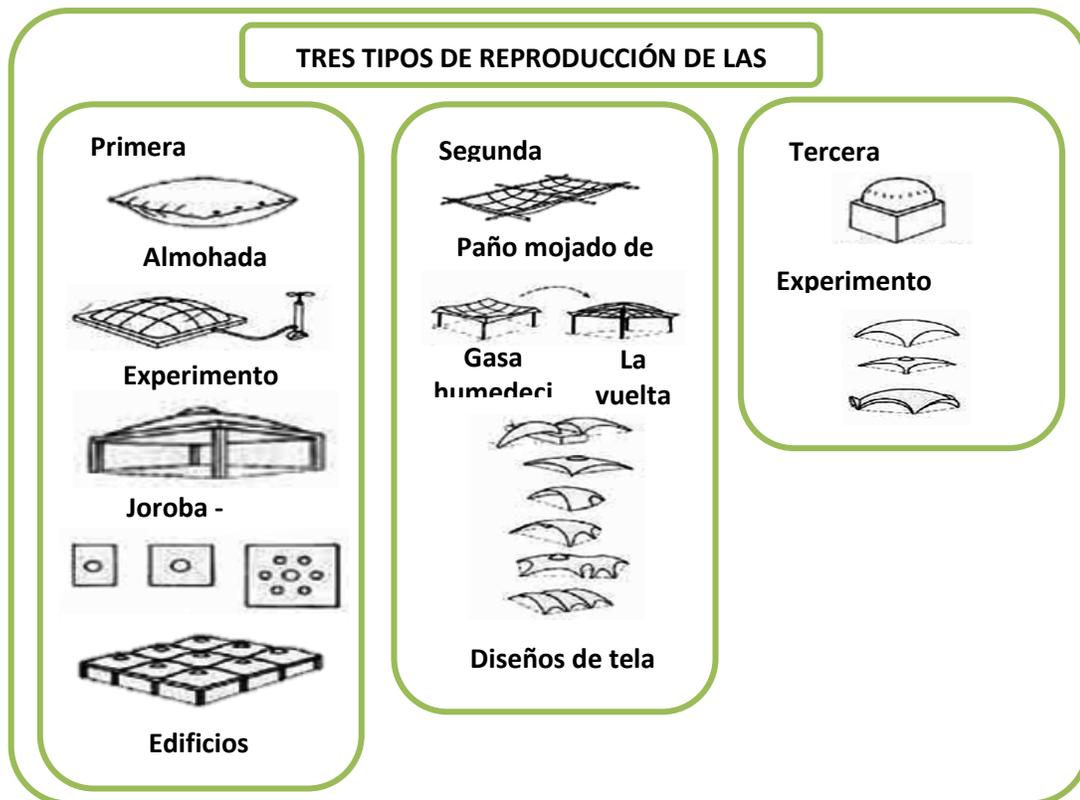


La mayoría de las cáscaras se construyó vertiendo el hormigón en encofrados de madera. La construcción de estos encofrados requirió una gran cantidad de mano de obra de experiencia en el armado artesanal. Podían subdividirse en formas de doble curvatura de elementos lineales, qué lo hizo posible construir un encofrado con tablas rectas.

### **2.6.2. FORMAS EXPERIMENTALES**

En 1950, el ingeniero suizo, Heinz Isler, presentó otra manera de diseñar formas complejas de hormigón. Inspirado en los modelos funiculares de Antoni Gaudí y su resultado en las estructuras, Isler usó los principios de gravedad, presión y la fluidez para crear tres conceptos para diseñar formas experimentales. Esto proporcionó a los arquitectos una serie interminable de formas que eran bellas y estructuralmente eficientes. Isler manejó para calcular las tensiones y resistencias en sus formas experimentales, una novedad experimental también. Él construyó la balanza plana, aplicado una carga y controlando la alteración del modelo. Él aplicó el conocimiento ganado de estos experimentos que le ayudó a diseñar las estructuras a escala real.

El proceso de la construcción de estas formas experimentales era aproximadamente igual al método del encofrado tradicional de madera. Al contrario que con las formas analíticas, el encofrado no podría contener las formas experimentales porque estos no se subdividían en elementos rectos. Esto hizo su construcción más compleja por lo que requiera trabajo intenso. Isler imitó en diseño a grandes estructuras, diseñó un sistema de encofrado ventajoso para los usos múltiples. Él también integró el aislamiento térmico en su sistema encofrado.



Esquema 2.6. Formas experimentales. Fuente internet.

### 2.6.3. FORMAS DIGITALES

Los 1990 aumento la atención en las estructuras de formas complejas de hormigón. El desarrollo rápido de las computadoras y la red de software impulsaron nuevas posibilidades formales y estructurales para los arquitectos e ingenieros.

Estas innovaciones hicieron posible el diseño de formas complejas para un grupo más grande de diseñadores que en años anteriores. Se proporcionó una libertad de diseño que producía una amplia serie de estructuras de formas complejas. Se diseñan las formas digitales usando el CAD (diseño asistido por computadora). Los cálculos estructurales se ejecutan con una facilidad relativa y con gran exactitud, usando FEM en software.

A pesar de la innovación en sistema de encofrados, las estructuras de gran tamaño se siguen construyendo con el sistema 'tradicional' de encofrado de madera.



#### 2.6.4. CONCLUSIONES

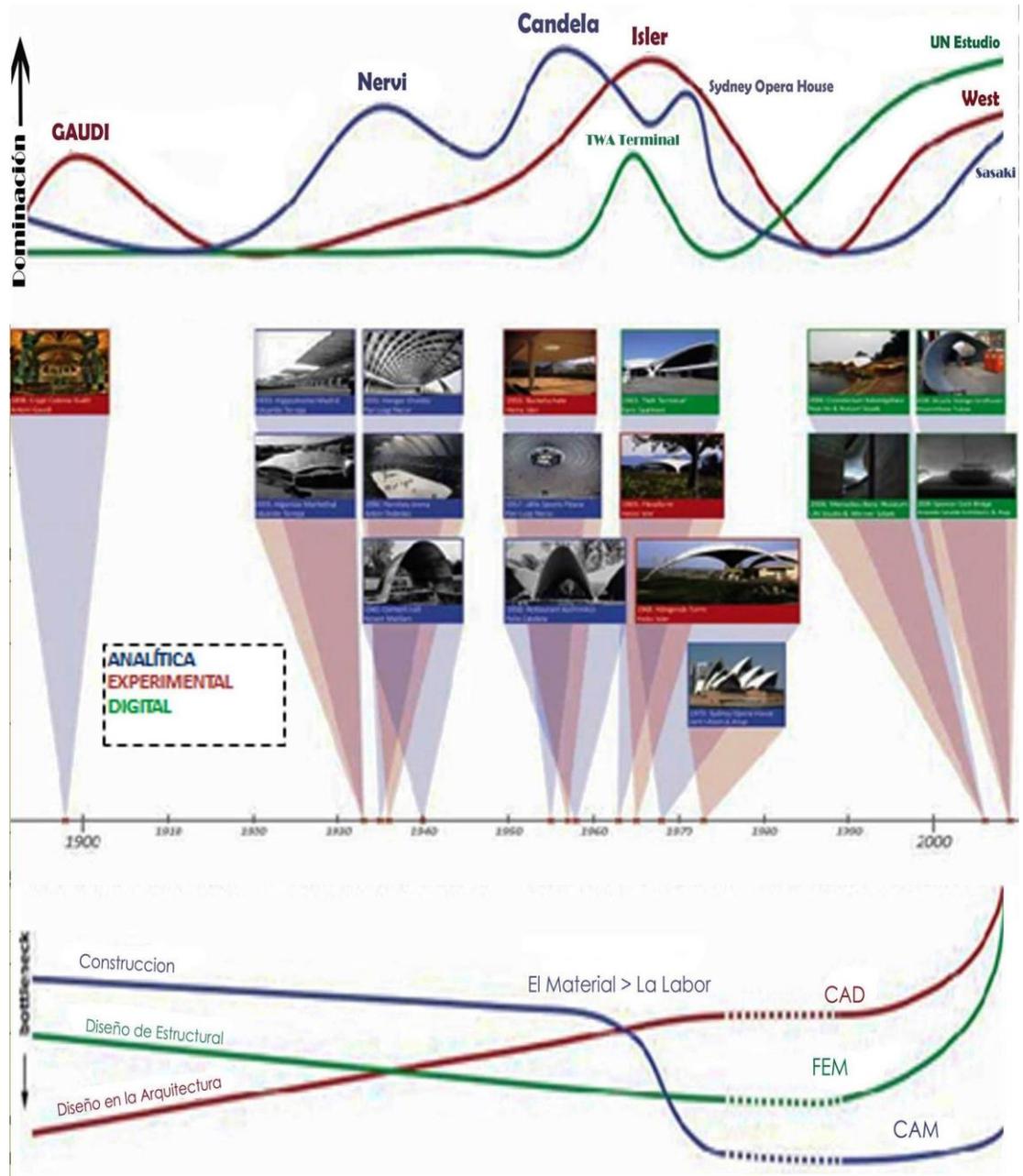
Se considera las tres categorías como tres pasos consecutivos en la evolución de la estructura de formas complejas. Eso implicaría que una forma digital es superior a una forma experimental y ésta a una forma analítica. Si la categoría dominante de formas complejas se proyecta en un tiempo de 20 siglos, la relación entre las tres categorías se pone clara. Las tres categorías han tenido sus puntos altos y bajos en el tiempo, a menudo convergieron en el punto más alto de la carrera del arquitecto o ingeniero. Ellas deben verse como acercamientos diferentes al mismo tema, cada uno con sus propias fuerzas y debilidades.

Los formas analíticas son Matemática pura y por consiguiente implican menos dificultad para calcular; los formularios experimentales son estructuralmente puros y por consiguiente son eficientes y las formas digitales tienen una asombrosa libertad de formas complejas. En 2013, todavía están diseñándose edificios en las tres categorías.

La historia de formas complejas en el hormigón muestra ejemplos exitosos. Son, sin duda, el resultado de un plan favorablemente integrado.

El diseño de la mayoría de las formas complejas contemporáneas está basado en argumentos estético - espaciales. Por consiguiente, el arquitecto es el diseñador principal, mientras que el diseñador estructural y especialista de la construcción cumplen un papel de apoyo. Esta observación lleva al teorema siguiente:

El diseño interdisciplinario debe estimularse, esto puede lograrse haciendo que arquitectos, ingenieros, diseñadores y especialistas de la construcción cooperen en una fase temprana del proceso de diseño del edificio.



Esquema 2.7. Línea de tiempo de las estructuras complejas. Fuente internet.



## 2.7. EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ENCOFRADOS PARA EL HORMIGÓN ARMADO (VENTAJAS).

La construcción de formas complejas utiliza sistemas de encofrados existentes o diseñan nuevos, es necesaria una evaluación de los sistemas existentes, revisión de la información y la descripción de cada sistema para hacer una comparación de cada sistema.

El criterio es el siguiente:

1. **La Libertad de Forma** - Expresa la variedad de posibilidades formales.
2. **La Exactitud de la Forma del Concreto** - Expresa precisión de la forma que toma el concreto.
3. **La calidad de la superficie concreta** - Expresa el acabado superficial del hormigón.
4. **Reutilización del encofrado** - Expresa la posibilidad de reutilización de sistemas enteros o reciclando parte de él.
5. **La intensidad de mano de obra (el encofrado)** - Expresa la fuerza de trabajo que realiza la mano de obra para construir el encofrado.
6. **La habilidad de la mano de obra** - Expresa la necesidad de obreros experimentados para el proceso de armado del encofrado.
7. **El costo** - Expresa el costo de los materiales usados para el sistema del encofrado, respecto al tamaño del edificio.

Los sistemas descritos se evalúan en una ponderación de muy malo (--) a muy bueno (++) en cada uno de estos siete criterios. La valoración de cada sistema está basada en los modelos que se ha estudiado en la revisión de la bibliografía. Los resultados han estado incorporados en un esquema.

El resultado de la tabla en general es:



- Los encofrados de madera se efectúan adecuadamente, pero el trabajo intenso de la mano de obra necesita mano de obra calificada y por consiguiente es caro.
- Lo destacado de los encofrados neumáticos son las propiedades opuestas al de madera; es relativamente fácil para construir formas complejas, pero la libertad de forma es limitada.
- Los encofrados metálicos necesitan un intenso trabajo para armarlo, su libertad de forma es muy limitada.

Esto deja dos interesante sistemas: el encofrado textil y encofrado - EPS

Ambos sistemas tienen algunas propiedades interesantes. Donde el encofrado – EPS tiene una exactitud en la forma de la estructura más alta, el encofrado textil nos ofrece una buena calidad de superficie y es reutilizable. La diferencia más grande es la baja tecnología del encofrado textil, comparado con el sistema EPS – modelado por computadora. Ambos sistemas, al parecer, están por encima del encofrado de madera, metálicos y los sistemas neumáticos.



	MADERA	METÁLICOS	NEUMÁTICA	OTRO		
LA LIBERTAD DE FORMA	FABRICA EN EL LUGAR (CANDERILLO, TORREJA, ETC.) + PARCIALMENTE FABRICA (SIST. TOYO TOY) + TOTALMENTE FABRICA (NERVI) +	ARMADO EN SITIO - PRE FABRICA -	DOMOS CERRADOS - TETA DE HORMIGÓN - SISTEMAS UHIC -	ENCOFRADO-ERS +	ENCOFRADO TEXTIL +	ADAPTA EFICIENCIA EN TECNOLOGIA DE ENCOFRADO DE CONCRETO (PREMOS HOJICIN) +
LA EXACTITUD DE LA FORMA DEL CONCRETO	+	+	+	+	-	+
LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE CONCRETA	+	+	+	+	++	+
REUTILIZACIÓN DEL ENCOFRADO	-	+	-	+	+	+
LA INTENSIDAD DE MANO DE OBRA (EL ENCOFRADO)	-	-	-	+	+	+
LA HABILIDAD DE LA MANO DE OBRA	-	-	-	+	+	+
EL COSTO (MATERIAL DEL ENCOFRADO)	+	+	+	+	+	+

Esquema 2.8. Comparación de Sistemas de encofrados. Fuente internet.



## 2.8. COMPARACIÓN ENTRE EL ENCOFRADO TEXTIL Y EPS

Los sistemas de encofrados para construir las formas complejas en hormigón

### 2.8.1. ENCOFRADO EPS

El encofrado EPS es una solución de alta tecnología al desafío de proyectar formas complejas en hormigón. Un encofrado EPS se agrupa en bloques de polietileno que tiene que ser molido con la forma deseada. Estos bloques se agrupan en el sitio y posteriormente se lanza el hormigón.

El aspecto de alta tecnología del sistema queda en la producción de encofrados en bloque obtenidos de diseños asistidos por computadora y software para el modelo en CAD-3D para obtener la forma deseada. Este modelo digital se traduce en bloques de polietileno que son molidos por un dispositivo controlado por computadora. Este mecanismo de la molienda es complejo y la máquina es cara.

El encofrado EPS tiene varias ventajas por encima de los sistemas de los encofrados tradicionales. La primera es la libertad de formas de gran tamaño. La geometría de los bloques deriva del modelado CAD, así que los errores en el replanteo y la construcción del encofrado son casi imposibles. Diseñando el modelado CAD para el encofrado podrían consumir mucho tiempo, pero este tiempo se recupera en el fácil ensamblado de los bloques en el sitio. Además, el encofrado EPS es de peso ligero y de un material barato que puede reciclarse completamente.



Fig. 2.30. Encofrado EPS. Fuente internet.



### 2.8.2. ENCOFRADO TEXTIL

El encofrado textil no está hecho de un material rígido como madera o polietileno, pero utiliza un tejido flexible. La ventaja de este material flexible es la facilidad con que se pueden crear formas complejas.

Muchas de sus propiedades que se analizaron en el anterior esquema son inherentes al encofrado textil como ser: la calidad de la superficie del encofrado textil que es muy buena, el material de tejido es ligero, relativamente barato y reusable.

### 2.8.3. CONCLUSIONES

El sistema de encofrado EPS está por encima de cualquier otro sistema de encofrado pero sin embargo tiene limitaciones, una de ellas es la necesidad de un complejo equipo. Otra se refiere a la calidad de la superficie del encofrado que no es muy buena, además de que parte del encofrado no se puede reusar o reciclar.

Todas estas desventajas pudieran evitarse usando el encofrado textil. Uno de los puntos más fuertes de este sistema es la libertad de formas complejas, la alta calidad de superficie, puede ser reutilizado. También, el textil es ligero y relativamente barato.

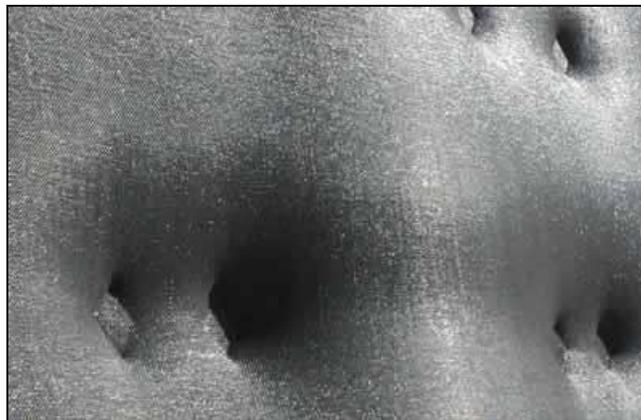


Fig. 2.31. La Calidad de la superficie del encofrado textil. Fuente internet.



## **2.9. GEOTEXTILES**

### **2.9.1. DEFINICIÓN**

Dentro de la denominación genérica de los geosintéticos se encuentran aquellos materiales de deformabilidad apreciable, fabricados a base de materiales sintéticos, que poseen cualidades suficientes para proporcionar una mejora sustancial en una o varias propiedades que se requieren en las obras de ingeniería y geotecnia.

Dentro del grupo de los geosintéticos tenemos los geotextiles que se definen como “Un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser no tejido, tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas”.

### **2.9.2. CLASIFICACIÓN DE LOS GEOTEXTILES**

#### **2.9.2.1. GEOTEXTILES NO TEJIDOS**

Se define como un geotextil plano con fibras, filamentos u otros elementos orientados aleatoriamente, unidos química o mecánicamente por medio de calor, o por combinación de ellos. La orientación aleatoria de sus componentes le confiere un carácter isótropo.

Este tipo se refiere a los geotextiles aplicados en funciones de drenaje, filtración y separación. Se caracterizan por ofrecer una resistencia a tracción no muy elevada y una gran deformabilidad. Además, poseen, generalmente, buenas características hidráulicas.

#### **2.9.2.2. GEOTEXTILES TEJIDOS**

Se define como un geo textil fabricado al entrelazar, generalmente en ángulo recto, dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos, cintas u otros elementos. Se utilizan, principalmente, en aplicaciones de refuerzo del terreno, en terraplenes, taludes y muros. Se caracterizan por ofrecer una resistencia a tracción muy elevada y poca deformabilidad.



### **2.9.2.3. GEOTEXTILES TRICOTADOS**

Se puede definir, aunque no queda muy clara la diferencia con los tejidos, como un geo textil fabricado por el entrelazado de hilos, fibras, filamentos u otros elementos. Es un tipo de geo textil que los fabricantes no ofrecen en sus catálogos ya que se está imponiendo la clasificación dual de tejidos y no tejidos.

### **2.9.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA NATURALEZA DEL POLÍMERO**

#### **2.9.3.1. POLIOLEFINAS (POLIETILENO Y POLIPROPILENO)**

Son los polímeros más utilizados en la fabricación de geotextiles, principalmente el polipropileno (PP) y el polietileno (PE). El primero es un polímero termo- plástico de cadena larga. Se utiliza normalmente en forma isotáctica estereorregular en la que los monómeros de propileno están unidos en la modalidad de cabeza y cola y los grupos metilo están alineados en el mismo lado del núcleo del polímero. El PP tiene una estructura semicristalina que le proporciona una alta rigidez, buenas propiedades a la tracción y resistencia a los ácidos, a los álcalis y a la mayoría de disolventes. La posibilidad de que el carbón terciario pueda reaccionar con radicales libres, obliga a añadir estabilizadores para evitar la oxidación durante la fabricación y mejorar, generalmente, la durabilidad a largo plazo, incluyendo la estabilidad a los agentes climáticos.

#### **2.9.3.2. POLIAMIDAS**

Las poliamidas (PA) o nilones son termoplásticos procesables fundidos que contienen un grupo amida como parte repetitiva de la cadena. Las poliamidas ofrecen una combinación de propiedades que incluyen una alta resistencia a temperaturas elevadas, ductilidad, una buena resistencia a la abrasión y al desgaste, bajas propiedades friccionales, una baja permeabilidad a los gases e hidrocarburos y una buena resistencia química. Sus limitaciones incluyen una tendencia a absorber humedad, con el resultado de la producción de cambios en las propiedades mecánicas y dimensionales y una resistencia limitada a los ácidos y a los agentes climáticos.



### **2.9.3.3. POLIÉSTERES**

Son un grupo de polímeros. El tipo empleado con más frecuencia en geotextiles es el polietiléntereftalato (PET) que es un polímero de condensación de un ácido dibásico y un dialcohol. Puesto que se utiliza por debajo de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), el PET ofrece buenas propiedades mecánicas incluyendo una baja razón de deformación por fluencia y buena resistencia química a la mayoría de ácidos y a muchos disolventes.

### **2.8.4. CLASIFICACIÓN SEGÚN LA PRESENTACIÓN DEL POLÍMERO**

#### **2.8.4.1. GEOTEXTIL DE FIBRAS CORTAS**

El polímero para fabricar el geotextil se presenta en forma de pequeñas fibras cortadas de una longitud entre 2 y 15 centímetros. Las técnicas de unión de las fibras son las ya comentadas anteriormente: mecánica (mediante agujado), térmica (mediante calor más presión) y química (mediante resina). Ahora bien, es muy importante controlar el origen de las fibras utilizadas. El proceso ideal es el corte sistemático de rollos de polímero producido en una planta industrial; de esta forma, se puede asegurar tanto la composición como la naturaleza de las fibras.

#### **2.8.4.2. GEOTEXTIL DE FILAMENTO CONTINUO**

El polímero para fabricar el geotextil se presenta en forma de rollos de filamento continuo. Las técnicas de unión de los filamentos son, al igual que las fibras cortas, las siguientes: mecánica (mediante agujado), térmica (mediante calor más presión) y química (mediante resina). El proceso de fabricación tiene tres fases bien diferenciadas:

- Fabricación del polímero. Se mezclan en un depósito las materias primas que componen el polímero con los distintos aditivos que se desea que incorpore el producto terminado. Esta mezcla se extruye para que tome una forma de hilo. Los hilos resultantes se conducen hasta los equipos de unión de filamentos.
- Unión de filamentos mediante las técnicas comentadas. Los filamentos se unen como se ha explicado anteriormente, utilizando una o varias de las técnicas descritas.



–Formación de la estructura plana y empaquetamiento. Tras unir los filamentos, se le proporciona una configuración plana mediante un estirado. El producto ya terminado se empaqueta en rollos de distintas anchuras y longitudes según el fabricante.

### 2.8.5. FUNCIONES

Los geotextiles se caracterizan por desarrollar varias funciones simultáneas una vez colocados en el terreno. Esta propiedad les garantiza una posición ventajosa frente a otros sistemas o productos que existen en el mercado:

- **Filtración:** El geotextil retiene las partículas de grano fino al fluir el agua de la capa de grano fino a la capa de grano grueso.
- **Separación:** Separa dos capas de suelo de diferentes propiedades físicas (granulometría, plasticidad, consistencia) y así evita la mezcla de materiales.
- **Drenaje:** El geotextil conduce y evacua líquidos (agua) e incluso gases en su mismo plano.
- **Refuerzo:** Aumenta la capacidad portante (resistencia al corte) del suelo y la estabilidad en la construcción.
- **Protección:** El geotextil protege a membranas y otros productos relacionados contra ataques físicos (perforaciones y desgaste).

**CAPÍTULO III:  
MATERIALES Y  
MÉTODOS**



### 3.1. Metodología de investigación (exploratoria).

**Investigaciones EXPLORATORIAS:** como su nombre lo indica, permite acercarnos a un tema que ha sido poco examinado y reconocido, sobre el cual no es posible formular hipótesis, o nos conduce a obtener conocimiento de un nuevo fenómeno del cual no hay todavía una descripción o registro sistemático. En síntesis, este tipo de investigaciones proponen una visión general, aproximativa y obedece a que el tema o problema escogido tiene las siguientes características o fines:

- Poco estudiado.
- No existe conocimiento tal que permita formular hipótesis precisas o descripción sistemática.
- Se recomienda a la aparición de nuevos fenómenos.

Desde el punto de vista del método de análisis, la investigación se centra en dos temas de estudio:

- La Biomímesis es uno campos de estudio centrales ya que es la base conceptual de diseño y la imitación de la naturaleza. Donde se hace una historiación de la Biomímesis en la arquitectura, donde se realiza un estudio de métodos de diseño basados en la Biomímesis de estructuras arquitectónicas.
- Los encofrados flexibles es otro de los pilares principales de la investigación, para poder plasmar en estudio de la forma mediante maquetas a escala con encofrados flexibles. Se analiza los varios métodos de encofrado de alta eficiencia para estructuras arquitectónicas en hormigón.

### 3.2. Materiales Y Métodos

Los materiales que se necesitaran para realizar los experimentos son:

- Software (programa CAD)
- Geo-textil
- Yeso (elaboración de maquetas a escala)



- Impresora
- Máquina de costurar
- Prensas de carpintería
- Madera en laminas

### 3.3. Cronograma de actividades

Revisión	Fecha	Tema	Actividad Planeada	Metodología	Lugar	Actividad Realizada
1	Mayo Semana 1 y 2	Definición de temas, alcances y delimitación	Presentación y entrega de la delimitación del tema.	Presentación en Word	Sala de docentes	
2	Mayo semana 2 y 3	Marco general y metodología	Presentación de la problemática, justificación, objetivos, hipótesis y metodología	Presentación en Word	Sala de docentes	
3	Julio Semana 1	Marco teórico	Presentación de conceptos y antecedentes	Presentación en Word	Sala de docentes	
4	Julio Semana 2	Conceptos de Biomimesis, Morfología de la naturaleza taxonomía de la naturaleza	Presentación de conceptos estudiados	Presentación en Word, diagramas y gráficos	Sala de docentes	
5	Julio Semana 3	Métodos y materiales	Presentación de materiales necesarios para realizar la investigación, inicio del experimento	Presentación en Word con ejemplos gráfico	Sala de docentes	
6	Julio	Desarrollo del experimento	Presentación de los primeros modelos a escala	Presentación en Word	Sala de docentes	
7	Julio	Defensa de la primera fase	Defensa de la primera parte de la planificación	Presentación paneles	Aula tic	

TAB. 3.1. Cronología de actividades. Fuente: Elaboración propia



**PLANEACIÓN DE Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

Revisión	Fecha	Tema	Actividad Planeada	Metodología	Lugar	Actividad Realizada
1	08-08-15	Cronograma de trabajo y columna de 2 ramales	Presentación cronograma de trabajo y columna de dos ramales	Presentación en Word y modelo a escala	Sala de docentes	
	16 - 08 - 14	columna arborescente de 2 ramales	armado del encofrado de la columna arborescente de dos ramales y diseño, corte y costura de la tela	Modelos a escala	domicilio	
	20 - 08 - 14	columna arborescentes de 3 ramales	diseño y Armado de la columna de 3 ramales y diseño, corte y costura de la tela	Modelos a escala	domicilio	
	26 - 08 - 14	columna arborescente de 4 ramales	armado del encofrado de columna arborescente de 4 ramales y diseño, corte y costura de la tela	Presentación de modelos a escala	Sala de docentes	
3	6 - 09 - 14	viga en voladizo y con dos apoyos	Diseño y armado de la viga en voladizo y con dos apoyos y diseño, corte y costura de la tela	Modelo a escala	domicilio	
	14 - 09 - 14	Columna ramificada	diseño y Armado de la columna de ramificada y diseño, corte y costura de la tela	Modelos a escala	domicilio	
	21 - 09 - 14	Pórtico articulado	Diseño y armado del encofrado del pórtico articulado	modelos a escala	Sala de docentes	
4	24 - 09 - 14	Alternativas morfológicas de estructuras arquitectónicas	Diseño mediante una grilla de las alternativas morfológicas de las estructuras	Modelos a escala	domicilio	
	26 - 09 - 14	presentación	Presentación de las alternativas morfológicas	Presentación de la alternativas	Sala de docentes	
	30 - 09 - 14	presentación	Presentación de modelos a escala	Presentación en modelos a escala	Sala de docentes	

3.2. Cronograma de trabajo de la segunda etapa - elaboración propia

**CAPÍTULO IV:**  
**RESULTADOS Y ANÁLISIS**  
**TIPOLÓGICO DE LA**  
**FORMAS**



#### **4.1. DATOS OBTENIDOS**

Día a día, la complejidad de la vida moderna ha desarrollado actividades humanas nuevas y consecutivamente nuevos problemas espaciales que años atrás no existían. Ahora el objetivo de los arquitectos no es cubrir grandes y medianas luces, sino hacerlo de forma más segura y con menores costos, y buscando nuevas espacialidades y nuevos significados, a partir de una arquitectura que desde su esencia propia sea coherente con el pensamiento contemporáneo, con la complejidad de nuestro momento.

En los espacios de medianas y grandes luces es necesaria la búsqueda de estructuras cada vez más livianas. La reducción de material en la construcción de estructuras, sin reducir la seguridad, el confort y la calidad de las mismas, es uno de los factores que más afectan su costo final, y es también uno de los factores que permite la investigación de nuevos espacios y nuevas soluciones, como lo es la arquitectura dinámica.

*La naturaleza y la geometría ramificada* de las estructuras arborescentes está implícita en la misma naturaleza, en donde el follaje de un árbol es considerado como una cubierta y el sistema de transmisión de cargas va desde todos los puntos de aplicación de fuerzas (las hojas, flores y frutos) por medio de la bifurcación de sus ramas hasta el único apoyo en el suelo (la raíz).

#### **4.2. COLUMNA ARBORESCENTE DE DOS RAMALES (Y2)**

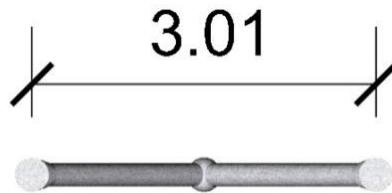
Las columnas arborescentes de dos ramales imitan a un árbol en la naturaleza donde las ramas transmiten las cargas al tronco y este al suelo. La Biomímesis estudia al árbol en su forma y su función, el árbol aumenta madera en los lugares de mayor tensión.

En la biomecánica nos dice que el árbol siente como deben crecer, el árbol mide su estado y nota donde sufre determinadas tensiones, posee sensores mecánicos ya que sin ello no podría hacerlo, entonces recarga esa zona con anillos más gruesos hasta lograr compensar esa tensión.

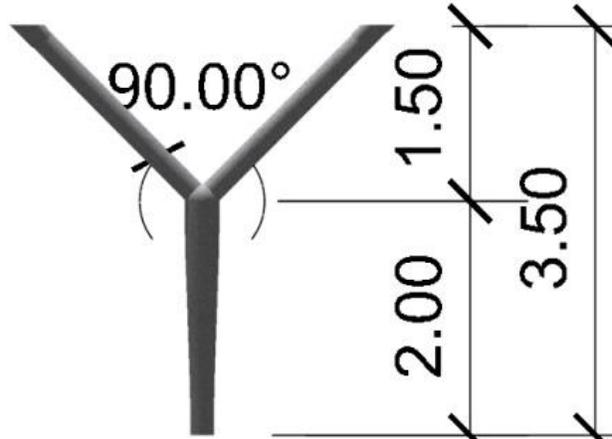


#### 4.2.1. PRIMERA ALTERNATIVA DE Y2

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia de nudo con la base y como de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros en relación con la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 1.5 metros de distancia.



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL



PERSPECTIVA

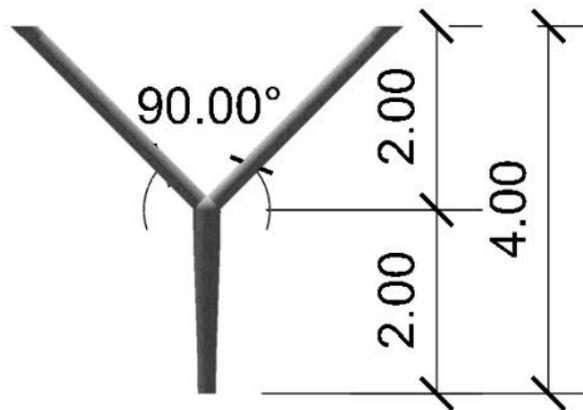


#### 4.2.2. SEGUNDA ALTERNATIVA DE Y2

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia de nudo con la base y como de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros en relación con la base y el nudo, en relación a los ramales se encuentra a 2 metros de distancia, el nudo está al medio de la columna arborescente.



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

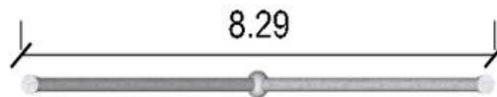


PERSPECTIVA

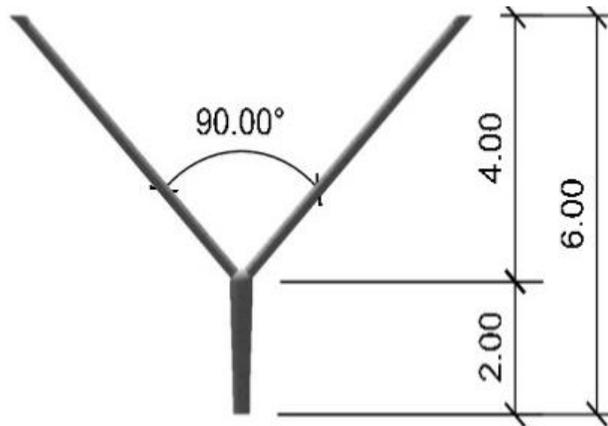


### 4.2.3. TERCERA ALTERNATIVA DE Y2

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia de nudo con la base y como de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros en relación con la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 4 metros de distancia, esta alternativa se caracteriza por los ramales que tienen mayor altura que el tronco principal de la columna arborescente.



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

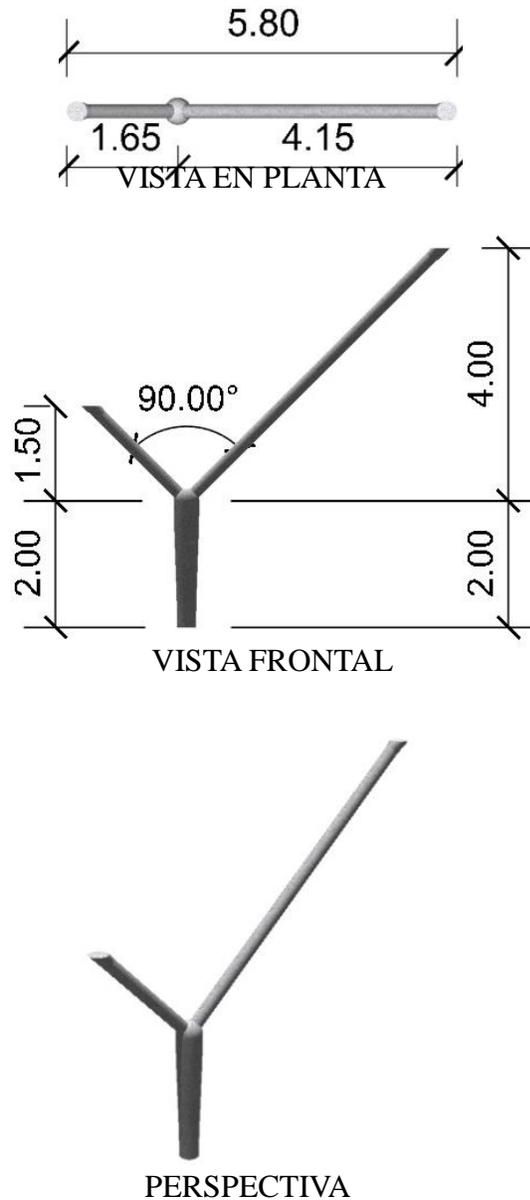


PERSPECTIVA



#### 4.2.4. CUARTA ALTERNATIVA DE Y2

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia de nudo con la base y como de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 1.5 y 4 metros de distancia, esta alternativa se caracteriza por tener ramales de diferentes alturas.





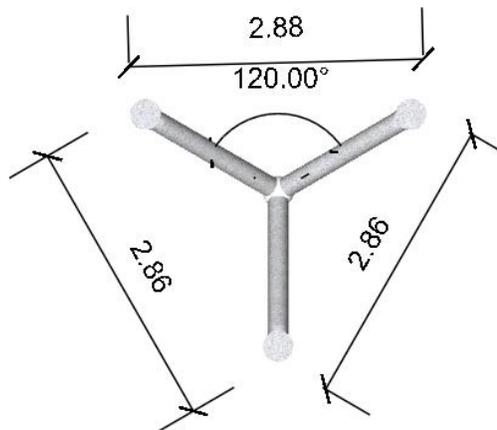
### 4.3. COLUMNA ARBORESCENTE DE TRES RAMALES (Y3)

Las columnas arborescentes de tres ramales imitan a un árbol en la naturaleza, donde las ramas transmiten las cargas a tronco y este al suelo. La Biomímesis estudia al árbol en su forma y su función, el árbol aumenta madera en los lugares de mayor tensión.

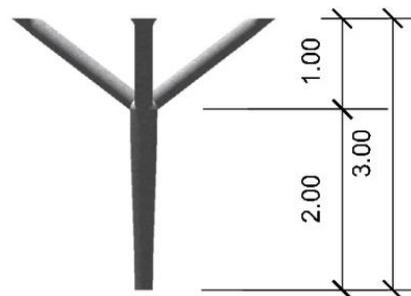
La biomecánica nos dice que el árbol siente como debe crecer, el árbol mide su estado y nota donde sufre determinadas tensiones, posee sensores mecánicos ya que sin ello no podría hacerlo, entonces recarga esa zona con anillos más gruesos hasta lograr compensar esa tensión.

#### 4.3.1. PRIMERA ALTERNATIVA DE Y3

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia del nudo con la base y de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 1 metro de distancia y el ángulo entre ramales es de  $120^\circ$ .



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

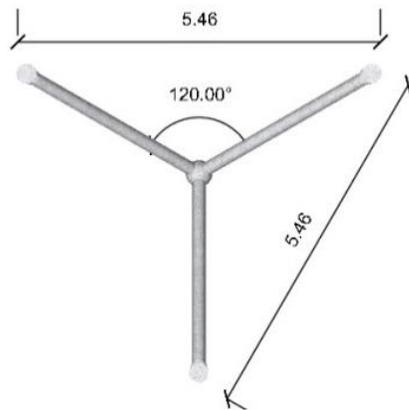


PERSPECTIVA

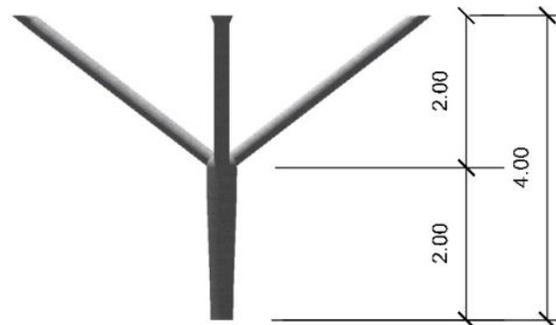


### 4.3.2. SEGUNDA ALTERNATIVA DE Y3

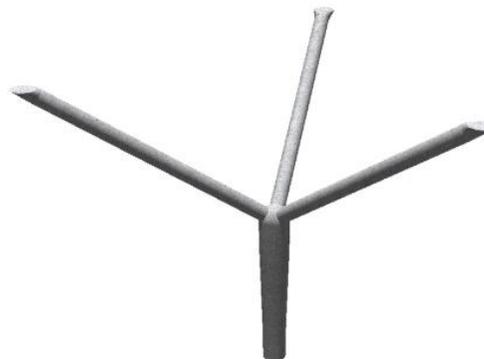
En esta alternativa se toma en cuenta la distancia del nudo con la base y de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 2 metros de distancia y el ángulo entre ramales es de  $120^\circ$ .



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

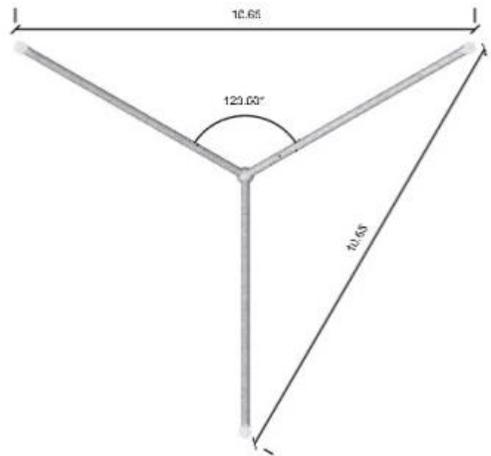


PERSPECTIVA

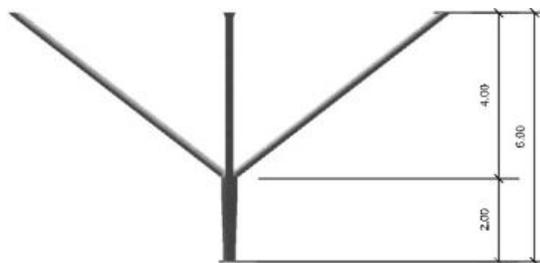


### 4.3.3. TERCERA ALTERNATIVA DE Y3

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia del nudo con la base y de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 4 metros de distancia y el ángulo entre ramales es de  $120^\circ$ .



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

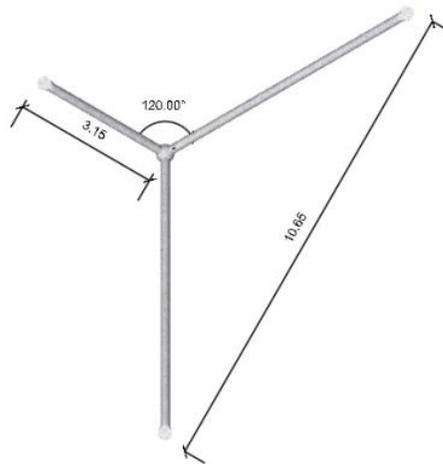


PERSPECTIVA

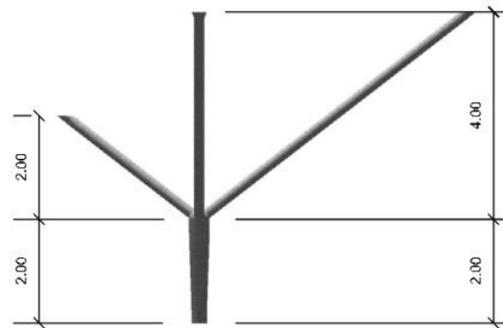


#### 4.3.4. CUARTA ALTERNATIVA DE Y3

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia del nudo con la base y de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 1 metro de distancia y el ángulo entre ramales es de  $120^\circ$ .



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

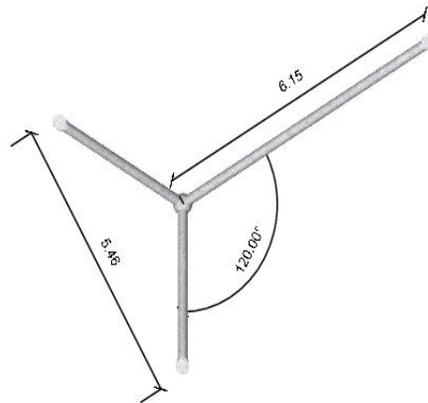


PERSPECTIVA

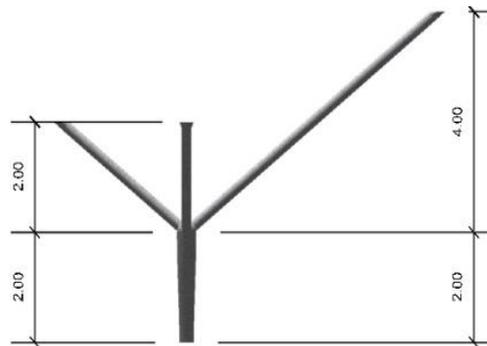


#### 4.3.5. QUINTA ALTERNATIVA DE Y3

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia del nudo con la base y de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 1 metro de distancia y el ángulo entre ramales es de  $120^\circ$ .



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL



PERSPECTIVA



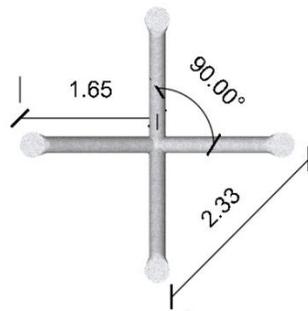
#### 4.4. COLUMNA ARBORESCENTE DE CUADRO RAMALES (Y4)

Las columnas arborescentes de cuatro ramales imitan a un árbol en la naturaleza, donde las ramas transmiten las cargas al tronco y este al suelo. La Biomímesis estudia al árbol en su forma y su función, el árbol aumenta madera en los lugares de mayor tensión.

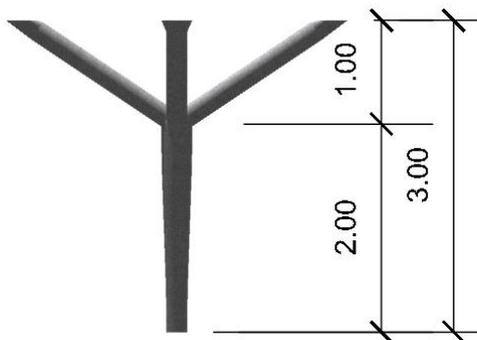
La biomecánica nos dice que el árbol siente como debe crecer, el árbol mide su estado y nota donde sufre determinadas tensiones, posee sensores mecánicos ya que sin ello no podría hacerlo, entonces recarga esa zona con anillos más gruesos hasta que logra compensar esa tensión.

##### 4.4.1. PRIMERA ALTERNATIVA DE Y4

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia del nudo con la base y de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 1 metro de distancia y el ángulo entre ramales es de  $90^\circ$ .



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

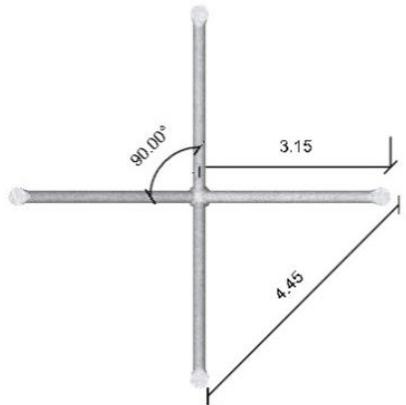


PERSPECTIVA

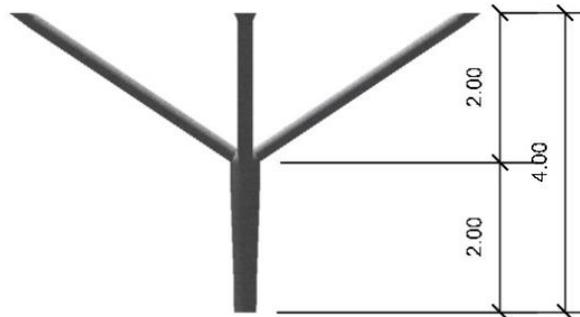


#### 4.4.2. SEGUNDA ALTERNATIVA DE Y4

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia del nudo con la base y de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 2 metros de distancia, y el ángulo entre ramales es de  $90^\circ$ .



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

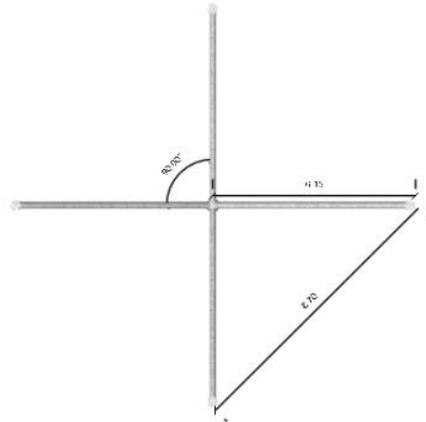


PERSPECTIVA



#### 4.4.3. TERCERA ALTERNATIVA DE Y4

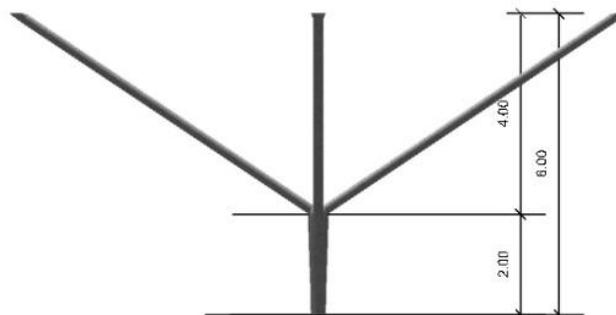
En esta alternativa se toma en cuenta la distancia del nudo con la base y de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 4 metros de distancia y el ángulo entre ramales es de  $90^\circ$ .



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

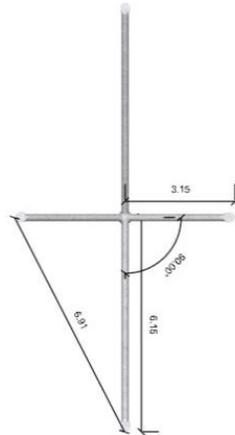


PERSPECTIVA

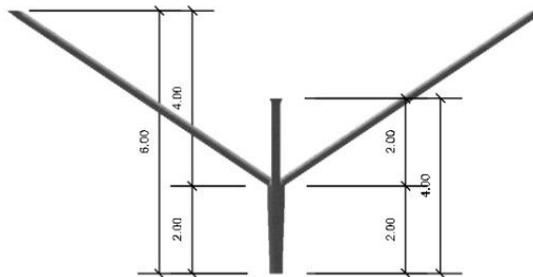


#### 4.4.4. CUARTA ALTERNATIVA DE Y4

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia del nudo con la base y de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 2 y 4 metros de distancia y el ángulo entre ramales es de  $90^\circ$ .



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

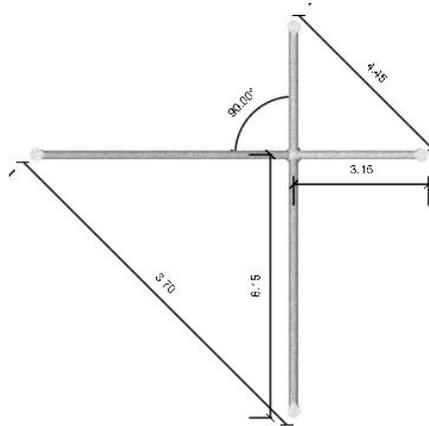


PERSPECTIVA

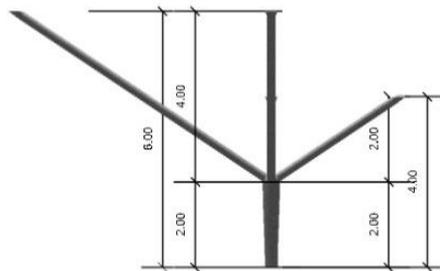


#### 4.4.5. QUINTA ALTERNATIVA DE Y3

En esta alternativa se toma en cuenta la distancia del nudo con la base y de igual forma el nudo con los ramales, el nudo se encuentra a una distancia de 2 metros con relación a la base y el nudo con relación a los ramales se encuentra a 2 y 4 metros de distancia y el ángulo entre ramales es de 90°.



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL



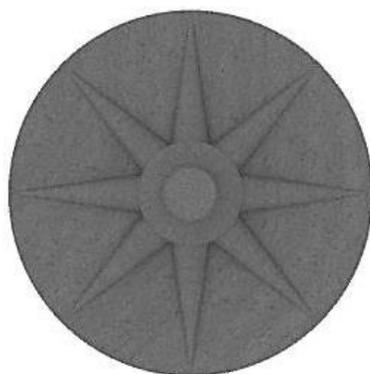
PERSPECTIVA



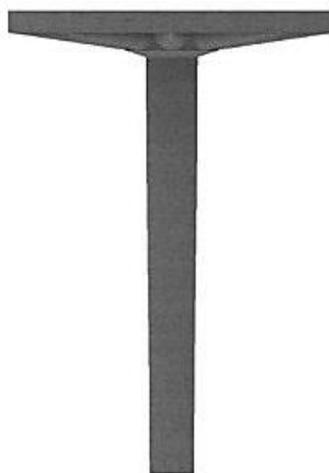
#### 4.5. COLUMNA CON RAMIFICACIONES

La columna ramificada está inspirada en el lirio gigante del amanzanas, en la Biomímesis de esta especie se toma en cuenta la parte de resistencia estructural.

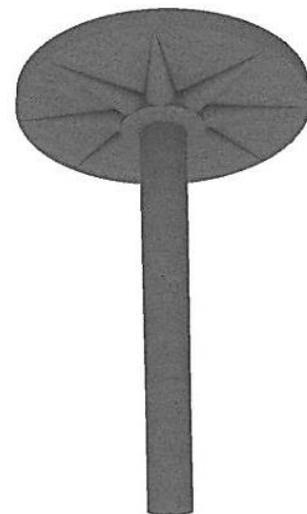
El lirio gigante de agua se mueve lentamente por el agua para recolectar (luz). Debajo, se fortalece con las vigas- costillas que constituyen toda la estructura rígida. También contienen acondicionadores de espacios dentro de los que se mantienen a flote. La parte inferior de la hoja es un color púrpura y blindada con abundantes puntas afiladas, tal vez como una defensa contra los peces que se alimentan de hojas.



Vista inferior



Vista frontal



Perspectiva

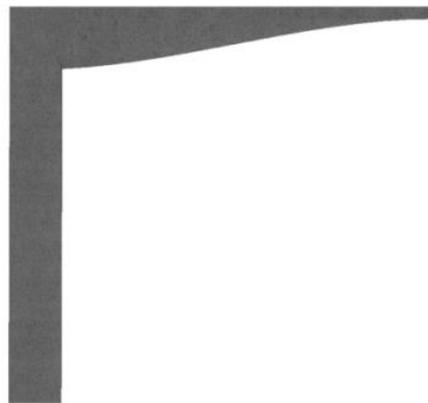


#### 4.6. VIGA EN VOLADIZO

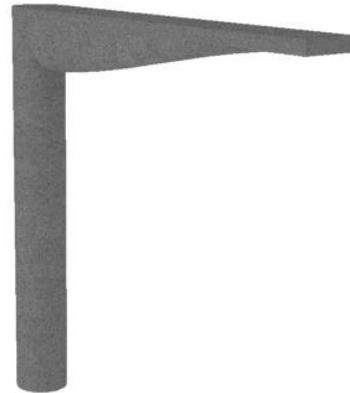
La viga en voladizo toma en cuenta para su diseño a la naturaleza y el comportamiento estructural de la misma. En las hojas su mayor peso se concentra en su peciolo ('madre') o nervio central donde se centraliza todo su peso y actúa como un sistema estructural para distribuir las cargas. Su tarea de las hojas es mantener una posición para interceptar la luz solar. Las venas sobresalen hacia abajo para trabajen a compresión.



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL



PERSPECTIVA



#### 4.7. VIGA CON DOS APOYOS

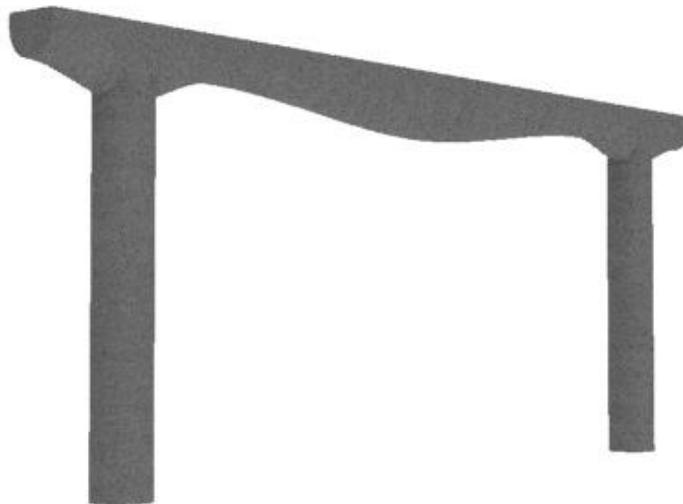
La viga con dos apoyos está inspirada en la forma de los huesos de los seres vivos y como resisten el peso de la masa muscular de los mismos. La morfología que toman los huesos es por razones de resistencias a los esfuerzos que sufren y el mínimo de material que deben contener. Los elementos de refuerzo en los huesos son las células, que son vigas cilíndricas huecas.



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL



PERSPECTIVA



#### 4.8. CERCHA ARTICULADA

La cercha está inspirada en los árboles que crecen juntos de forma espiral.

En las selvas tropicales, con su gran variedad de especies, nos encontramos con una multitud de ideas mecánicas para la construcción. También encontramos troncos delgados que se unen apoyándose unos en otros, formando una espiral ascendente. Se puede observar que las plantas compiten por la luz en su parte superior como si se tratara de medios técnicos sofisticados.



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL



PERSPECTIVA

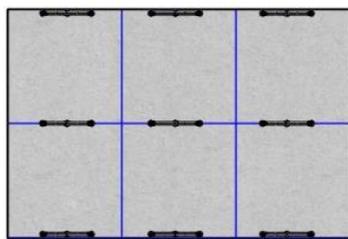


#### 4.9. ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN Y FUNCIÓN DE COLUMNAS ARBORESCENTES DE DOS RAMALES (Y2)

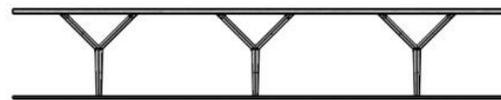
Las alternativas de columnas arborescentes son ubicadas en una grilla regular donde se toma en cuenta las diferentes alternativas de columnas de Y2. La alternativa de ubicación es una base de diseño general que puede ser modificada.

##### 4.9.1. PRIMERA ALTERNATIVA DE Y2.

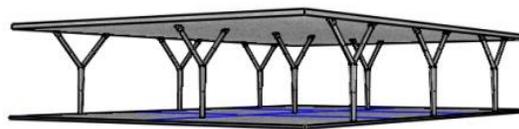
ALTURA DE RAMALES ES DE 1.5 M



VISTA EN PLANTA



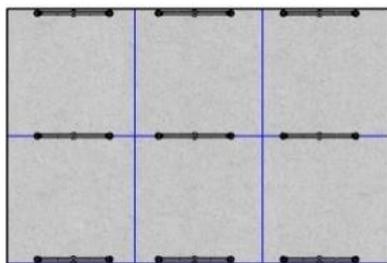
VISTA FRONTAL



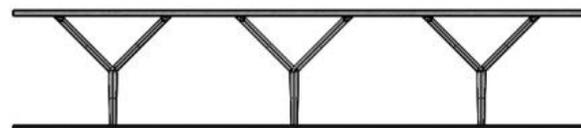
PERSPECTIVA

##### 4.9.2. SEGUNDA ALTERNATIVA DE Y2.

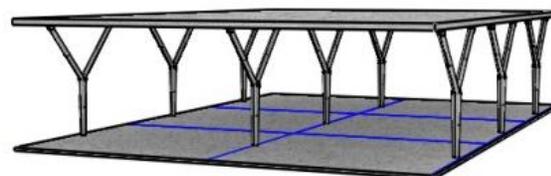
ALTURA DE RAMALES ES DE 2 M



VISTA EN PLANTA



VISTA FRONTAL

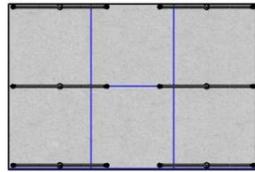


PERSPECTIVA

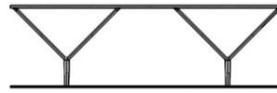


### 4.9.3. TERCERA ALTERNATIVA DE Y2.

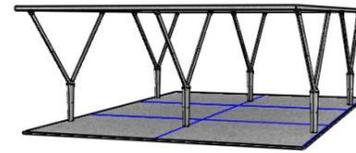
ALTURA DE RAMALES ES DE 4 Mts



Vista en planta



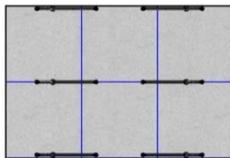
Vista frontal



Perspectiva

### 4.9.4. CUARTA ALTERNATIVA DE Y2

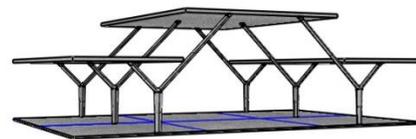
ALTURA DE RAMALES ES DE 4 M Y 2 M



Vista en planta



Vista frontal

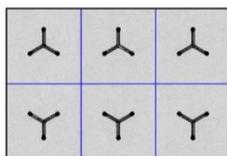


Perspectiva

## 4.10. ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN Y FUNCIÓN DE COLUMNAS ARBORESCENTES DE TRES RAMALES (Y3)

### 4.10.1. PRIMERA ALTERNATIVA DE Y3

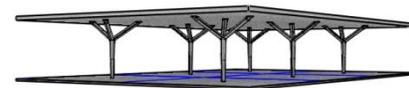
ALTURA DE RAMALES ES DE 1.5 M



Vista en planta



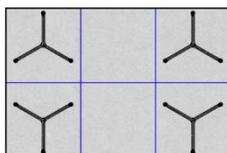
Vista frontal



Perspectiva

### 4.10.2. SEGUNDA ALTERNATIVA DE Y3

ALTURA DE RAMALES ES DE 2 M



Vista en planta



Vista frontal

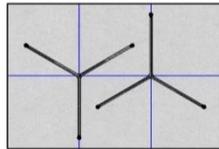


Perspectiva

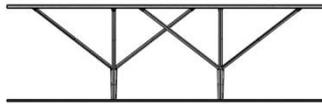


### 4.10.3. TERCERA ALTERNATIVA DE Y3

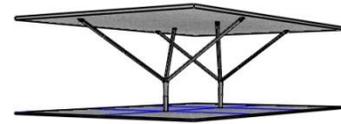
ALTURA DE RAMALES ES DE 4 M



Vista en planta



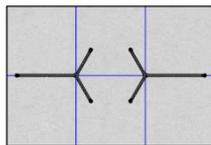
Vista frontal



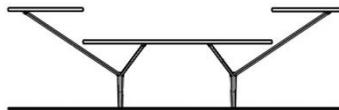
Perspectiva

### 4.10.4. CUARTA Y QUINTA ALTERNATIVA DE Y3

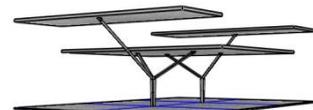
ALTURA DE RAMALES ES DE 4 M Y 2 M



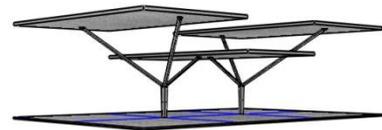
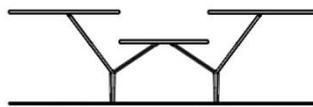
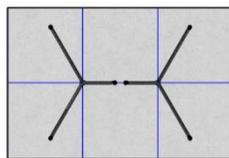
Vista en planta



Vista frontal



Perspectiva



### 4.11. ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN Y FUNCIÓN DE COLUMNAS ARBORESCENTES DE CUADRO RAMALES (Y4)

#### 4.11.1. PRIMERA ALTERNATIVA DE Y4

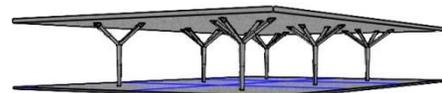
ALTURA DE RAMALES ES DE 1.5 M



Vista en planta



Vista frontal

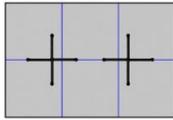


Perspectiva



**4.11.2. SEGUNDA ALTERNATIVA DE Y4**

**ALTURA DE RAMALES ES DE 2 M**



Vista en planta



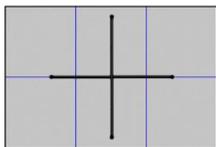
Vista frontal



Perspectiva

**4.11.3. TERCERA ALTERNATIVA DE Y4**

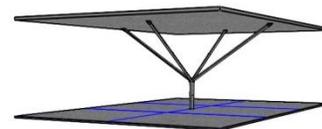
**ALTURA DE RAMALES ES DE 4 M**



Vista en planta



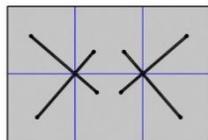
Vista frontal



Perspectiva

**4.11.4. CUARTA Y QUINTA ALTERNATIVA DE Y4**

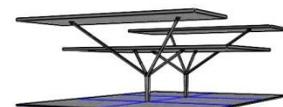
**ALTURA DE RAMALES ES DE 4 M Y 2 M**



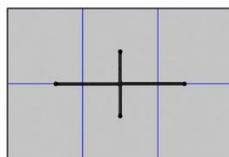
Vista en planta



Vista frontal



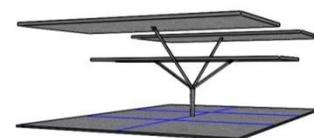
Perspectiva



Vista en planta



Vista frontal



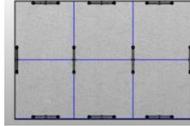
Perspectiva



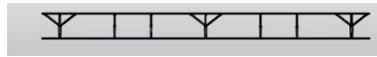
## 4.12. ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN Y FUNCIÓN DE COLUMNAS ARBORESCENTES EN GRILLA TRIANGULAR Y HEXAGONAL.

### 4.12.1. PRIMERA ALTERNATIVA DE COLUMNAS Y1

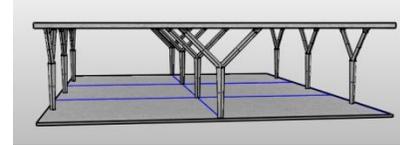
ALTURA DE RAMALES ES DE 1.5 M GRILLA REGULAR



Vista en planta



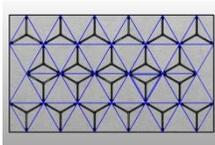
Vista frontal



Perspectiva

### 4.12.2. SEGUNDA ALTERNATIVA DE COLUMNAS Y3

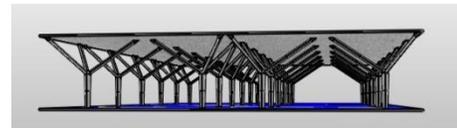
ALTURA DE RAMALES ES DE 2 M GRILLA HEXAGONAL



Vista en planta



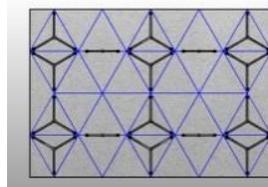
Vista frontal



Perspectiva

### 4.12.3. TERCERA ALTERNATIVA DE COLUMNAS Y3 Y Y2

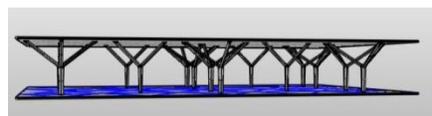
ALTURA DE RAMALES ES DE 2 M GRILLA TRIANGULAR



Vista en planta



Vista frontal

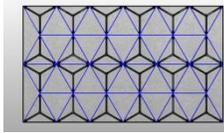


Perspectiva

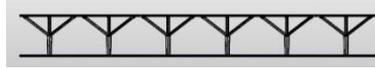


#### 4.12.4. CUARTA Y QUINTA ALTERNATIVA DE Y3

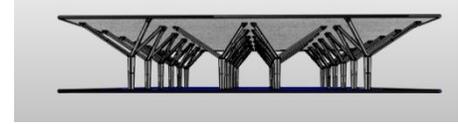
ALTURA DE RAMALES ES DE 2 M GRILLAS HEXAGONAL



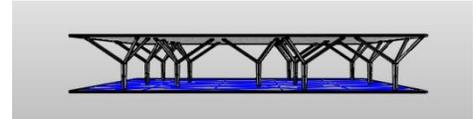
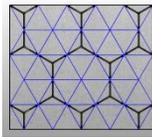
Vista en planta



Vista frontal



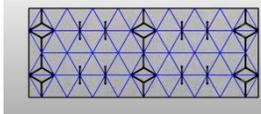
Perspectiva



#### 4.13. ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN Y FUNCIÓN DE COLUMNAS ARBORESCENTES EN GRILLA TRIANGULAR, HEXAGONAL E IRREGULAR.

##### 4.13.1. PRIMERA ALTERNATIVA DE COLUMNAS Y1

ALTURA DE RAMALES ES DE 1.5 M GRILLA REGULAR



Vista en planta

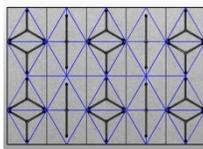


Vista frontal



Perspectiva

##### 4.13.2. SEGUNDA ALTERNATIVA DE COLUMNAS Y3 ALTURA DE RAMALES ES DE 2 M GRILLA HEXAGONAL



Vista en planta



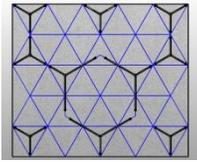
Vista frontal



Perspectiva



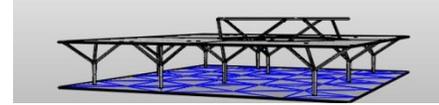
#### 4.13.3. TERCERA ALTERNATIVA DE COLUMNAS Y3 Y Y2 ALTURA DE RAMALES ES DE 2 M GRILLA TRIANGULAR



Vista en planta

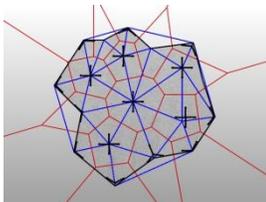


Vista frontal



Perspectiva

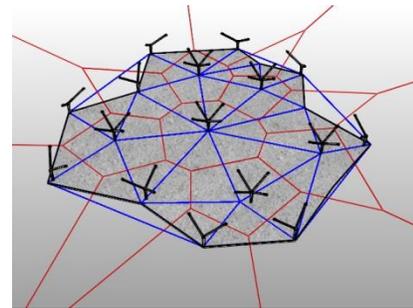
#### 4.13.4. CUARTA Y QUINTA ALTERNATIVA DE Y3 ALTURA DE RAMALES ES DE 2 M GRILLAS HEXAGONAL



Vista en planta



Vista frontal



Perspectiva

#### 4.14. ANÁLISIS TIPOLOGICO

Las morfologías de las estructuras arquitectónicas en base a la ciencia de la Biomímesis y su construcción en encofrados textil, son estructuras más eficientes en el uso de materiales y utilizando encofrados textil se usa menos madera y esto disminuye la utilización de este material en la construcción.

Las estructuras prismáticas tienen pocas alternativas, al utilizar las estructuras bioinspiradas encontramos una variedad de alternativas que son más eficientes en el uso de materiales y distribución de las cargas.

En la utilización de los conceptos de las biomecánicas se logra una mayor eficiencia en la parte conceptual del diseño estructural.



Las alternativas morfológicas de las estructuras nos ayudan a la eficiencia en la construcción, las alternativas nos ayudad a poder diseñar de manera más eficiente los espacios de doble altura y espacios de formas irregulares.

Las estructuras de formas arborescentes varían en el tamaño de sus ramales donde pueden abarcar mayor luz. La utilización del encofrado textil nos ayuda a una mayor eficiencia del material porque se puede crear una sección variable y así aumentar mayor masa en las áreas donde haya mayor tensión.

**CAPÍTULO V:  
CONCLUSIONES**



## 5. CONCLUSIONES

La presente investigación se ha dedicado al estudio de elaboración de estructuras arquitectónicas en base al avance científico de la Biomímesis.

En el desarrollo del trabajo de investigación que ha dado lugar a la presente Tesis se han alcanzado los objetivos inicialmente planteados en cuanto a:

- ✓ Aplicar la morfología de la naturaleza (Biomímesis) en estructuras arquitectónicas de hormigón.
- ✓ Elaborar encofrados textiles en base a las formas naturales (Biomímesis) en estructuras arquitectónicas.
- ✓ Tipologar la morfología de la naturaleza aplicada al diseño en un catálogo, clasificarla según su uso y función.

Se verifica la hipótesis de la investigación, aplicando los conceptos de la Biomímesis y construidos en encofrados flexibles se podrá determinar formas alternativas de estructuras arquitectónicas eficientes.

Las conclusiones del desarrollo de la investigación son las siguientes:

- Las estructuras arquitectónica son más eficientes en el uso de materiales y tiene menor entropía al utilizar encofrado textil y así se disminuye la tala de árboles.
- Las columnas arborescentes tienen muchas variantes de diseño, en ángulos, dimensiones, números de ramales y diferentes alturas de los ramales.
- La columna ramificada tiene ramificaciones que actúan como vigas, que le dan resistencia y una estructura más liviana.
- La viga en voladizo tiene una morfología de las hojas imitando sus ramificaciones, aumentando más masa en los lugares de mayor tensión.
- El pórtico tiene una eficiencia en el uso de materiales imitando a los árboles que se ramifican, utilizando esa ramificación para obtener una mejor resistencia estructural.

CAPÍTULO VI:  
RECOMENDACIONES Y  
FUTURAS LÍNEAS DE  
ACCIÓN



## 6.1. RECOMENDACIONES

Una vez concluida la tesis, se considera oportuno dar recomendaciones sobre el desarrollo de la investigación:

- Para el armado del encofrado se recomienda la utilización de una tela rígida, que no se estire ya que pierde las dimensiones propuestas y la estructura sufre deformaciones.
- Se recomienda el trazado de los cortes de la tela y el costurado en el armado del encofrado ya que se tiene una mayor exactitud de las secciones de la estructura y se logra una mayor eficiencia en el uso de textil.
- Se recomienda la utilización de los conceptos de la biomecánica y profundizar en las investigaciones en esta área, aplicada a estructuras.

## 6.2. FUTURAS LÍNEAS DE ACCIÓN

- Diseño de la armadura para estructuras de hormigón armado, basándose en el avance científico Biomímesis.
- Diseño de los cortes y costura del textil tomando en cuenta como se realiza el cálculo y método de costura con los programas de tensoestructuras.
- Diseño de cubiertas de doble curvatura de hormigón construido con encofrado textil.
- Diseño de mobiliario urbano construido con encofrado textil.
  - Diseño de muro y tabiques construidos con encofrado textil.
  - Ubicación de columnas en grilla voronoi.
  - Diseño de programas CAD para el cálculo y diseño de cortes de tela para encofrados textiles.