



Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Arquitectura



69



aplicación de los principios de diseño de la naturaleza

tésis profesional para obtener el título de arquitecto  
presentada por:

Esteban Díaz de la Vega Aguirre

Taller: Max Cetto

Sinodales:

Arq. Felipe Leal Fernández  
Dr. Gerardo Oliva Salinas  
Arq. Humberto Ricalde González



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



# índice

1)	<b>INTRODUCCIÓN</b>	5
2)	<b>BIÓNICA</b>	9
3)	<b>DISEÑO BIÓNICO</b>	13
4)	<b>EN BUSCA DE UN PRINCIPIO ESTRUCTURAL BIÓNICO</b>	20
5)	<b>TENSEGRIDAD</b>	26
6)	<b>MATERIALIZANDO</b>	36
	REX (Refugio Experimental Xalapa) GEO (estructura biónica para invernadero) PUENTE BIÓNICO	
6)	<b>PLANOS</b>	61
7)	<b>Apéndice</b>	91
8)	<b>Fuentes</b>	100

**A TODOS aquellos que perseveran en el INTENTO de rescatar nuestra TIERRA.**

*"Durante los últimos tiempos el diseñador se ha dedicado a satisfacer solamente necesidades y deseos pasajeros, sin tomar en cuenta las verdaderas necesidades del hombre (sean: económicas, psicológicas, espirituales e intelectuales). Se le ha olvidado el beneficio del consumidor, sacrificando muchas veces las necesidades en aras de un efecto puramente visual.*

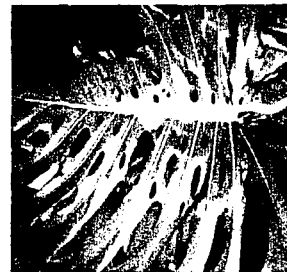
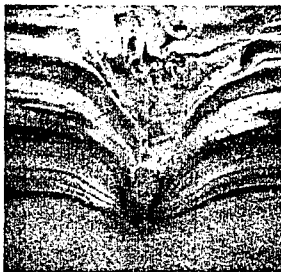
*El diseñador es responsable de casi todos nuestros productos y herramientas y de casi todas nuestras equivocaciones ecológicas".*

*"El diseñador tiene que ser consciente de su responsabilidad moral y social. Porque el diseño es el arma más poderosa que ha recibido el hombre para configurar lo que produce, su medio ambiente y por extensión, a sí mismo; con ella debe analizar las consecuencias de sus actos, tanto del pasado, presente y futuro predecible".*

**Victor Papanek (diseñador)**

# INTRODUCCIÓN

Todos hemos sido alguna vez sorprendidos por la perfección de los procesos de la naturaleza a los que muchas veces llamamos "milagros" por la discreción y sutileza de la dinámica con que se manifiestan, donde no existe un objetivo o producto final, todo es un continuo ciclo hacia una evolución constante. Y es que detrás de estos "milagros" existe un sistema de estructuras bastante simples y fundamentales a las que nos hemos acercado sólo con la visión de "conocer para conquistar" y no hemos aprehendido nada realmente de ella, y esto es evidente al observar nuestros procesos y nuestra "avanzada" tecnología que se vale de un desconsiderado costo energético tanto ecológico como económico.



La mayoría de los seres vivos que habitan la tierra son producto de un proceso de 3.8 billones de años de evolución y la construcción de maquinas, estructuras y sistemas en un ambiente que retoma el de estos seres puede obtener una gran ventaja de esta enorme experiencia evitando así muchas pruebas y errores que la naturaleza ya ha experimentado en este largo y quizás inimaginable tiempo en el cual las especies que hoy sobreviven han aprendido a volar, circunnavegar el globo, vivir en las oscuras profundidades del mar así como en los picos de las montañas mas altas, fabricar materiales sorprendentes con un mínimo de energía, iluminar la noche y procesar la energía del sol.

De una manera colectiva, los organismos han logrado adaptarse y habitar espacios aún en las condiciones mas extremas. Los organismos terrestres han hecho todo lo que nosotros siempre hemos querido hacer, sólo que ellos sin afectar al planeta o comprometer su futuro.

Es tiempo de observar a la naturaleza que es nuestra propia naturaleza, contemplarla y aprender de ella en vez de torturarla como lo hemos venido haciendo con nuestras revoluciones agrícolas, científica e industrial, en el ciego afán de conocer sus secretos.

Los efectos y consecuencias de nuestras acciones que comenzaron con la agricultura hace diez mil años, nos están alcanzando a una velocidad incontrolable. Es increíble cómo lo que parecían sueños de ciencia ficción de "un mundo feliz" los vemos materializarse cada día con nuestra "avanzada" tecnología y aún los vemos rebasar nuestras expectativas comenzando a crear un temor por lo lejos que estamos llegando, olvidando y negando nuestra propia naturaleza.

Las primeras clonaciones, la descripción del genoma humano, las modificaciones genéticas en plantas y animales, junto con el sobrecalentamiento de la tierra, la reducción de la capa de ozono, la extinción de especies, la sobrepoblación humana, el mal planteamiento de sus ciudades, los intereses económicos y políticos de nuestra sociedad, en fin, todo eso que escuchamos en las noticias y con lo que las asociaciones ecologistas nos atosigan y sin embargo nosotros seguimos pensando que "todavía falta para que todo eso llegue a mí"; cuando todo dibuja un panorama que reclama por una solución más con los pies en la tierra, conscientes de nuestro juego en el universo...NO SOMOS MAS NI SOMOS MENOS, TODOS SOMOS PARTICIPANTES DE UN MISMO PROCESO LLAMADO VIDA Y AHORA SABEMOS MÁS QUE NUNCA QUE EL QUE NO PARTICIPA O NIEGA ESE PROCESO...DESAPARECE: LA SELECCIÓN NATURAL. Una teoría que aunque se planteó hace muchos años, nos seguimos sintiendo indestructibles, invencibles e inmunes a ella y luchamos ciegamente por nuestra supervivencia por encima de todo.



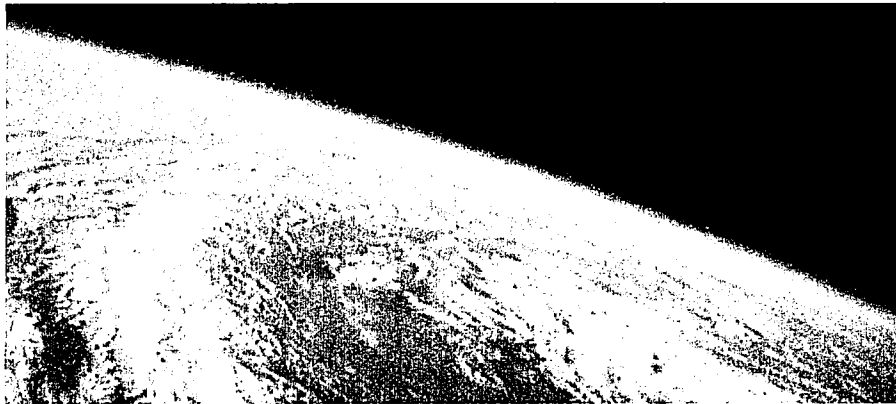
Si decidiéramos entonces afrontar esta realidad y buscar una solución, ¿cómo saber que no cometeremos los mismos errores o aún sean peores las consecuencias de nuestras nuevas acciones? ¿Por donde deberíamos empezar? ¿Deberíamos realmente empezar o más bien continuar? ¿Renovar las ideas o sintetizar la información? ¿Seguir estudiando y explotando a la naturaleza o aprehender de sus sistemas para así establecer procesos acordes con ella? Y en esta incertidumbre hacemos más preguntas que impiden demos acciones, más teorías que prácticas y nos concentramos cada vez más en especializaciones para explicar cómo funcionan las partes pero aún no entendemos cómo estas se interrelacionan para formar un todo natural y orgánico.



Esta separación en nuestras visiones sobre lo que es la dinámica de la vida ha provocado una actitud de aislamiento entre biólogos, diseñadores, matemáticos, científicos, químicos, psicólogos, pedagogos, agricultores, abogados, doctores, etc., dispersos en cubículos de especializaciones estrechos e incommunicados donde es casi imposible para uno acceder a la información del otro y aún lográndolo resulta difícil entender los distintos lenguajes utilizados por cada disciplina.

Parecería entonces una buena opción empezar reconociendo lo poco que sabemos de la naturaleza, evitando así mas catástrofes y mas daños a nuestro entorno; realizar acciones en pequeñas escalas, trabajar en grupos interdisciplinarios que intercambien experiencias; experimentar y materializar las ideas, sintetizar la información recopilada hasta ahora y así entonces, ofrecer soluciones simples y directas, conscientes de la repercusión ambiental, social y política de nuestras nuevas ideas, actitudes, decisiones y acciones.

Y es aquí a donde apunta el tema de esta tesis, a la responsabilidad y posibles campos de acción del diseñador, porque hoy más que nunca en la historia de la humanidad, la avanzada tecnología existente ofrece una enorme variedad de nuevos materiales, el acceso a información actualizada por medios como el internet, sofisticados programas de cómputo para diseñar y calcular, así como nuevos sistemas interactivos de comunicación que permiten el trabajo conjunto de distintas disciplinas, aún a distancia, y así entonces, poder considerar la problemática planteada y ofrecer soluciones menos dañinas para todos los que habitamos esta inmensa nave que avanza, gira y evoluciona cada instante con una sorprendente inteligencia, nuestra casa que compartimos con muchos otros seres y que ya no podemos dejar de tomar en cuenta: el planeta Tierra.



**biónica**

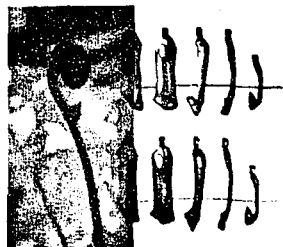
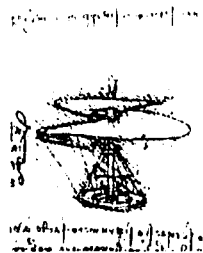
*ahí esta la respuesta.*

La biónica es el arte de aplicar el "conocimiento" de los seres vivos a la solución de los problemas técnicos-artificiales. No copiando sino mediante analogías, descubriendo los principios orgánicos subyacentes fundamentales y seguidamente encontrando una aplicación práctica. La biónica no es una ciencia especializada sino mas bien una ciencia que combina la información de diversos campos formando interdisciplinas que proponen un trabajo en conjunto coordinado orgánicamente.

Este término fue forjado por Jack E. Steele de la división médica aeroespacial de la aviación de Estados Unidos, en 1960 y tomó forma en un congreso en Ohio del Ejército del Aire de Estados Unidos; la definición fue: "es la ciencia de los sistemas que tienen un funcionamiento copiado del de los sistemas naturales o que presentan las características específicas de los sistemas naturales o análogos a los de éstos".

Aunque la tendencia y la manera más sencilla de aplicar la biónica sería la imitación directa de lo que sucede en la naturaleza, la biónica de nuestros días no se ocupa tanto de la forma de las piezas o de la configuración de los objetos como de las posibilidades de estudiar cómo procede la naturaleza para que se den los organismos, la interrelación de piezas y la existencia de sistemas estables. Entonces se trata más de entender los principios y el porqué las cosas trabajan así en la naturaleza que solamente copiar detalles.

Ya muchos inventores y diseñadores se han basado en modelos animales o vegetales a través de los siglos, pero en la mayoría de los casos, sus opiniones se han visto nubladas por una nostalgia romántica orientada al reestablecimiento de una especie de paraíso primigenio, o por alguna cuestión meramente estética que desemboca en la imitación. Sin embargo ha habido quienes han logrado un diseño evolutivo a través de analogías bien aplicadas.



Y es que al adentrarse en el estudio de la naturaleza nos podemos dar cuenta de que la mayoría de nuestras invenciones ya han sido creadas de una manera más elegante y con un menor costo para el planeta. Nuestros sistemas de aire acondicionado son sobrepasados por el sistema que las termitas emplean en sus nidos manteniendo una temperatura constante de 30 grados centígrados. Nuestros más avanzados radares no tienen comparación con la transmisión multifrecuencia de los murciélagos. Los materiales que llamamos "inteligentes" aún tienen mucho que pedirle a la piel del delfín o a la probóscide de la mariposa. Aún la rueda que comúnmente tomamos como nuestra invención, ha sido encontrada en un diminuto motor a rotación que impulsa el flagelo de la bacteria más antigua conocida sobre la tierra.

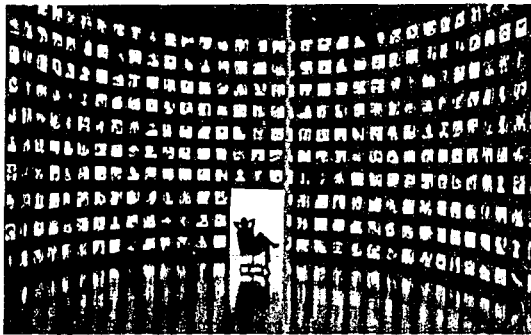
Además de las otras hazañas que los organismos ejecutan y que nosotros seguimos soñando lograr algún día: Como las algas bioluminiscentes que concentran químicos dentro de sus cuerpos alumbrándolos; peces y ranas del ártico se congelan quedando completamente estáticos y luego vuelven a la vida sin que sus órganos hayan sufrido daño alguno por el hielo; los osos negros hibernan durante todo el invierno sin envenenarse con su propia orina mientras sus primos polares siguen activos con su abrigo de cabellos huecos transparentes cubriendo su piel como los cristales de un invernadero; los camaleones se esconden de su presa sin moverse al cambiar el patrón de su piel para camuflarse con su alrededor, las abejas, tortugas y pájaros navegan sin mapas, mientras ballenas y pingüinos bucean sin equipos de oxígeno externos.

¿Como lo hacen? ¿Cómo pueden las libélulas atravesar los bosques y posarse sobre los ríos superando nuestros más avanzados helicópteros? ¿Cómo puede la araña crear una red perfecta de un material resistente al agua superando la aspereza y elasticidad de nuestras fibras más sofisticada como el Kevlar o ser cinco veces más fuerte que el acero sin necesidad de perforar pozos profundos, sin altas temperaturas, químicos o altas presiones, con sólo alimentarse de moscas y grillos por un extremo y liberando este milagroso material por otro?

Y no es que no existan las respuestas a todas estas preguntas, sino que quizás no hemos estado mirando en la dirección correcta. No se trata de cambiar nuestra tecnología pero sí tal vez nuestra actitud del hombre como centro y por encima de todo, que nos ha llevado a extinguir un inmenso número de especies y que en los próximos 30 podríamos hacer desaparecer un cuarto más de las existentes.

La biónica ofrece una respuesta viable a nuestros problemas actuales, una metodología para el diseño de nuestros nuevos sistemas y algo muy importante, la oportunidad de sintetizar la valiosa información hasta hoy recopilada por diferentes campos y disciplinas de la ciencia. Y no es una opción sólo para los diseñadores, también lo es para agricultores que imitando los procesos de regeneración de las praderas y sin utilizar químicos están logrando reactivar tierras que se encontraban dañadas por los monocultivos, ingenieros computacionales están logrando prototipos de computadoras mucho más rápidos cambiando el sistema convencional de uno-cero por un nuevo sistema inspirado en la interacción de las proteínas llamadas enzimas, los ceramistas se están inspirando en la estructura, capa por capa, de la concha del olmo para fabricar cerámicas mucho mas resistentes, y así muchos otros oficios están encontrando en la biónica una manera respetuosa de aprender de la naturaleza .

Esta ciencia reaparece en un momento muy importante de la evolución humana en el que deberíamos tomar ya la decisión como especie de continuar el camino que hemos tomado tiempo atrás con la revolución industrial en que la prioridad es la comodidad por encima de todo hasta de nuestra propia salud, continuar sintiéndonos indestructibles y con tal actitud destruir nuestro hábitat, seguir postulando complicadas teorías que aún no tienen una aplicación práctica; ó encaminarnos en una nueva senda en la que más que imponer nuestras arbitrariedades sobre la tierra participemos en sus procesos, aceptando la dinámica de la vida que no es la independencia ni la dependencia sino la **interdependencia**, adaptando nuestras necesidades a las de todos los seres vivos con quienes compartimos esta enorme nave-casa, sintetizando nuestras experiencias pasadas, considerando los sucesos y avances presentes, remembrando lo que alguna vez ha funcionado en el pasado y actualizándolo a nuestra nueva tecnología, desintegrando la separación que nos limita como raza.



# DISEÑO BIÓNICO

Es un hecho que los ambientes y objetos que hemos creado a nuestro alrededor expresan una arrogante actitud hombre-sobre naturaleza y que dicha actitud rige nuestra sociedad. Hemos crecido prefiriendo estos ambientes artificiales, controlados por máquinas; y la ecología del planeta ha sido devastada como consecuencia. Y no es solamente un problema que atañe a los arquitectos, diseñadores gráficos e industriales, sino también a quienes aceptamos, adquirimos, compramos y adoptamos dichos objetos o espacios.

En el ámbito del diseño (sea gráfico, industrial, o arquitectónico), la biónica permite una metodología que pone al diseñador más en conciencia del proceso de sus creaciones, desde la idea y el lápiz hasta materializarla y ser utilizada por el consumidor o cliente, tomando en cuenta los posibles efectos ecológicos, políticos y sociales. Considerando que para que su creación llegue a ser empleada por el usuario final, ésta pasa por distintas fases como son:

## EL DISEÑO

Al observar un hueso humano percibimos que está perfectamente diseñado ya que cumple impecablemente su función de sostener al cuerpo y aguantar movimientos bruscos o constantes. Es más grueso donde los esfuerzos son mayores y más delgado donde son menores. Cómo es que lo logra en términos de crecimiento? Una teoría explica que los esfuerzos a compresión y tensión crean un campo de moléculas eléctricamente cargadas que se alinean entre sí en aquellos lugares donde la fuerza es mayor. En estas áreas se estimula el material orgánico dirigiendo el crecimiento a las zonas más críticas. La ventaja del proceso de creación de la naturaleza es que se dá en organismos vivos y por lo tanto fabrica sus materiales en presencia de las fuerzas naturales y es así que sólo existen donde se necesitan y tan sólo cuanto es necesario.

Al diseñar un objeto o espacio, nuestras referencias normalmente parten de una concepción estática de las estructuras. Cuando se termina de construir un edificio, se puede decir que no tiene vida en el sentido de que es incapaz de modificarse en sí mismo de acuerdo con las temperaturas constantemente cambiantes, las diferentes velocidades y direcciones del viento, las intensidades solares variables y otras fuerzas de la naturaleza que podrían desafiarlo.

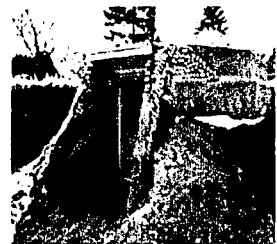
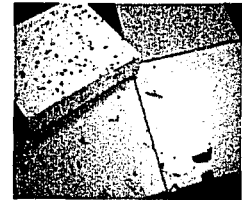
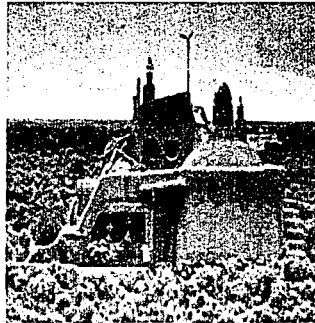
Conocer mejor cómo es que actúan dichas fuerzas cambiantes y afectan o benefician nuestros edificios y estructuras, permitirá un diseño óptimo y no sobreactuado, optimizando materiales y sin elevar costos.



## LA ELECCIÓN DE MATERIALES

Las hojas de árboles y plantas se marchitan, caen al suelo y comienzan su proceso de descomposición que contribuye a su fertilidad dando nutrientes al suelo los cuales serán reabsorbidos por las mismas plantas y árboles a través de sus raíces. El proceso de transmutación de los materiales en la naturaleza, asegura que todos sea usado otra vez, no importa que forma adquiera en su siguiente transformación.

Considerar la reutilización de materiales podría traer consecuencias favorables a nuestro entorno. Aunque reciclar no es un proceso simple ya que requiere transportar y dar nuevas formas a los materiales hoy existen muchos ejemplos de prototipos de vivienda construidos con tubos de cartón reciclado, llantas usadas, botellas de vidrio, latas de aluminio, así como también reutilizando otros materiales como garrafones de vidrio para agua, bloques de cemento y estireno reciclado.





## PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS MATERIALES

Casi nunca nos cuestionamos el proceso de fabricación de los materiales que elegimos en nuestros diseños, ya que más nos interesan las especificaciones, cómo trabajan, cómo se ven, la facilidad con que se instalan, costos, etc. Pero la mayoría de los materiales para construcción disponibles en el mercado son fabricados bajo procesos contaminantes y no sólo se trata del humo que sale por las chimeneas de las fábricas, sino también de las gentes que en ellas trabajan y se exponen a humos y gases peligrosos, radiaciones y ruidos nocivos; de los desechos que son vertidos en los ríos o lagos cercanos o que son enterrados contaminando mantos freáticos y poniendo en riesgo la salud de quienes viven cerca. Y el asunto no termina ahí, una vez que ponemos el material en la edificación, algunos despiden gases nocivos, otros tienen fibras que dañan la salud de los habitantes.

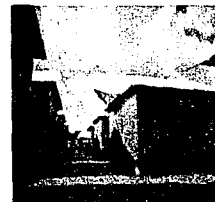
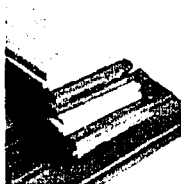
Un claro ejemplo es el PVC, un polímero que da un plástico bastante rígido y resistente, es resistente al fuego por la clorina que contiene, es impermeable y es el responsable de ese olor "a nuevo" que nos gusta tanto cuando compramos un coche; además es usado para fabricar un gran número de materiales para construcción. Los productos químicos que se emplean para hacerlo suave y flexible son dañinos para la salud y por si fuera poco, el monómero utilizado en su fabricación es cancerígeno, poniendo en riesgo la salud de quienes trabajan en donde se fabrica.

Existen muchos materiales que requieren ser investigados antes de pensar en usarlos ya que liberan sustancias tóxicas que aunadas a la mala ventilación de un espacio tienen considerables efectos sobre los habitantes de dicho espacio como el formaldehído que despiden las alfombras, los pega-pisos sintéticos, paneles de construcción y tapices.

## TRANSPORTACIÓN DE MATERIALES

Muy pocas veces se consideran en el diseño, los materiales localmente disponibles para un proyecto y por cuestiones de estética, por costos económicos, o por no mostrar opciones al cliente, se traen otros materiales desde largas distancias en un transporte que contamina en su trayecto y que seguramente obstruye el tránsito local.

En México tenemos una gran variedad de materiales locales con los cuales todavía hay mucho que experimentar e innovar ya que tienen múltiples ventajas constructivas como lo son la tierra, paja, bambú y materiales compuestos de fibras naturales.



## PRODUCTO FINAL

Existen muchas versiones en el mercado de un mismo producto o material con mínimas diferencias entre sí. Como ejemplo, en Europa, Canadá, Japón y Estados Unidos, existen aproximadamente 250 tipos de cámaras de video cada una con ligeras diferencias entre una y otra.

La innovación no debería centrarse en sólo mejorar algunos mínimos detalles de los productos existentes, sino más bien replantearse un diseño tomando como base las experiencias pasadas de los productos o materiales creados anteriormente y las nuevas necesidades del cliente o usuario.

## DESPERDICIO Y BASURA

Existe una tendencia a diseñar y fabricar objetos cuyos materiales duran más que la vida del propio usuario y casi nunca son reutilizados por otra persona. Se estima que una familia promedio de un país desarrollado deshecha entre 16 y 20 toneladas de basura y desperdicio al año. Esto no es solamente una amenaza ambiental sino también una alarmante cantidad de materiales que podrían ser reciclados responsablemente.

Siendo conscientes de estos procesos el diseñador podrá valerse de la información que obtendrá de las otras disciplinas en el diseño biónico de sus prototipos para ofrecer productos, materiales o espacios que interactúen armónicamente con el medio ambiente, partiendo de los siguientes principios:

- 1.- La habilidad de investigar, organizar e innovar.
- 2.- La capacidad de desarrollar respuestas apropiadas a los nuevos problemas emergentes.
- 3.- La destreza para examinar estas respuestas a través de la experimentación, modelos en computadora, prototipos análogos o pruebas de campo.
- 4.- La capacitación para comunicar tales avances a través de dibujos, modelos, maquetas, estudios de viabilidad, videos, películas, animaciones, así como reportes verbales o escritos.
- 5.- El talento de combinar la creación de la forma con rigurosas consideraciones técnicas y partiendo siempre de un sentido humano, social y de la estética.
- 6.- La sabiduría de anticipar las consecuencias ecológicas, económicas, políticas y sociales de la intervención del diseño.
- 7.- La habilidad de trabajar con gente de diferentes culturas y disciplinas.

Entre más estudiamos a la naturaleza, más somos conscientes de su vital poder: LA EVOLUCIÓN. Evolucionar significa desenvolverse, desarrollarse, pasando de un estado a otro; y en el corazón de este proceso esta el intento de mejorar, de perfeccionarse.

El diseño biónico considera que cada espacio, cada objeto, cada detalle de la naturaleza trae implícita una identidad propia y particular que se traduce en una estructura y una forma que tienen un propósito y un motivo de existir. La forma se concibe en las interacciones continuas con el medio. La función y la forma no son sólo atributos, sino también conforman una relación. La estructura existe por la presencia de una fuerza, si no hay fuerza, no hay una forma resultante.

La biónica permite la creación de una arquitectura evolutiva, que implemente las prácticas de la naturaleza como una síntesis de billones de años de experiencia, aplicada a las necesidades inmediatas y circunstancias de la forma, función y propósito. Tomando en cuenta las variadas fuerzas naturales y necesidades humanas de una manera que sea ecológica y humanamente productiva.

Espacios que cambian de acuerdo a las exigencias naturales del medio y los habitantes, con continuidad de estructura y superficie, con un alto nivel del orden, desapegado de las formalidades históricas del diseño rectilíneo.

Porque hoy más que nunca en la historia de la arquitectura tenemos a nuestra disposición materiales y tecnología para aprovechar la energía del sol, viento, agua y gas natural; y esta misma avanzada tecnología que construye microscopios y satélites de largo alcance, nos permite estudiar los patrones de la naturaleza desde un nivel intercelular hasta un nivel interestelar. Todo cambia y evoluciona, al igual que quienes habitarán los espacios que diseñamos y construimos, y nuestra arquitectura debe acomodarse a esos cambios de una manera compatible a su modo de vida y al ambiente natural que los rodea aún en la locación urbana más densa.

Una arquitectura que provea de gran valor para los costos de construcción, sea simple de instalar, fácil de mantener, solucione los problemas de resistencia sísmica, al fuego, humedad y plagas, con buen asoleamiento, características acústicas, no sea tóxica para sus habitantes y no destruya el ambiente.

Habrán quienes dirán que no se puede construir como la hace la naturaleza: modificando formas, agregando o sustrayendo materiales cuando sea necesario, que es totalmente imposible que un edificio sea una entidad cambiante y tenga vida. Pero son precisamente los retos y desafíos de lo IMPOSIBLE, los que han hecho y seguirán haciendo trascender al hombre, re-conociendo sus olvidadas capacidades, para alcanzar sus más preciados sueños.

La arquitectura biónica no es un proyecto a futuro, es una realidad presente, existen ya varios arquitectos que han tomado la decisión de compartir sus problemas de diseño con otras disciplinas o han entrado por su propia cuenta al estudio de la biología para aplicar esta metodología desarrollando proyectos innovadores que nos sorprenden, algunos por su escala, otros por su simpleza, pero todos definitivamente alcanzando un diseño evolutivo que ofrece una nueva visión de la arquitectura. (Para conocer algunos de estos proyectos consultar el apéndice de este documento)

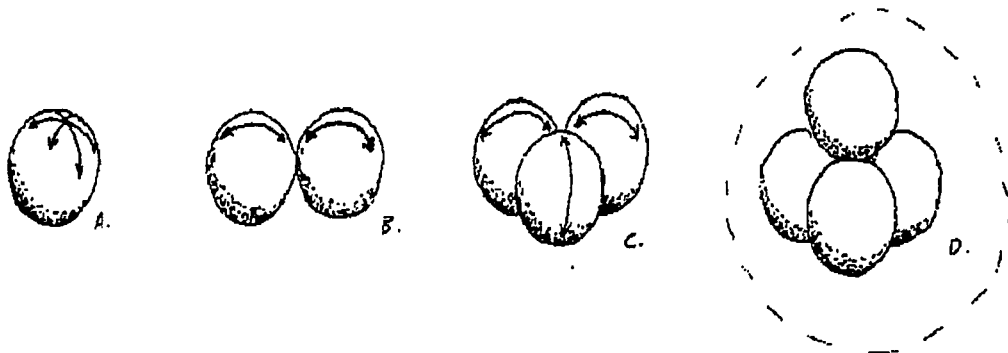
# EN BUSCA DE UN PRINCIPIO ESTRUCTURAL BIÓNICO

La naturaleza está en una continua auto-regeneración que es eficiente al 100%, sin ganar o perder energía, haciendo siempre lo más con lo menos.

El hecho que la mayoría de la humanidad realmente no entendamos a la naturaleza es la razón principal de nuestros fallidos intentos de alcanzar una dinámica universalmente sustentable. Y una de las razones de no entenderla radica quizás en las referencias que utilizamos para comprenderla como un sistema matemático rígido y cuadrado de ejes conocidos como X, Y, y Z..

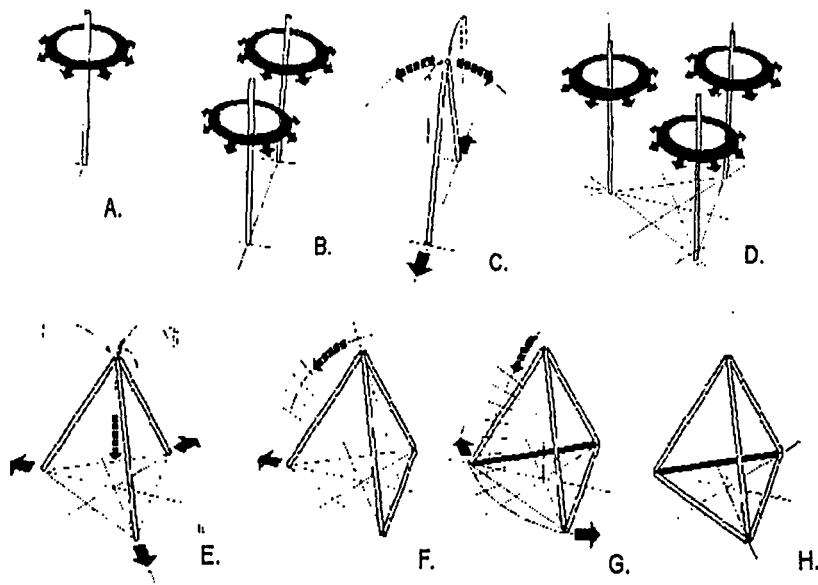
El sistema de coordenadas empleado por la naturaleza definitivamente no opera en ejes a 90 grados, no ocupa líneas rectas paralelas, no utiliza al cubo como unidad de medida tridimensional, ni mucho menos utiliza las matemáticas euclidianas para procesar sus sistemas; más bien se basa en un sistema no paralelo de coordenadas convergentes-divergentes, donde no existe el arriba y abajo sino el adentro, afuera y alrededor, el espacio es curvo, todo está interconectado y en continuo cambio y movimiento.

Richard Buckminster Fuller, ingeniero, arquitecto y filósofo, encontró que este sistema de coordenadas convergentes-divergentes maneja ángulos de 60 grados, al estudiar la configuración utilizada por la naturaleza para agrupar cuerpos esféricos del mismo radio, lo más cercanamente posible, para formar un sistema estable mínimo (4 esferas).



- A. Una sola esfera puede moverse en cualquier dirección
- B. Dos esferas tangentes pueden moverse en cualquier dirección pero requieren hacerlo al mismo tiempo.
- C. Tres esferas inter-tangenciales pueden rotar en cooperación solamente sobre los ejes de cada una que son paralelos a los al triángulo equilátero que se forma al unir sus tres centros.
- D. Cuatro esferas juntas constituyen un sistema estable mínimo. Ninguna rotación es posible. Generando un tetraedro.

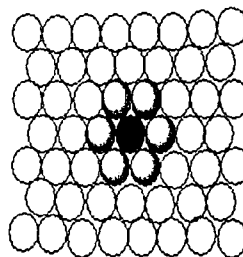
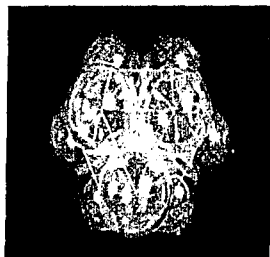
Al unir los centros de estas cuatro esferas se dibuja un tetraedro, que es el mínimo cuerpo tridimensional posible para encerrar un espacio (y no el cubo como normalmente pensamos), y cuyos bordes tienen ángulos constantes de 60 grados. Siendo un sistema estable por naturaleza.



- A. Barra sola: tiene la libertad de caer en cualquier dirección
- B. Dos barras: pueden caer libremente en cualquier dirección.
- C. Dos barras unidas en el extremo superior al caer una encima de la otra: como un grupo tienen la libertad de caer en dos direcciones y deslizarse en sus bases.
- D. Tres barras: pueden caer en cualquier dirección.
- E. Tres barras unidas en el extremo superior al caer encima de la otra: como un grupo sólo pueden deslizarse en la base en la dirección indicada.
- F. Cuatro barras, un triángulo apoyado: ambas el triángulo y el apoyo tienen libertad de deslizarse en las direcciones indicadas.
- G. Cinco barras: los dos triángulos se abren como una bisagra.
- H. Seis barras: estabilidad multidimensional completa – el tetraedro.

Fuller no fué el primero en experimentar con la agrupación de esferas más cercanas, ya muy atrás en el tiempo, alrededor del siglo XVII, Johannes Kepler había utilizado la agrupación de esferas para entender los principios de cómo llenar un espacio y de cómo se creaban los fascinantes patrones hexagonales de los copos de nieve, sobre lo cual escribió un tratado ("Sobre los 6 bordes del copo de nieve"), investigando la agrupación de las semillas de la granada y analizando la red tridimensional de los panales de abejas.

Si ubicamos una esfera en el espacio y la rodeamos con otras esferas del mismo radio, tangentes todas con la esfera central a fin de lograr una capa alrededor de esta, las esferas circundantes suman 12 y si se agregaba una segunda capa siguiendo el mismo principio tangencial de las esferas, el número aumenta a 42, tres capas generan 92 esferas, 4 capas 162, 5 capas 252, dándonos cuenta que el número de esferas era resultado de aumentar al cuadrado el número de capas rodeando al núcleo agregando como sufixo, el número 2; siempre generando una figura de 8 triángulos y 6 cuadrados llamada cuboctaedro, Además, al hacer un corte sobre este cubo-octaedro encontró que al unir las esferas generaban un patrón hexagonal.



Fue así como surgió el concepto Sinergia, el sistema de coordenadas de la naturaleza que genera sistemas estables y en donde "el comportamiento del todo es impredecible si sólo nos concentramos en el comportamiento de cada una de las partes". Los comportamientos manifestados en la naturaleza se dan en 4 dimensiones y Fuller buscó a través de la geometría sinérgica para ofrecer una base empírica que explique, demuestre y recree dichos comportamientos.

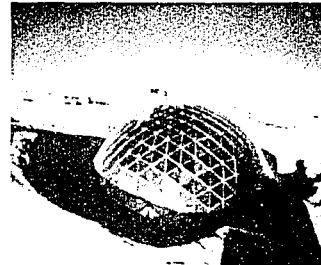
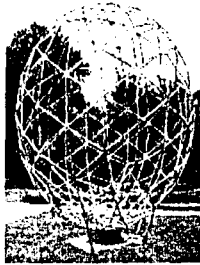
Para entender mejor este concepto, tenemos el Principio de Interacción de Masas, en donde la gravedad es un caso especial. Si tenemos 2 cuerpos en el espacio, digamos la Tierra y la Luna, la atracción que existe entre ellos es una función de la masa de estos cuerpos y la distancia entre ellos. La ley científica que rige esta atracción dice que si se reduce a la mitad la distancia entre dos cuerpos se cuadruplica la atracción, y viceversa. Este principio generalizado (la ley de atracción de masas) es una sinergia porque si cualquier cuerpo es considerado por separado



no hay ninguna fuerza de atracción que examinar. La ley de atracción de masas es matemáticamente exacta y existe sólo como una función de un todo un sistema. **Por lo tanto es sinergia.**

Todos estos análisis permitieron a Fuller desarrollar un entendimiento profundo a partir del estudio de las formas esféricas y poliedros como sistemas de energía.

Los comportamientos, cualidades y elementos de diseño de estos sistemas de energía pueden ser utilizados para construir estructuras mas resistentes y funcionales usando el menor material posible. Fue así como Fuller subdividió la esfera en tetraedros creando una estructura omni-triangulada que dió lugar a las geodésicas que hoy conocemos.



La esfera y el domo geodésico es un sistema estructural estable de fuerzas dinámicas cuyos esfuerzos triangulares, no paralelos, rigidizan la estructura a la vez que dan la opción de ligereza, donde la importancia radica en la relación de sus componentes mas que en cada uno de ellos vistos individualmente.

Aunque no ha sido completamente entendida o apreciada hasta nuestros días, la geometría sinérgica podría introducir un cambio paradigmático en el cual la forma y la materia podrían ser relacionados para alcanzar las características dinámicas de la energía, movimiento y patrón. La Sinergia puede, en muchas maneras, aumentar nuestro presente entendimiento de la dinámica estructural en todas las escalas, desde el micro hasta el macro.

A través de la arquitectura geodésica, se aplica un principio estructural en el que las fuerzas de un sistema son igualmente distribuidas a través de todos y cada uno de sus componentes. Estos mismos principios estructurales los encontramos en el mundo orgánico, los complejos patrones de la telaraña, la ramificación de una hoja, la estructura de los radiolarios. En un domo geodésico ningún muro soporta los fuertes vientos o sostiene cargas pesadas. En vez, todos los componentes estructurales Inter-angulares propagan las fuerzas internas y las balancean con las fuerzas externas para mantener la flexibilidad y resistencia aún utilizando materiales ligeros. A este principio de distribución homogénea de fuerzas se le llamó "*Tensegrity*" (el término no tiene una traducción directa al español ya

que *tensegrity* es una contracción de las palabras *tension* e *integrity*, cuando en español tensión se aplica para tracción y compresión por igual, aclarado esto me permitirá seguir usando la traducción textual, TENSEGRIDAD).

Tensegridad es una contracción de las palabras tensión (específicamente tracción) e integridad. Su principio es la tracción continua y la compresión local de sus elementos para transmitir sus esfuerzos a través de toda la estructura logrando sistemas estables mucho más resistentes que los sistemas constructivos convencionales que trabajan a compresión continua.

Todos los domos geodésicos aplican el principio de Tensegridad independientemente de que las diferenciaciones tracción-compresión, sean visibles o no. Las esferas geodésicas a Tensegridad, son estables por que poseen propiedades de la hidráulica o de la neumática de las estructuras infladas.



**TENSEGRIDAD**

## LA ARQUITECTURA DEL UNIVERSO

"No hay cosas, no hay sólidos en el universo, sólo eventos operando en un principio puro".

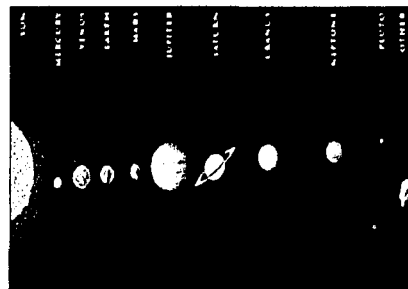
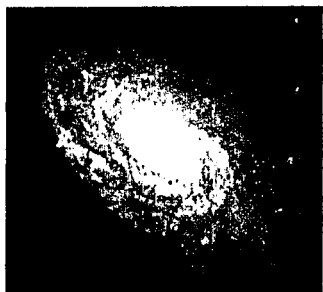
Cuando pensamos en una barra de acero, decimos que es un sólido y pensamos que es rígido, impenetrable; así es, al menos para la visión humana.

Hoy, gracias a nuestra avanzada tecnología que ha desarrollado sofisticados instrumentos de observación, que nos llevan desde un nivel microcósmico donde vemos tejidos, células y moléculas, hasta el macrocósmico que nos abre la perspectiva a los rincones de nuestra inmensa galaxia; tenemos la oportunidad de observar el mundo en diferentes escalas.

Esto nos ha permitido saber que no existen objetos sólidos como tales, sino que lo que vemos es una agrupación microscópica de átomos, tan cerca uno de otro que lo vemos como un sólido impenetrable.

Desde el descubrimiento que Newton hizo sobre la atracción de masas y que vemos existe entre átomos, planetas y galaxia, hoy sabemos que el electrón es tan lejano al núcleo del átomo como lo es la Luna de la Tierra en relación a sus diámetros; y que así podemos hacer un recorrido desde el micro hasta el macrocosmos dándonos cuenta que ningún cuerpo en el universo se toca uno con otro. Todo es un continuum de atracción integral y compresión local discontinua.

En nuestro sistema solar, por ejemplo, la estrella central nuclear, el Sol, atrae a los demás planetas en una atracción continua y éstos reaccionan en una compresión gravitacional local, generando un sistema estable dinámico que manifiesta el principio estructural de la tensesguridad.



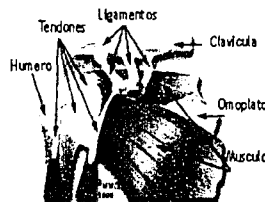
## LA ARQUITECTURA DE LA VIDA

A lo largo de la historia de la ciencia, los biólogos se han concentrado en lograr un avance en nuestro entendimiento de cómo trabaja el cuerpo humano, definiendo las propiedades de los materiales y moléculas que son críticas para la vida como el DNA. De hecho hoy en día los biólogos se han esforzado en identificar el conjunto de genes conocido como genoma, que cada humano posee, generando un catálogo de todas las moléculas de las cuales esta constituido. Pero identificar y describir este rompecabezas molecular, poco hará, si no entendemos las reglas que utilizan para ensamblarse unas con otras.

Este fenómeno en que los componentes se agrupan para formar estructuras estables obteniendo nuevas características que no podrían ser predichas por las características de sus partes tomadas individualmente; se conoce como auto-ensamble y se da en muchas escalas de la naturaleza. En el cuerpo humano, por ejemplo, las moléculas se auto-ensamblan en componentes celulares conocidos como organelos, que se auto-ensamblan en células, que a su vez se auto-ensamblan en tejidos y después en órganos. El resultado es un cuerpo jerárquicamente organizado como hileras de sistemas dentro de otros sistemas. Así que, si la intención es entender completamente la manera en que los seres vivos se forman y funcionan, necesitamos descubrir los principios básicos que guían la organización biológica.

En las últimas 2 décadas se ha explorado y descubierto un intrigante y aparentemente fundamental aspecto sobre el auto-ensamble. En todos los sistemas naturales, incluyendo átomos de carbón, la molécula del agua, proteínas, virus, células, tejidos, humanos y otros seres vivos, un sistema constructivo que usa una forma común de arquitectura, la cual se estabiliza mecánicamente a sí misma en la manera en que las fuerzas a tracción y compresión se distribuyen y balancean dentro de la estructura...una vez mas aparece: la Tensegridad.

El ser humano se sostiene y se mueve gracias a la Tensegridad que rige la estructura de su cuerpo. Los 206 huesos que constituyen su esqueleto, son atraídos hacia el centro de gravedad de la tierra y estabilizados en forma vertical por la tracción de sus músculos, tendones y ligamentos. En otras palabras, en la compleja estructura a Tensegridad dentro de cada uno de nosotros, los huesos son las barras a compresión y los músculos, tendones y ligamentos son los elementos a tracción.



Las nuevas investigaciones parecen confirmar que también las células toman su forma de la Tensegridad. Dentro de una célula, una red de filamentos contráctiles –que son un elemento clave del citoesqueleto- se extienden a todo lo largo de la célula ejerciendo una tracción. En otras palabras, jala la membrana de la célula y todos sus constituyentes internos, hacia el núcleo. Oponiéndose a esta tracción hacia el centro existen dos tipos de elementos a compresión, uno que esta afuera de la célula y otro dentro de ella. El componente de afuera que pueden ser micro tubos o largos manojos de micro filamentos entrecruzados dentro del citoesqueleto. El tercer componente, los filamentos intermedios, son los integradores, conectando los micro tubos y los micro filamentos tanto uno con otro, como hacia la membrana superficial del núcleo de la célula.

MICRO TUBOS



MICROFILAMENTOS



FILAMENTOS INTERMEDIOS



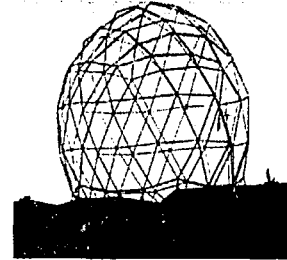
Así que, desde las moléculas hasta los huesos, músculos y tendones del cuerpo humano, la Tensegridad es claramente el sistema constructivo preferido por la naturaleza y ha sido beneficiado por la selección natural. Solamente la Tensegridad, por ejemplo, puede explicar cómo cada vez que mueves tu brazo, tu piel se estira, la matriz extracelular de tus células se extiende, tus células se distorsionan y las moléculas interconectadas que forman la red interna de la célula sienten el estiramiento, todo esto sin ningún rompimiento, colapso o discontinuidad.

## LA ARQUITECTURA DE NUESTROS ESPACIOS

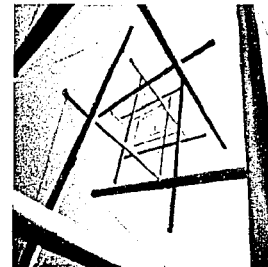
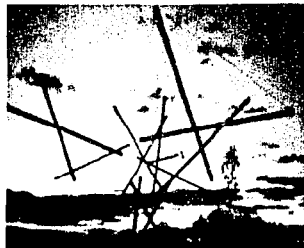
El empleo de los principios de Tensegridad en la arquitectura permite la construcción de estructuras mecánicamente estables, **no por la resistencia de cada una de sus piezas, sino por la manera en que toda la estructura distribuye y balancea los esfuerzos mecánicos.**

Estas estructuras se clasifican en 2 categorías:

- A) Una que incluye los domos y esferas geodésicas de Buckminster Fuller, que son básicamente armazones hechas de barras rígidas y cables, cada uno de las cuales puede trabajar a compresión o tracción. Las barras se conectan en triángulos, pentágonos o hexágonos y cada barra esta orientada para mantener cada unión en una posición arreglada, asegurando la estabilidad de la estructura.



- B) La otra categoría abarca aquellas estructuras que se estabilizan en sí mismas a través de un fenómeno conocido como pre-esfuerzo. Este tipo de estructuras fueron construidas por el escultor Kenneth Snelson, donde aún antes de someterlas a una fuerza externa, todos los miembros estructurales ya están a compresión o a tracción.



Ambas categorías comparten una característica: que es que la tracción es continuamente transmitida a través de todas las partes. En otras palabras un aumento de tracción en uno de los miembros resulta en un incremento de tracción en todos los demás miembros, hasta el lado opuesto. Este aumento global en tracción se balancea con un aumento en compresión en ciertos miembros espaciados a lo largo de toda la estructura. Esto es: la estructura se estabiliza a través de un mecanismo de tracción continua y compresión local como hemos visto anteriormente en el átomo, la célula, el cuerpo humano, y el sistema solar. En contraste, la mayoría de las construcciones convencionales derivan su estabilidad de la compresión continua por la fuerza de gravedad.

Las fuerzas a tracción se transmiten naturalmente sobre la distancia mas corta entre 2 puntos, así que los miembros de una estructura a Tensegridad están posicionados precisamente para repartir los esfuerzos de la manera más efectiva.

Por estas razones expuestas podemos concluir que la Tensegridad resuelve estructuras ofreciendo la máxima cantidad de resistencia por una dada cantidad de material de construcción. El diseño de estructuras bajo este principio permitirá la construcción de grandes espacios con materiales ligeros y utilizando la geometría geodésica, será posible alcanzar diversas configuraciones para distintas necesidades.

Estas estructuras tienen múltiples ventajas además de las estructurales ya antes mencionadas:

- 1.- LIGEREZA- entre más se desarrollen nuevos materiales, más resistentes y menos pesados por medio de compuestos y matrices de fibras para los elementos a compresión y cables de acero o membranas sintéticas para los elementos a tracción, mas ligeras podrán ser estas estructuras sin sacrificar su estabilidad.
- 2.- ENSAMBLES.- como las conexiones son de barra a tensor y no barra con barra como comúnmente se ha usado para la construcción de domos y tridilosas, los ensambles pueden ser menos complicados y más fáciles de conectar.
- 3.-MEMBRANAS.- los avances de la industria textil permiten el uso de membranas resistentes y durables dentro o fuera de la estructura, siendo muy fáciles de instalar.
- 4.-CIMENTACIONES.- La cimentación y sistemas de anclaje son más sencillos que los convencionales, facilitando la construcción y disminuyendo los costos.
- 5.-IMPACTO VISUAL.- La ligereza de los materiales también permitirá estructuras menos pesadas visualmente.



Las construcciones convencionales que se han desarrollado hasta hoy se basan en una transmisión continua de compresión y tracción, como en el caso del concreto armado, lo que resulta en estructuras rígidas, pesadas y que además tienen un punto crítico de ruptura. Si repartimos los esfuerzos en toda la estructura en vez de concentrarlos, tendremos estructuras que ofrecen una mayor estabilidad en cuanto a su relación peso-resistencia.

En la naturaleza esta relación es evidente cuando observamos una telaraña que resiste su propio peso y mucho más como puede ser un insecto que se impacta a gran velocidad sobre ella, o la misma araña que va y viene sin afectar su estabilidad.

Entonces, la aplicación de la Tensegridad como principio estructural biónico en el diseño arquitectónico, ofrece estructuras no rígidas, de gran resistencia en relación con su peso, de bajo costo, y con un gran campo de experimentación de nuevas formas y aplicaciones.

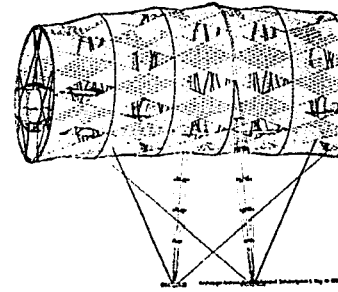
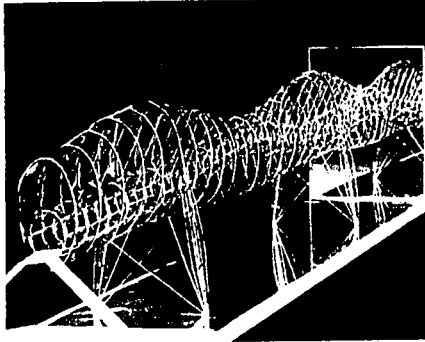
## **PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS**

Los modelos estructurales a Tensegridad han sido desarrollados básicamente para generar modelos geométricos, biológicos o esculturales. Aún falta un avance en la aplicación arquitectónica para estructuras ligeras y resistentes que puedan cubrir o encerrar espacios, así como soportar cargas librando claros de largas longitudes. Sin embargo, ya hay varios arquitectos que están experimentando con estas estructuras aprovechando los nuevos materiales de construcción que ofrece la tecnología; como ejemplo tenemos los siguientes:

### **PUENTE TUBULAR A TENSEGRIDAD, Arq. Andreas Kirchsteiger.**

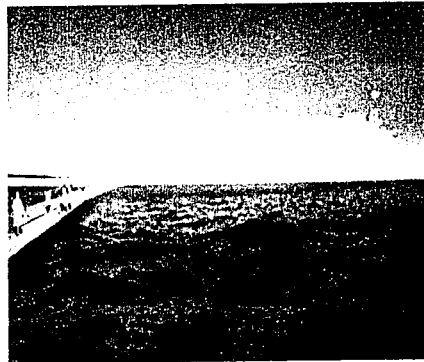
Este proyecto combina cables de acero a tracción, anillos a compresión y una membrana (reforzada con Kevlar) a tracción girando en estrías diagonales a lo largo del puente (2), para conseguir una estructura innovadora bastante resistente.

El giro longitudinal de las 2 estrías de la membrana permite entrada de luz y circulación de aire permitiendo al usuario no sentirse encerrado en un largo tubo.

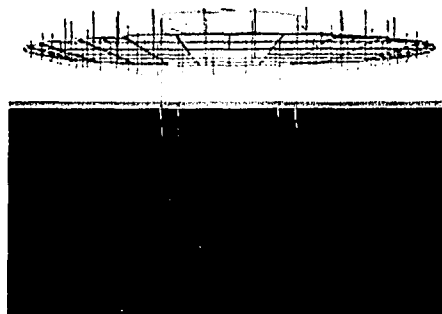


EDIFICIO "NUBE", Suiza  
Arqs. Diller y Scofidio.

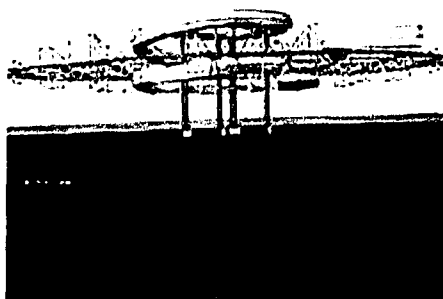
El proyecto fue desarrollado para el pabellón de multimedia en la Expo Suiza 2002 y se propone construirlo sobre un lago.



Formando pilotes, una estructura se levanta del agua utilizando un sistema a Tensegridad de barras rectilíneas, que soporta rampas y plataformas, algunas de ellas sirviendo de contrapeso a la misma estructura.



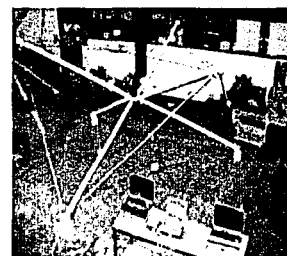
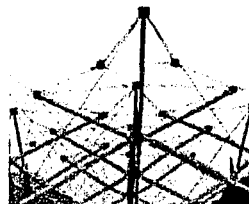
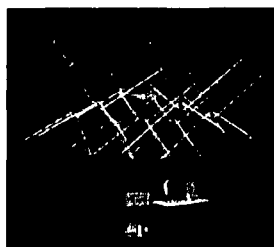
El "nube" está hecha de agua del lago filtrada disparada a través de 13,000 boquillas que crean esta nube de 20m. de alto , 90m. de ancho, y 60m de profundidad. Una estación climática interna controla la neblina conforme a las condiciones de viento, temperatura y humedad.



Es evidente la inquietud que ha despertado en empresas constructoras, escuelas y centros de investigación la aplicación de la Tensegridad por lo cual se prevee que en los próximos 10 años se desarrollen más tecnologías enfocadas al desarrollo de estas estructuras, aportando programas de computación para diseño y cálculo, materiales mas resistentes y ligeros, geometrías mas complicadas capaces de generar nuevas formas. Como ejemplo de estas instituciones, existen las siguientes:

IMM (Instituto de Mecánica de Materiales, S.A., Italia)

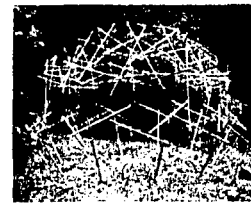
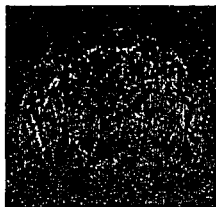
Esta empresa esta desarrollando sensores de fibra óptica para medir el comportamiento de estas estructuras que con la ayuda de programas de computación, máquinas hidráulicas y otros elementos, están comprobando y mejorando la efectividad de este sistema constructivo.



Tensegrity Solutions Massachussets, USA.

Tensegrity Solutions esta proponiendo una tecnología basada en las técnicas de Tensegridad pero con la aplicación de una doble capa de tensión, una interior y otra exterior; resultando en estructuras mas rígidas y resistentes.

Además están desarrollando un programa de computadora para el cálculo y diseño tridimensional de estas estructuras que sin duda será de gran utilidad para los arquitectos que comienzan a aplicar este principio en sus estructuras.



**MATERIALIZANDO**

Hasta aquí se han expuesto las diferentes ventajas y beneficios del uso de la biónica como una nueva metodología de diseño que permite la interacción de diferentes disciplinas con un mismo propósito en donde cada ciencia especializada se re-une en un conjunto que trabaja *sinérgicamente* para ofrecer soluciones concretas a problemas locales sin dañar al medio ambiente.

Se ha propuesto a la tensegidad como un principio estructural estudiado de la naturaleza que ofrece estructuras resistentes y ligeras, y cuya aplicación arquitectónica ofrece una infinidad de posibilidades para experimentar en forma, configuraciones y aplicaciones.

En resumen, toda esta teoría ha demostrado que la arquitectura no está limitada a los métodos tradicionales de construcción que han probado ser costosos para el planeta y para nuestra economía, y que además no ofrecen, en su mayoría, un espacio sano donde vivir o trabajar.

Pero definitivamente la propuesta no termina aquí, en la teoría, sino que comienza en este punto donde se materializan las ideas y conceptos, y se sintetiza la información recopilada y las experiencias aprehendidas para ofrecer una aplicación práctica.

Es así como la propuesta se consolida en 3 proyectos biónicos que forman parte de un plan maestro para un rancho agroecológico, muy cerca de la ciudad de Xalapa, Veracruz.

- 1) Proyecto de vivienda mínima (conceptual).
- 2) Proyecto para una estructura que encierre un espacio capaz de crear un microclima que funcione como invernadero de distintas especies vegetales.
- 3) Proyecto para una estructura sostenida en dos apoyos que permita el cruce peatonal seguro de un río.

## EL LUGAR

Muy cerca de la ciudad de Xalapa, Veracruz, a unos 25 minutos, se encuentra el pueblo de Xico. Este lugar se caracteriza por estar rodeado de un bosque mesófilo (bosque de niebla) que contiene una gran diversidad de especies vegetales, algunas en peligro de extinción como el helecho arbóreo.

En el rancho agroecológico "Agua Escondida", se cultivan una gran diversidad de especies vegetales utilizando métodos que no son agresivos para la tierra. Los fertilizantes químicos son sustituidos por las técnicas de agricultura orgánica como los pluricultivos donde las diferentes especies se equilibran unas entre otras y evitan la entrada de plagas.



Quienes trabajan y viven en este lugar desde hace 20 años, han mantenido una filosofía de respeto a la tierra y prueba de ello es la exuberancia e intensidad de vida que se percibe en el lugar.

Es por esto que este rancho agroecológico fue un lugar idóneo para desarrollar los 3 proyectos que utilizando materiales del lugar, respetando su ecología y aportando nuevas técnicas de construcción sería un participante mas de la dinámica existente

# REX

(Refugio Experimental Xalapa)

Desde el inicio del proceso de investigación para esta tesis, se fue desarrollando este proyecto habitacional. Mientras estudiaba cuales eran las formas más resistentes de la naturaleza, fui entendiendo que las diferentes formas que se desarrollan dentro de ella, no solo poseen cualidades estructurales sino también climáticas (como en el caso de los termiteros); de protección contra depredadores (como los nidos de algunas especies de aves); de máximo aprovechamiento del espacio (como el patrón hexagonal de los panales de abejas); y de uso de las fuerzas de la naturaleza para la supervivencia (como las impresionantes obras civiles del castor).

Así, tomando referencias de la naturaleza, fui desarrollando las analogías que fueron solucionando las exigencias del programa arquitectónico de este proyecto, logrando crear un prototipo conceptual que se convirtió en mi primer intento de aplicar la biónica a la arquitectura.

## PROGRAMA ARQUITECTÓNICO

Proyectar un módulo de vivienda con áreas mínimas capaz de albergar una o dos personas, a construir en el borde de la reserva ecológica del rancho, con la intención de rentar, hospedar invitados o un vigilante de zona.

Talar el mínimo necesario de árboles ya que las construcción se ubicarán dentro de la zona ecológica del rancho.

Se deberá aprovechar al máximo los materiales disponibles en los alrededores (barro, bambú y maderas nativas cultivadas ex profeso).

Contemplar el uso de tecnologías como la recolección de agua de lluvia y la instalación de un baño seco, que minimizen el impacto ambiental de las construcciones y sus habitantes siendo que el entorno es un área de gran riqueza biológica.



Minimizar costos e impacto ambiental en la medida de lo posible y emplear materiales reciclados (llantas, latas, botellas, etc.)

## MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

### El Lugar

En el borde sur-poniente del rancho agroecológico "Agua Escondida", se encuentra la zona asignada como reserva ecológica. Abarcando un área de aproximadamente 4 hectáreas, este lugar alberga una extensa variedad de especies nativas tanto animales como vegetales que con la tala inmoderada y establecimiento de pastizales para ganadería se han ido perdiendo en las tierras cercanas al lugar.

El refugio se levantaría en la pendiente de una loma en un punto estratégico de la reserva que permita a un cuidador vigilar la zona de posibles cazadores y taladores que rondan el lugar.



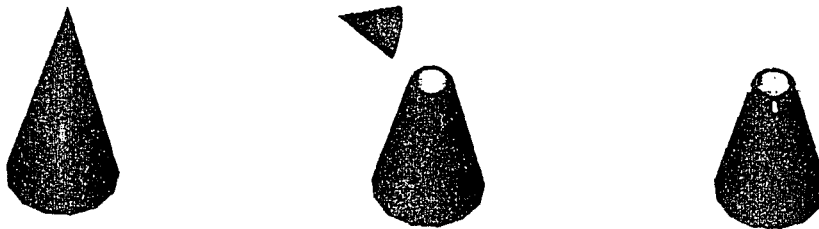
### Proyecto Conceptual

Una de las formas más resistentes que se encuentra en la naturaleza, en percebes, termitarios y algunas espinas; es la cónica invertida. Su base ancha y la punta angosta le dan rigidez para soportar sismos y la hace aerodinámica

ante fuertes vientos. Parece ser que las termitas prefieren esta forma ya que les ofrece una menor superficie expuesta al sol en verano y una mayor durante el invierno.



Siendo que el mayor material disponible en el lugar es el barro y que las cualidades del cono hacen una estructura estable que se refuerza en sí misma, se adaptaría esta forma para el proyecto, truncando la punta, para permitir mayor entrada de luz y sustituyéndola estructuralmente con un centro que concentre los esfuerzos superiores.



Los muros se levantarían sobre una base circular de piedra mamposteada y estarían contruidos de un material hecho a base de barro, arena, paja y agua, llamado COB, que es muy parecido al adobe sólo que este se pone en fresco y permite construir muros anchos (entre 60 y 80cms) y con curvas. Estos muros serían reforzados por una estructura interna de bambú que se apoya en la cimentación.

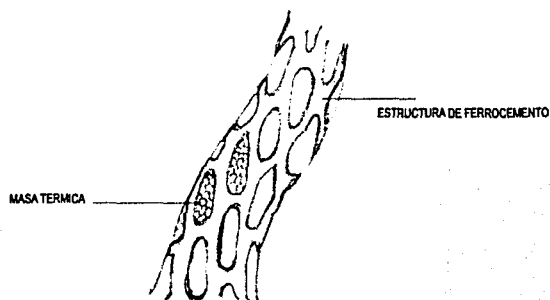
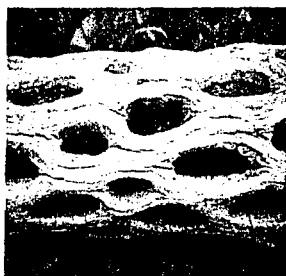
Las ventanas tendrían una forma cilíndrica para permitir la entrada lateral de luz y generar una circulación natural de aire que sería beneficiada por la forma curva del espacio interior que a la vez iría ascendiendo en espiral por los diferentes niveles hasta alcanzar su salida en el domo superior.

La forma de estas ventanas permitiría situarlas en el cono sin afectar el trabajo estructural transmitido en forma circular a lo largo de los muros de tierra.



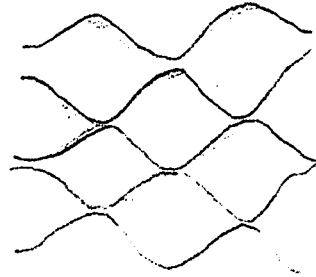
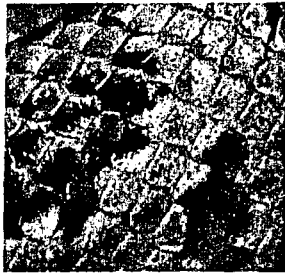
Dos túneles adosados a los extremos del cono, generan los espacios de acceso y baño respectivamente. El primero funciona como vestíbulo para dejar los zapatos o el impermeable, además de que sirve como cámara de aire para evitar la entrada directa de aire frío al refugio. El segundo sería el único baño de la construcción y por lo tanto tendría tina, regadera, lavabo y un sanitario seco.

Al centro del refugio habría un centro de calor, horno de pan-chimenea que reparte el calor uniformemente en el espacio, a la vez que asciende en espiral hacia el domo. El tiro de la chimenea basado en la estructura de una cactácea permitiría la absorción del calor y su posterior radiación a través de una masa térmica que se encontraría en los huecos de la misma estructura.



La ubicación de los muebles en la periferia del cono permitiría una libre circulación en espiral ascendente bastante cómoda desde el nivel mas bajo, que sería el baño hasta el mas alto que sería el tapanco de la recámara.

En el exterior, los muros son cubiertos con unas "escamas" de ferrocemento que impiden el deslave de los muros de tierra, permitiendo a la vez, el asentamiento natural de éstos (ya que la tierra tienda seguir comprimiéndose conforme pierde humedad) sin que el ferrocemento se fracture. Esto facilitaría el almacenamiento de agua de lluvia que se recolecta en canales circulares en el exterior de la base del cono.

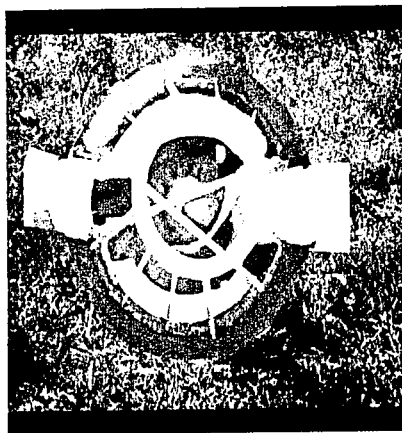
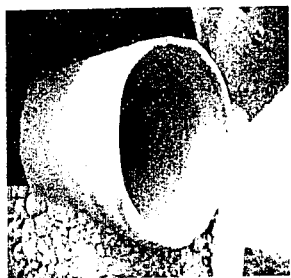


### Conclusión

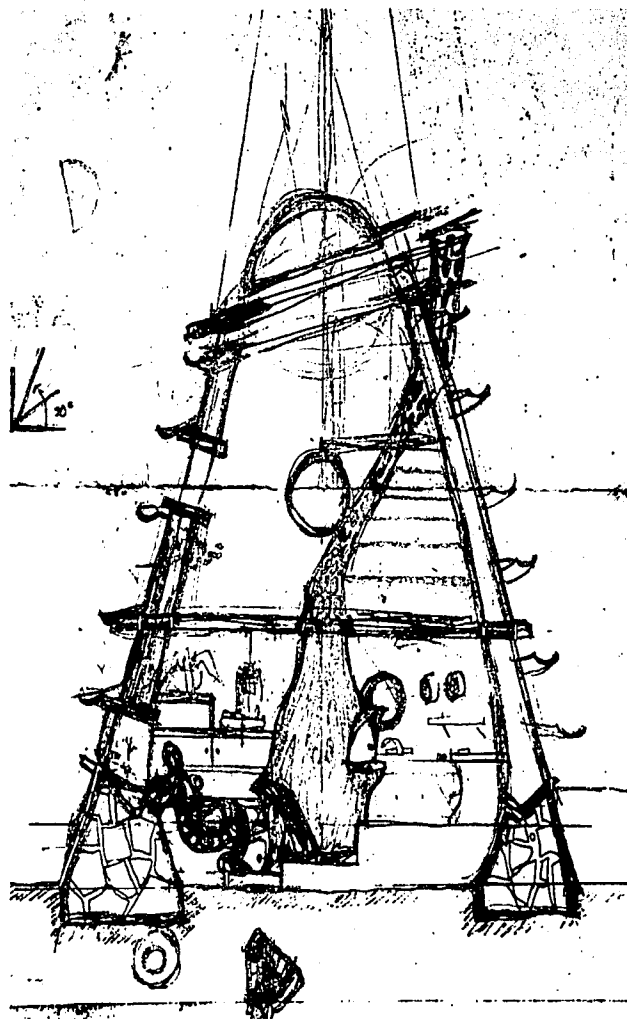
Este proyecto conceptual fué un primer ejercicio de cómo aplicar los principios de diseño de la naturaleza, y aunque no se resolvieron los detalles constructivos, fue definitivamente una preparación para los 2 proyectos siguientes que se desarrollarían a un nivel constructivo.

La aplicación de analogías sobre los esquemas y modelos de la naturaleza permitieron crear una metodología de diseño dinámica para desarrollar un proyecto sin mayores pretensiones tecnológicas modernas y que humildemente toma los materiales de lugar sin afectar el hábitat existente.

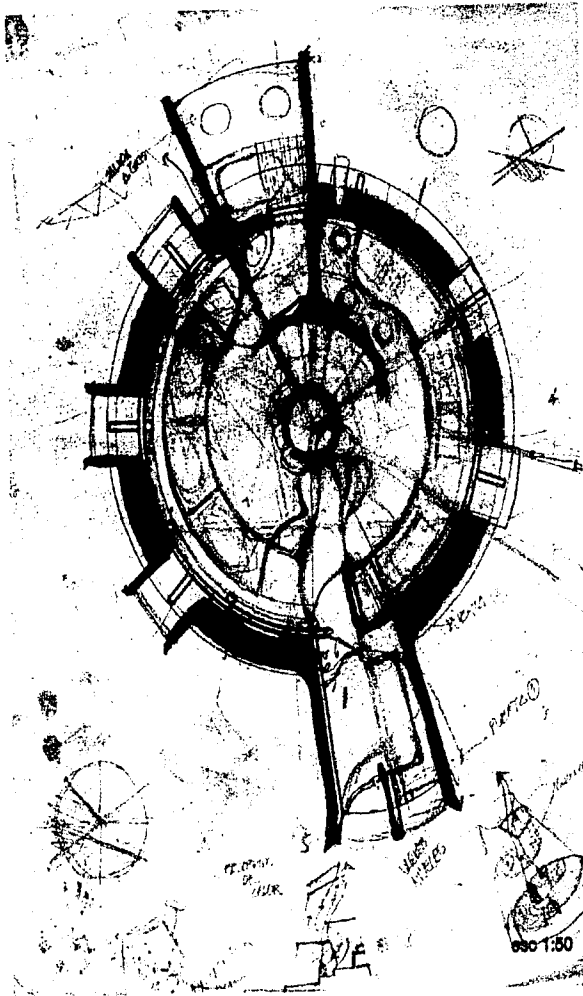
**MODELO DE PLASTILINA**  
**Esc. 1:20**



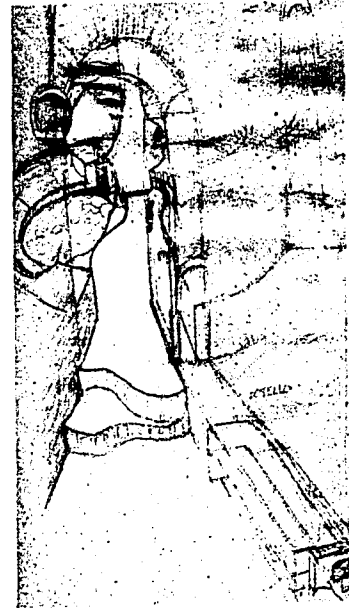
# CROQUIS



**CORTE**



**PLANTA**



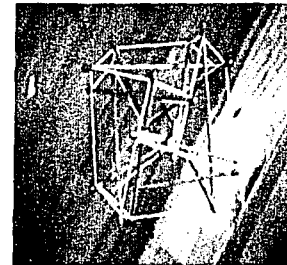
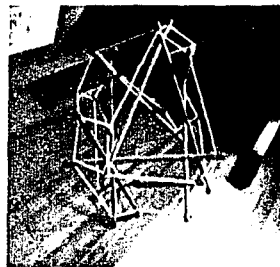
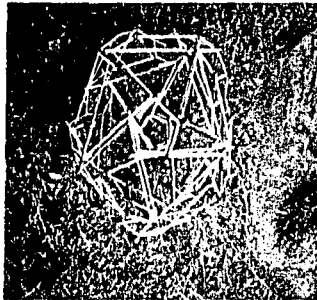
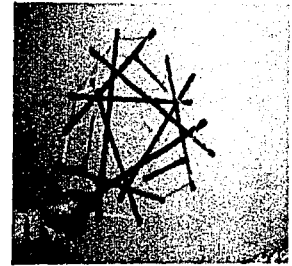
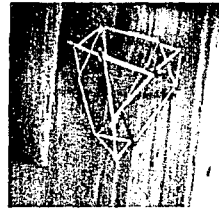
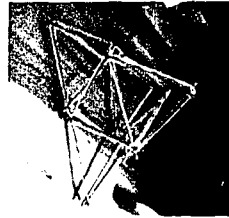
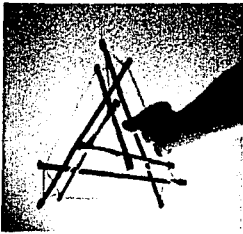
**ACCESO**

# GEO

(Estructura biónica para invernadero)

En el proceso de investigación para esta tesis, encontré a la tensegridad como un principio estructural biónico y que definió el rumbo de los 2 proyectos restantes (la estructura para invernadero y el puente).

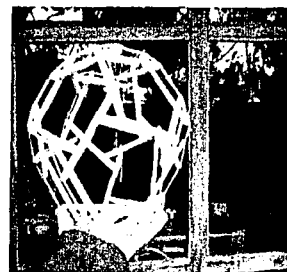
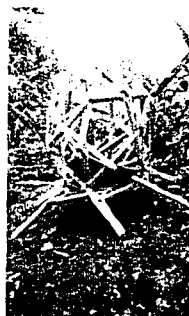
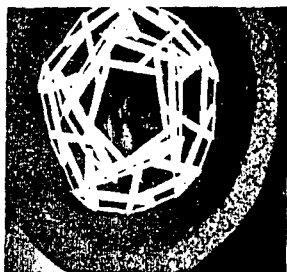
Diseñar una estructura bajo este principio requirió de una completa comprensión de cómo se conforman y trabajan estas estructuras. Para lograr esto, construí diversos modelos geométricos utilizando diferentes materiales como madera, aluminio y plástico para las barras, y ligas, hilos, alambre y cables para los tensores. Cada modelo reveló una nueva clave en el entendimiento de la tensegridad, cada geometría experimentada daba un patrón estructural diferente, pero todas resultaron igualmente estables.





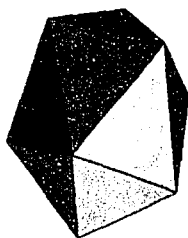
Es aquí donde la tesis tomó un matiz empírico de prueba y error, de práctica y análisis en el que más que imaginar y dibujar en el retirador, requirió de trabajar en un taller construyendo modelos escala, buscando los materiales para que estos modelos trabajaran lo mas cercanamente posible a la realidad una vez construidos en su escala real.

Trabajé y experimenté mucho con modelos esféricos, ya que es una forma que simula la de la atmósfera de la Tierra y que entonces permitiría un ambiente idóneo para crear el microclima que requiere un invernadero.



Una vez entendiendo el principio, conociendo y experimentando las diferentes configuraciones geométricas, busqué un modelo que me sirviera de base para la construcción del invernadero.

De todos los modelos construidos, el icosaedro truncado me pareció ideal por su simpleza ya que se conforma de 2 figuras que se repiten: el pentágono y el hexágono. Este poliedro se deriva del icosaedro simple que tiene cinco caras por vértice y esta formada por triángulos equiláteros que al trincar sus puntas se obtiene otro poliedro formado por 20 hexágonos y 12 pentágonos.

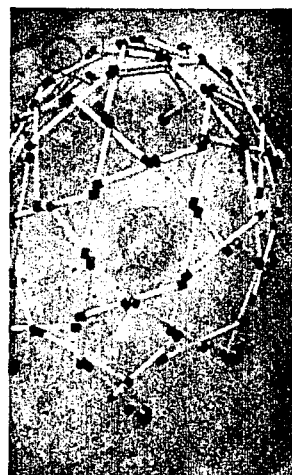
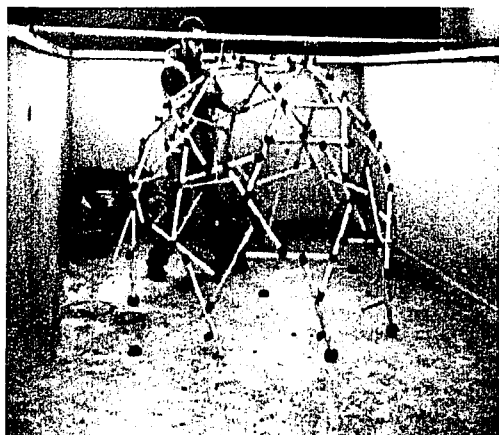
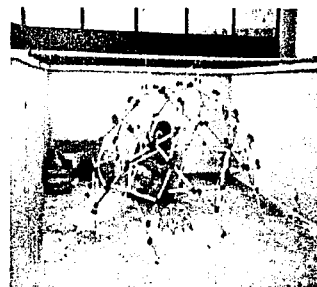


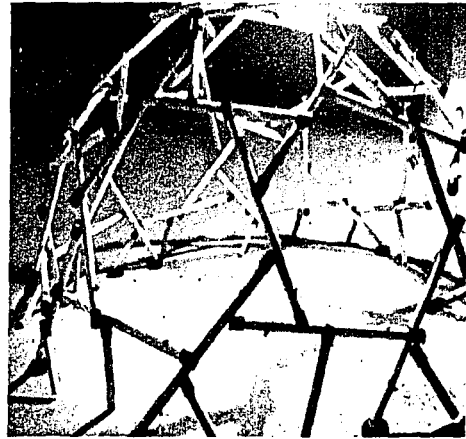
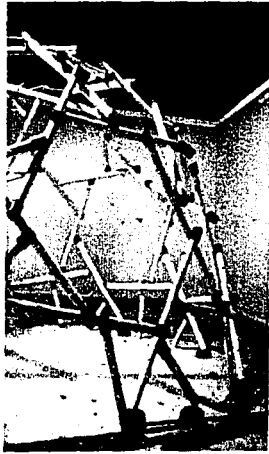
icosaedro



icosaedro truncado

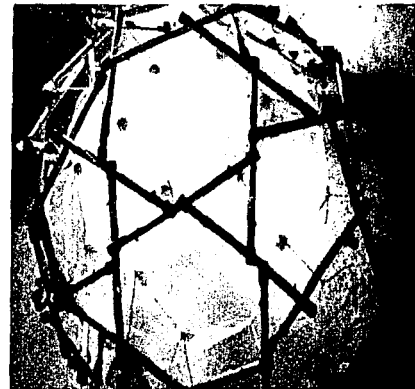
Una vez definida la geometría construí un modelo de un domo a tensegridad partiendo de este poliedro, a un cuarto de escala de lo que podría ser el invernadero. Esta maqueta fue hecha con barras de madera de cincuenta centímetros de longitud, cables de acero, ahorcadores para clutch, pijas y rondanas y utilizando secciones de manguera para el ensamble de las barras.





La construcción de este prototipo, junto con el modelo en tres dimensiones generado en CAD, permitió una percepción mayor de cómo trabaja la estructura, establecer un método de ensamble, definir los puntos de apoyo, así como entender ampliamente la geometría estructural del domo.

Fue entonces que a partir de la experimentación pude comprobar mi hipótesis de que era posible construir una estructura para invernadero a gran escala utilizando el principio de la tensegridad y que ésta resuelve estructuras simples y sorprendentemente resistentes.



## PROGRAMA ARQUITECTÓNICO

Diseñar una estructura simple de bajo costo capaz de crear un microclima que albergue distintas especies vegetales, tanto para el crecimiento de semillas (almácigos), como para la maduración de otras plantas.

Utilizar el bambú localmente disponible para la estructura, la cual debe ser fácil de ensamblar y sus conexiones y piezas sean prefabricados.

Resistir los fuertes vientos que en ocasiones se dan en el lugar así como permitir el reemplazo de piezas individuales en caso de deterioro o accidente sin tener que cambiar toda la estructura.

La forma del invernadero debe permitir la circulación natural del aire interior así como el crecimiento de especies de plantas altas (de 2 a 3 metros).

## CRITERIO BIÓNICO

La forma semi-esférica o de domo, permite, al igual que la atmósfera de la tierra, una circulación ascendente natural del aire caliente que sube y el aire frío que baja. Además de tener las siguientes ventajas:

- Requiere de un mínimo de material para encerrar un máximo de espacio
- Los fuertes vientos que contribuyen a la pérdida de calor, fluyen suavemente alrededor del domo.
- La exposición al calor en verano y al frío en invierno se disminuye porque al ser esférico tiene la menor superficie expuesta por unidad de volumen.

El uso de la tensegridad como principio estructural puede generar estructuras bastante resistentes en relación con su peso. Además de permitir el uso del bambú en las barras que tiene una gran resistencia a la compresión que es como trabajan las barras dentro de la estructura.

El bambú es una planta que ha sido olvidada por los diseñadores y tiene muchas ventajas poco conocidas entre ellas destacan las siguientes:

- Crece tres veces más rápido que un árbol de acelerado crecimiento
- Existen alrededor de 1600 especies en el mundo, de las cuales 440 se son nativas de Latinoamérica.
- Se reproduce rápidamente a través de sus rizomas.
- Es único en cuanto a su resistencia a compresión y tracción (que supera la del acero) lo que lo hace un material ideal para la construcción de estructuras. Mientras la resistencia a tracción es igual durante toda su vida, su resistencia a la compresión se incrementa con el paso del tiempo.

## **MEMORIA DESCRIPTIVA**

### El Lugar

El invernadero se ubica en el límite poniente del rancho agroecológico "Agua Escondida". En medio de la zona cafetalera donde existe un claro de aproximadamente 2500m<sup>2</sup> que se planea como una nueva zona de cultivo orgánico de especies no nativas. Este espacio se encuentra en un valle con dirección oriente-poniente donde pasa un riachuelo subterráneo que funciona como manantial para todo el rancho.

### La Estructura

Esta estructura se levanta sobre 9 bases cilíndricas de concreto dispuestas circularmente. Cada una de estas bases tiene un placa de acero galvanizado a la que se atornilla una pieza prefabricada (chumacera industrial) que funciona como rótula para las barras base de la estructura.

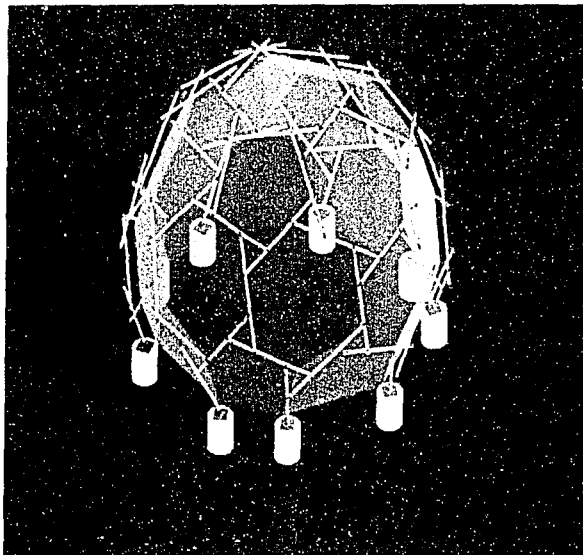
Sesentaitres barras de bambú tratado contra humedad y plagas con un diámetro que varía entre los 8 y 10 centímetros y una longitud de 2 metros, se ensamblan bajo el principio de tensegridad para formar un domo cuya geometría parte del icosaedro truncado. Cada barra es armada individualmente con las piezas correspondientes que incluyen: conectores, tuercas, rondanas y pernos, así como tubos y cables de acero galvanizado para asegurar una larga vida de la estructura.

El domo se va armando de abajo hacia arriba empezando por las barras base que son fijadas en la dirección y ángulo indicados para que a partir de éstas se vayan ensamblando las siguientes con ayuda de un andamio de bambú construido en el sitio y que permita alcanzar la altura máxima (5 metros aprox.). El proceso de ensamble de barras no es complicado ya que cada una entra por un extremo al cable de la otra fijándola con un perno atornillado.

El espacio interior tiene un diámetro de 6 metros y una altura máxima de 5.70m aproximadamente, lo cual permite el cultivo de diversos tamaños de especies de plantas.

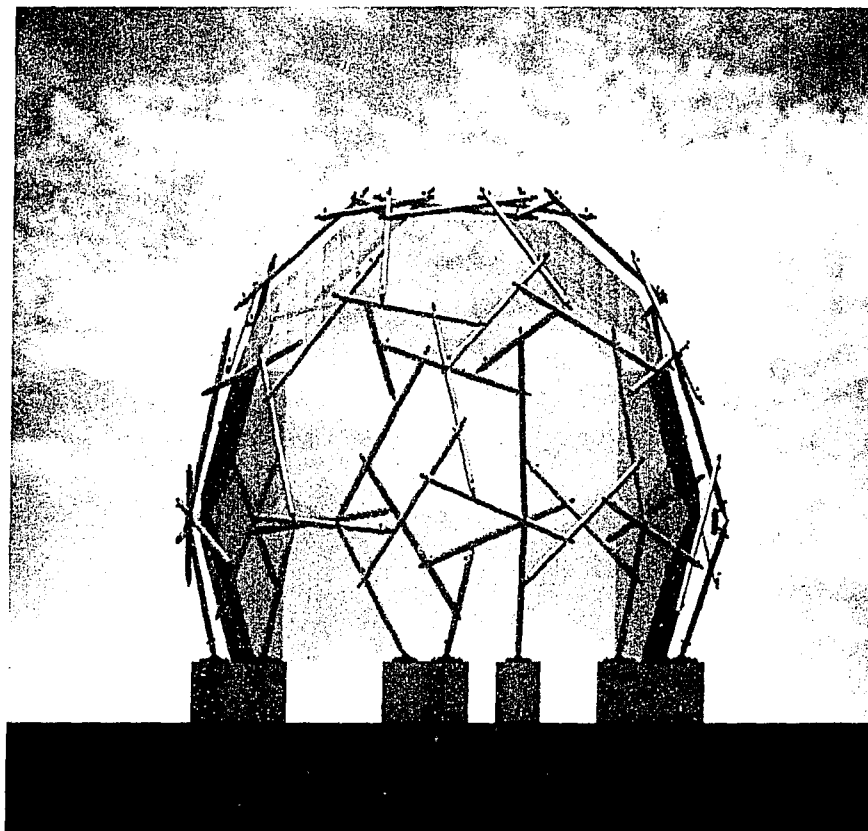
La cubierta es una membrana plástica transparente de doble capa con protección UV y de larga duración (7 años aproximadamente) fabricada especialmente para invernaderos. La plantilla se genera a base de hexágonos y pentágonos cortados según las medidas especificadas y unidos entre sí por los bordes mediante un sistema de termosellado.

La membrana se coloca sobre la estructura y va anclada directamente a la tierra en sus bordes inferiores. En la parte asignada se deja una puerta que consiste en una de las figuras cuyos bordes tienen velcro cosido que permite entrar y salir al invernadero sin que éste tenga un cambio brusco en su temperatura. Para efectos de visualización de la estructura en las imágenes que se muestran a continuación la membrana se coloca por debajo de ella.



Aunque la aplicación específica de GEO en este proyecto es para un invernadero, esta estructura puede utilizarse para cubrir zonas de trabajos y excavaciones arqueológicas, espacios para eventos culturales, así como construir saunas, temazcales, e incluso vivienda.

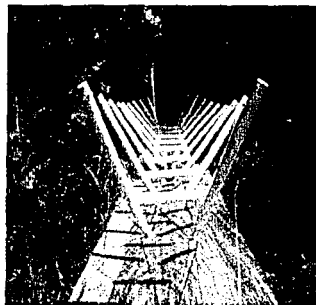
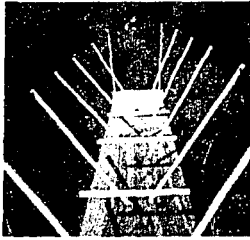
También tiene la ventaja de que pueden variarse los materiales tanto de las barras y tensores como de la membrana, para ajustarse a diferentes necesidades. Su transportación no es complicada ya que básicamente las piezas para armar esta estructura sólo son: las barras armadas con sus accesorios, los anclajes y la membrana (que puede doblarse para llevarla en una camioneta).



# PUENTE BIÓNICO

El diseño de GEO, partió de una geometría cerrada definida (la del icosaedro truncado) para establecer su configuración final aplicando el principio biónico de la tensegridad.

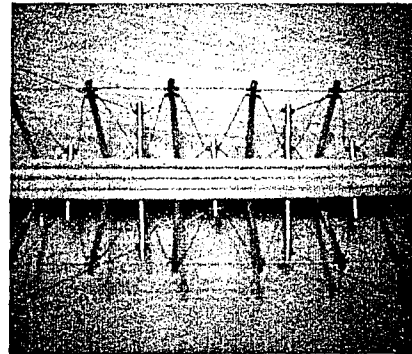
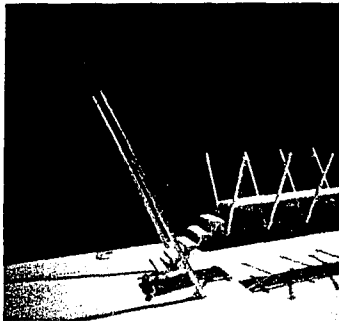
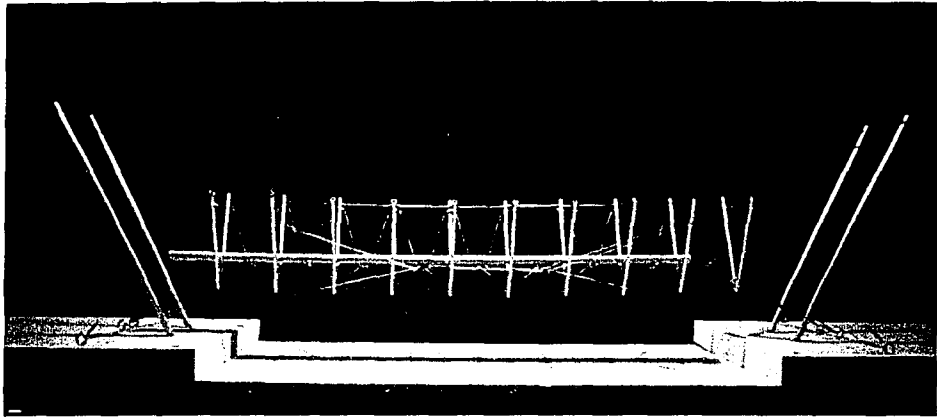
En el caso un puente diseñado con este principio, la estructura debería partir de una geometría lineal y tendría que estar sostenida en dos apoyos a los extremos. Este nuevo planteamiento requirió de una comprensión, entendimiento y aplicación diferente de la tensegridad para lo cual se desarrollaron otros nuevos modelos a escala.





## Maqueta esc. 1:200

(Con barras de aluminio y cable de acero)



## PROGRAMA ARQUITECTÓNICO

- Diseñar una estructura de alta resistencia que permita el cruce peatonal seguro de un río.
- La estructura debe librar un mínimo de 2m de altura con respecto al río en su nivel medio anual y salvar un claro de 7.5m.
- Usar materiales de larga duración con un mínimo de mantenimiento.

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### El Lugar

A lo largo del borde sur-oriente del rancho agroecológico "Agua Escondida", se encuentra la zona de cultivo orgánico denominada "el limonal", y que es atravesada por un río que divide dos zonas de trabajo muy importantes. Es en la zona donde la distancia entre estos dos puntos es menor (7.5m) donde se desarrolla este proyecto.

En época de lluvias el río sube al doble de su nivel normal, trayendo en su cauce troncos, ramas y objetos grandes que el puente debe librar.



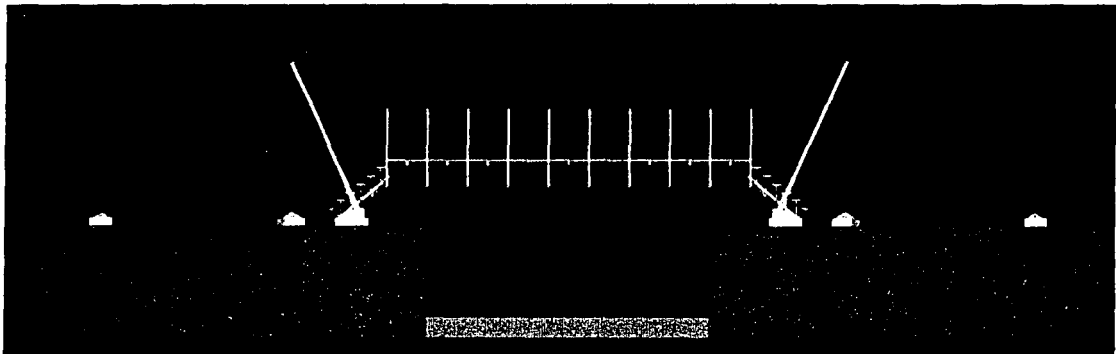
## La Estructura

Veintinueve tubos de acero galvanizado (en 2 medidas diferentes) que trabajan individualmente a compresión, se integran mediante la tracción continua de cables de acero para conformar una estructura que utilizando el principio estructural de la tensegridad se levanta sobre un río permitiendo el cruce seguro de personas de un extremo a otro.

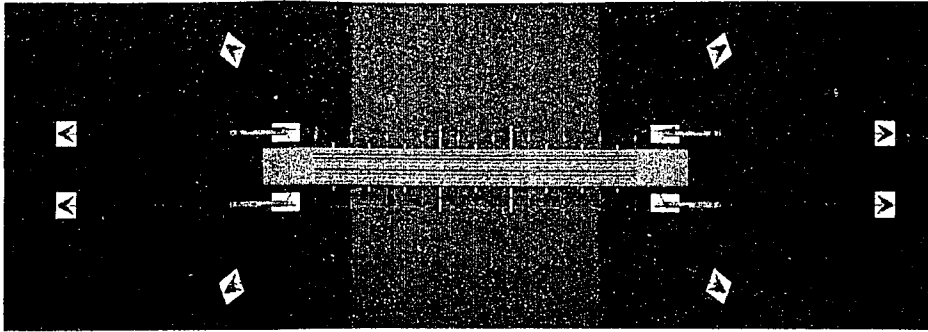
Este puente se apoya en sus dos extremos utilizando dos articulaciones y cuatro anclajes por lado librando un claro de 8m y levantándose 1.20m sobre el nivel del terreno. Estas articulaciones y anclajes se apoyan individualmente en una base de concreto.

Una escalera articulada, situada en cada extremo, permite subir al puente atravesando un recorrido de madera tratada de 80cms de ancho y asegurado por un barandal del mismo material.

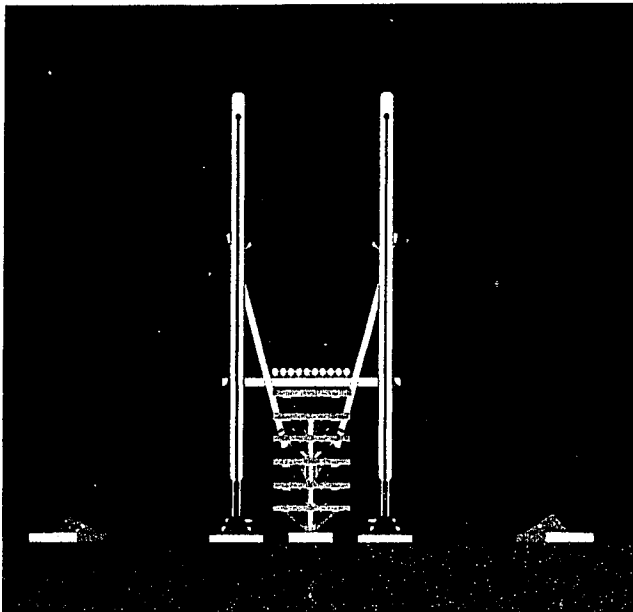
Al ser una estructura a tensegridad donde los esfuerzos se reparten uniformemente en todos sus componentes, tiene una gran resistencia en relación con su propio peso.



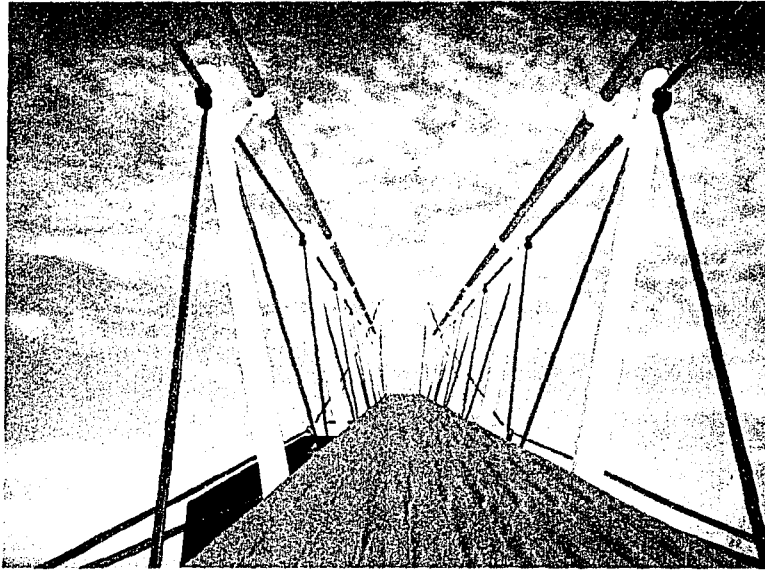
ALZADO



PLANTA

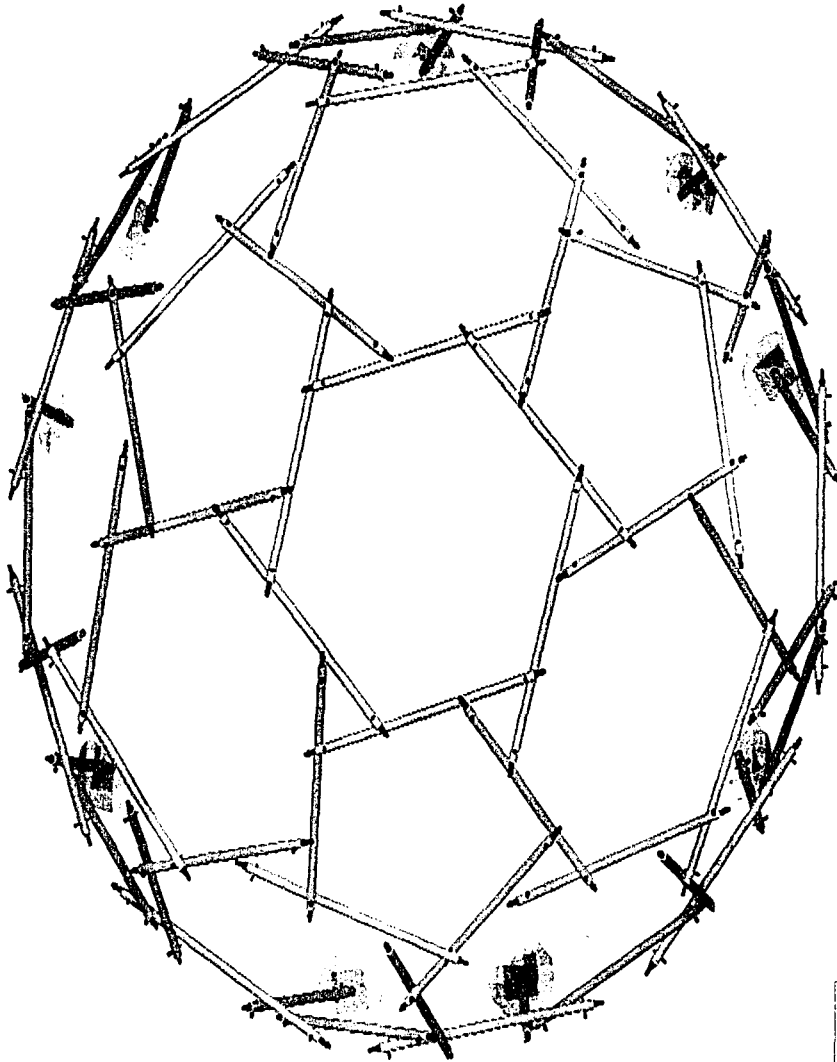


ALZADO FRONTAL



Aunque el Puente Biónico se plantea construir con tubos de acero, puede variarse el material de las barras. El bambú es una excelente opción en zonas no muy húmedas ya que estando a la intemperie tiende a abrirse con los cambios humedad. Esto aún puede ser solucionado con abrazaderas a lo largo de la barra para impedir que se abra.

# PLANTA

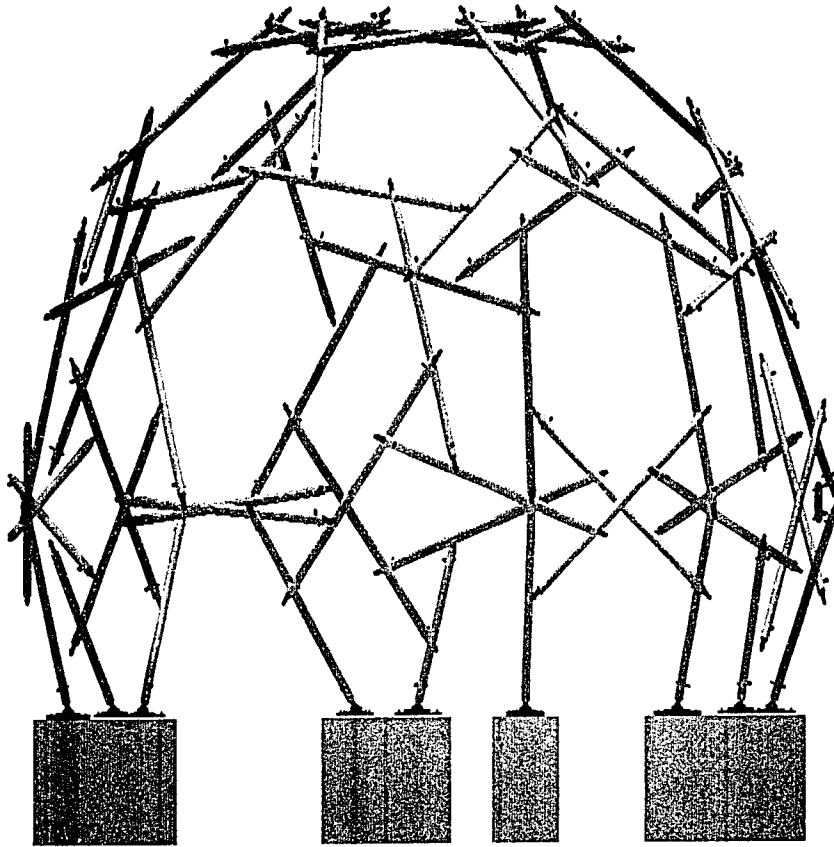


Diámetro total a nivel  
de piso: 6m.

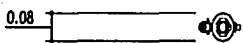
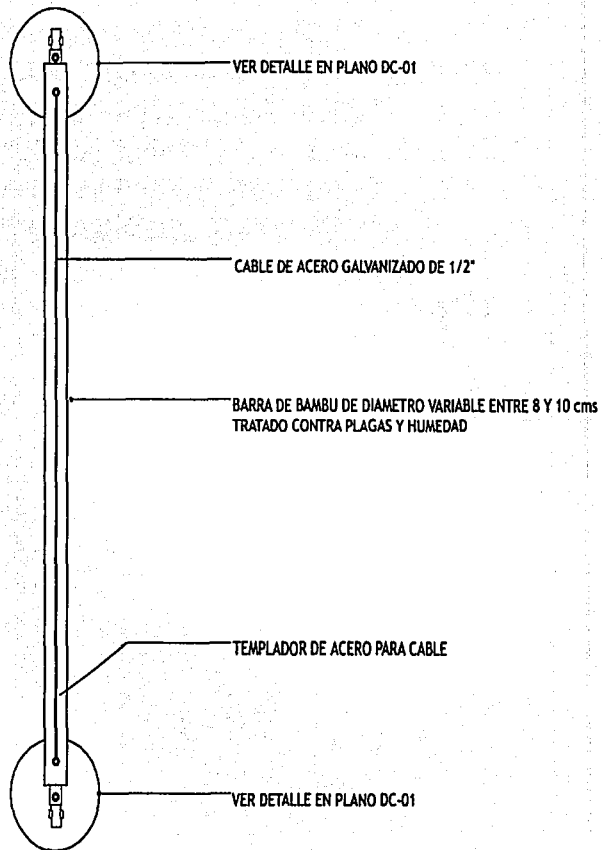
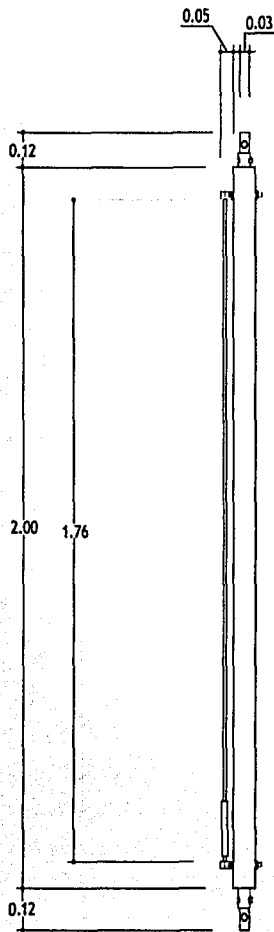
TÉRMINOS:	
Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.	
PROYECTO:	<b>GEO</b>
PLANO:	planta de conjunto
ESCALA:	s/e
COTAS:	s/m
<b>A-01</b>	

# ALZADO

Altura máxima: 5.70m.



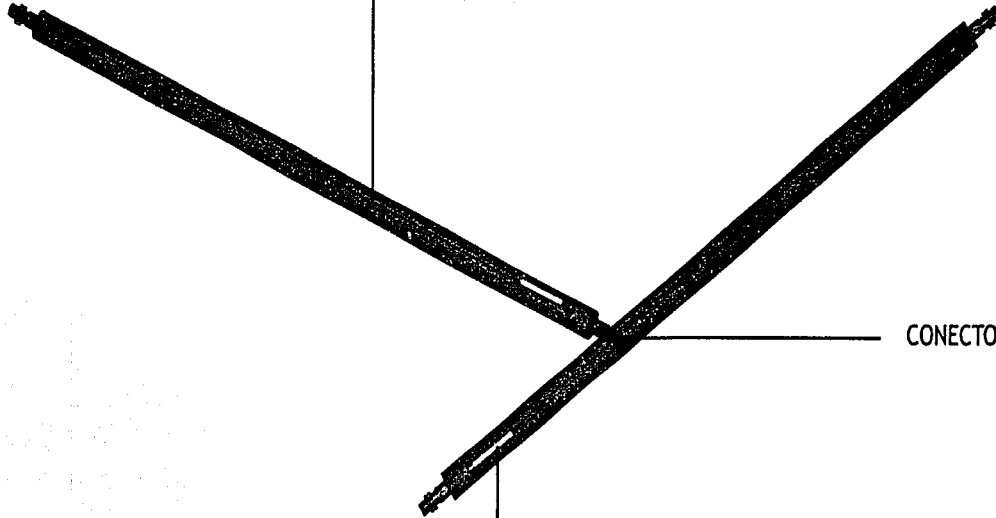
TESIS:		Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.	
PROYECTO:	GEO		A-02
PLANO:	alzado		
ESCALA:	s/e	COTAS:	



TESIS: <b>Rancho Agroecológico "Agua Escondida"</b> Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>GEO</b>	<b>DB-01</b>
PLANO: detalle de barra	
ESCALA: 1:20	
COTAS: metros	



CABLE DE ACERO GALVANIZADO

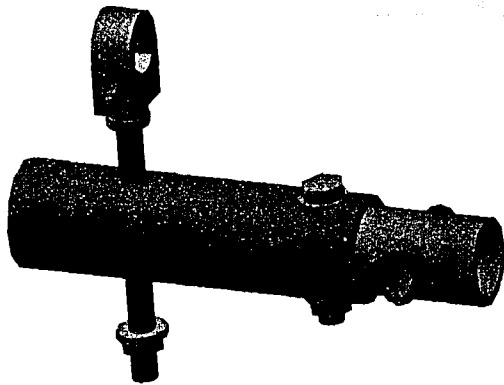
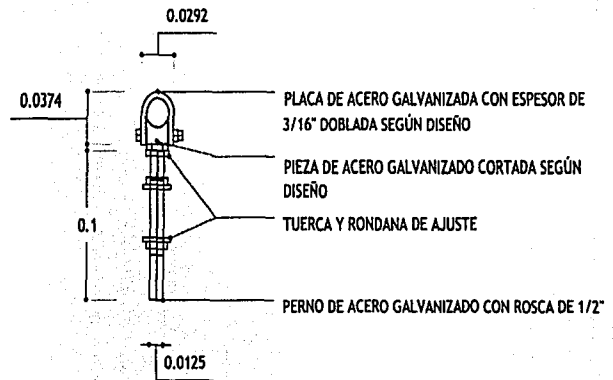
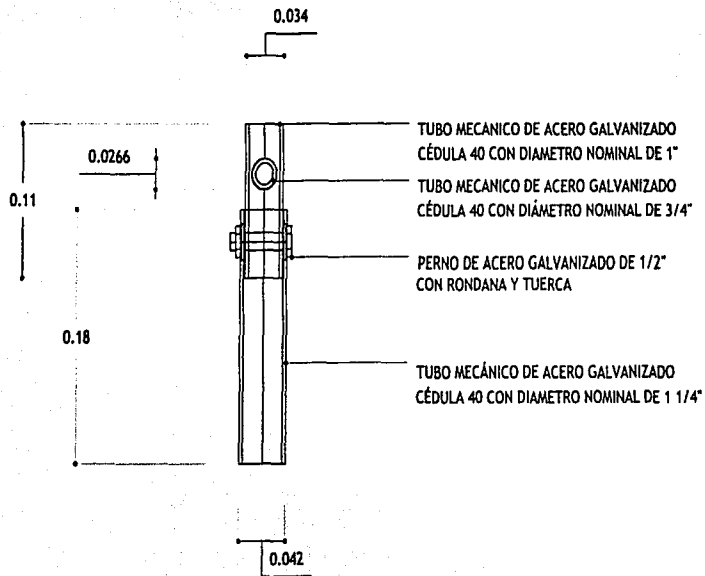


CONECTORES (ver plano DC-01)

TEMPLADOR DE ACERO PARA CABLE

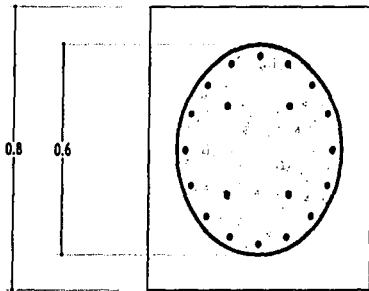
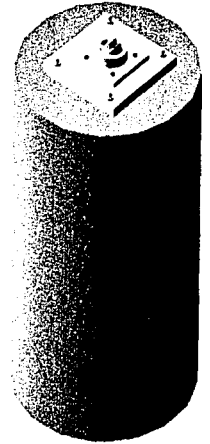
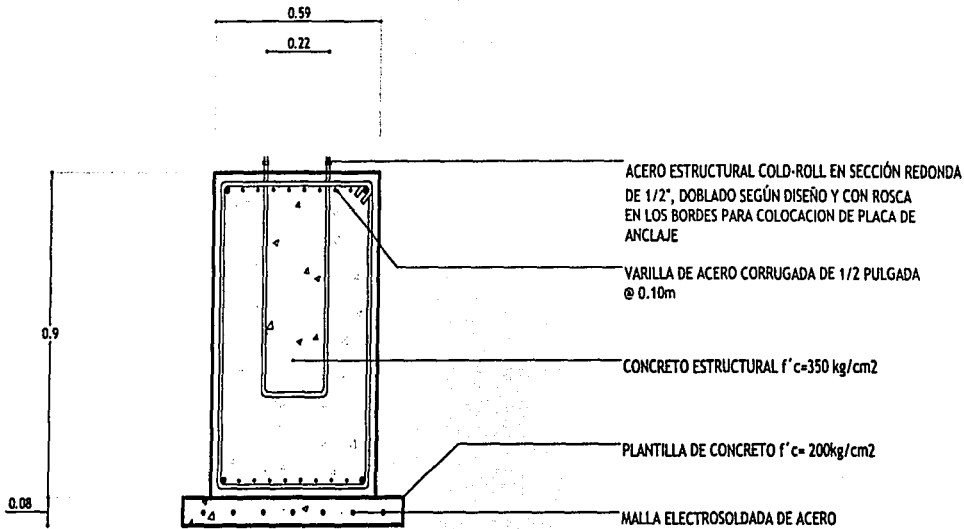
DETALLE DE CONEXION DE BARRAS

TESIS: Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>G E O</b>	<b>DC-00</b>
PLANO: detalle de conexiones	
ESCALA: s/e      COTAS: s/m	



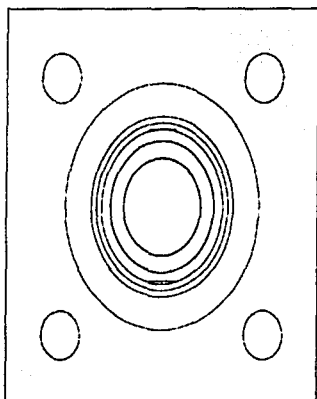
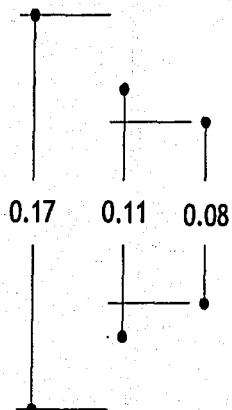
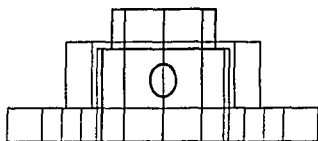
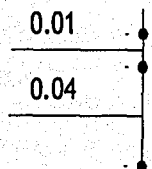
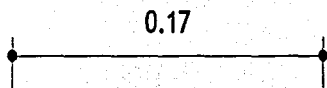
TESS:		<b>Rancho Agroecológico "Agua Escondida"</b> Xico, Ver.
PROYECTO:		
<b>GEO</b>		<b>DC-01</b>
PLANO:		
detalles de conexiones		
ESCALA:	1:5	COTAS: metros

# CIMENTACIÓN



TESIS: <b>Rancho Agroecológico "Agua Escondida"</b> Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>GEO</b>	<b>DA-01</b>
PLANO: detalle de anclaje	
ESCALA: 1:20	
COTAS: metros	

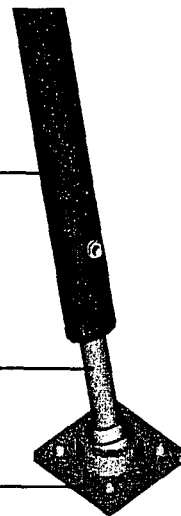
# CHUMACERA



BARRA DE BAMBÚ

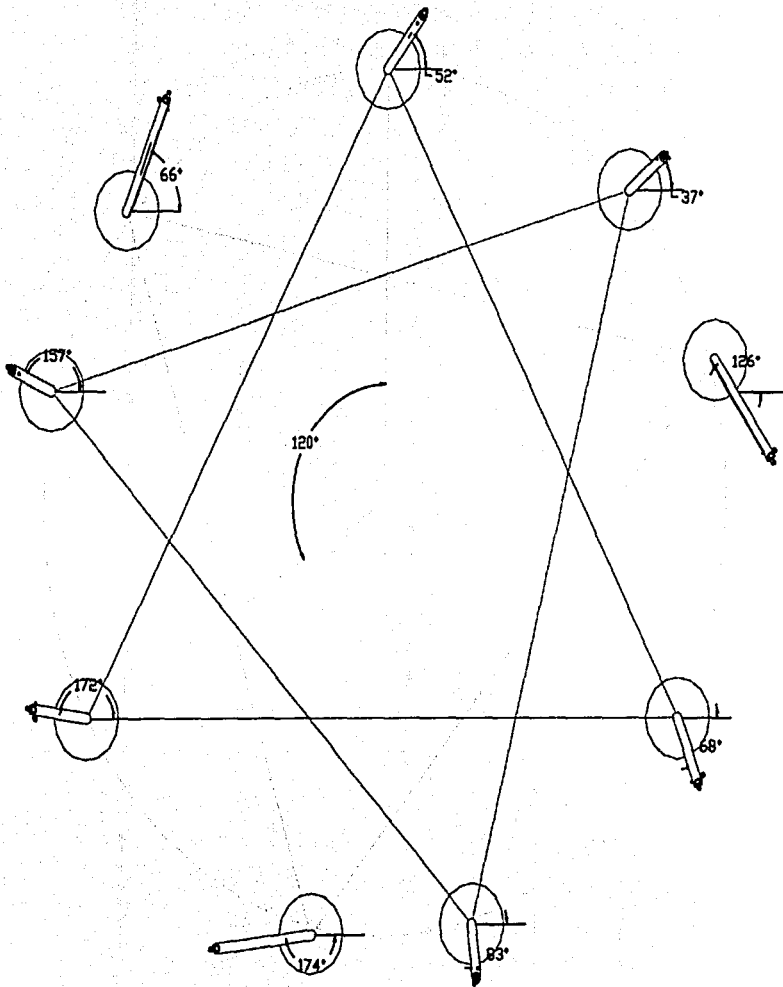
TUBO CONECTOR

CHUMACERA  
INDUSTRIAL DE  
PARED PARA FLECHA



TESIS: <b>Rancho Agroecológico "Agua Escondida"</b> Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>GEO</b>	<b>DA-02</b>
PLANO: detalle de anclaje	
ESCALA: 1:3 COTAS: metros	

## DISPOSICION GEOMETRICA DE LAS BASES

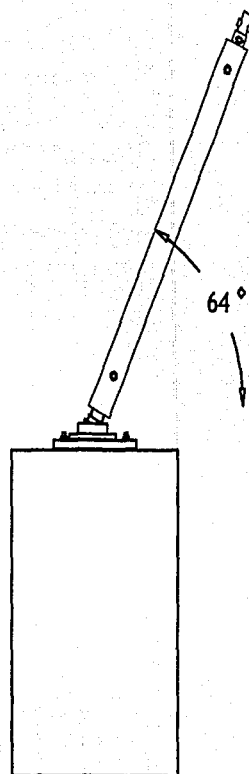
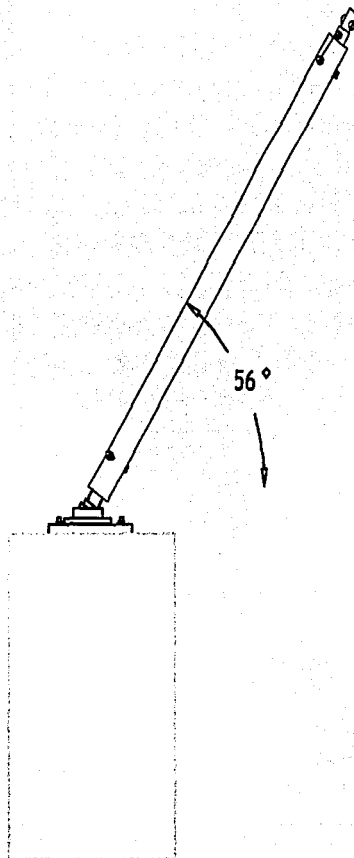
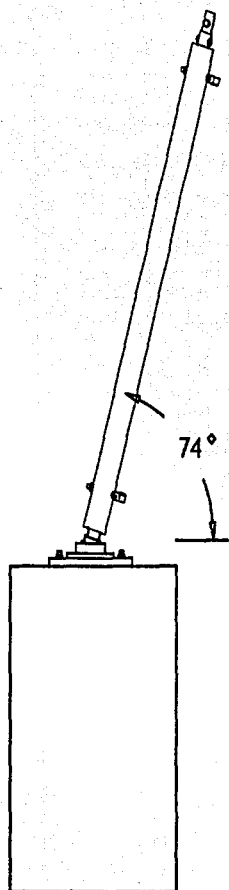


Existen en la estructura 3 tipos de barras base. Esta clasificacion se dio de acuerdo al angulo que tiene cada una de ellas con respecto a una horizontal imaginaria.

Cada color indica la relacion geometrica de las tres barras que forman un triangulo equilatero. De esta manera, el trazo para la ubicacion de las bases se facilita partiendo un circulo base con un radio de 3.20m.

En esta planta se indican los angulos de giro cada barra con respecto a la direccion del norte.

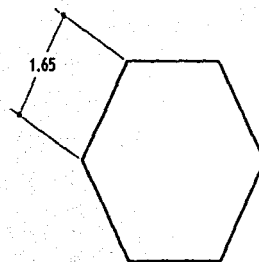
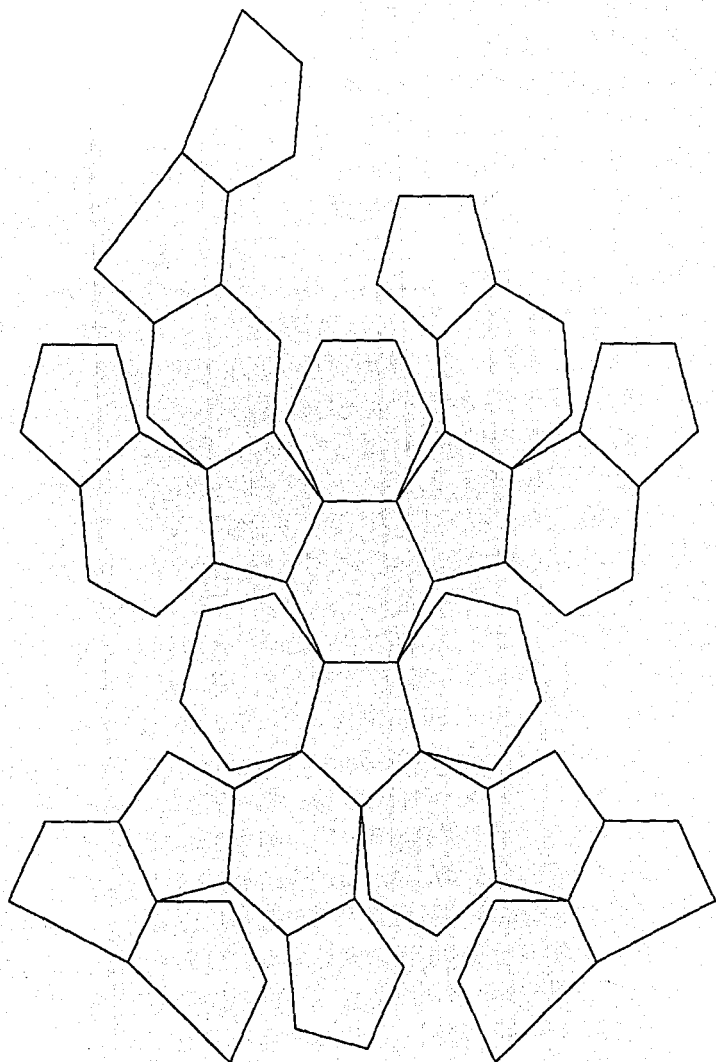
TESIS:	
Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.	
PROYECTO:	<b>GEO</b>
PLANO:	especificación de trazo
ESCALA:	COTAS:
s/e	s/m
<b>DA-03</b>	



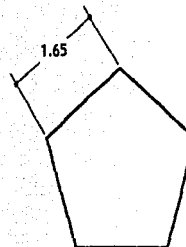
INCLINACION DE LAS BARRAS CON RESPECTO  
A LA HORIZONTAL

TEMA:	
Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.	
PROYECTO:	
G E O	
PLANO:	
especificación de ángulos	
ESCALA:	COTAS:
1:20	metros
<b>DA-04</b>	

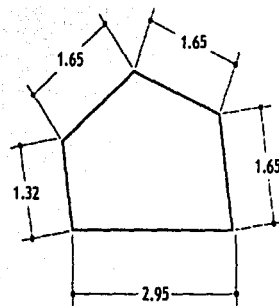
# PLANTILLA



10 HEXAGONOS



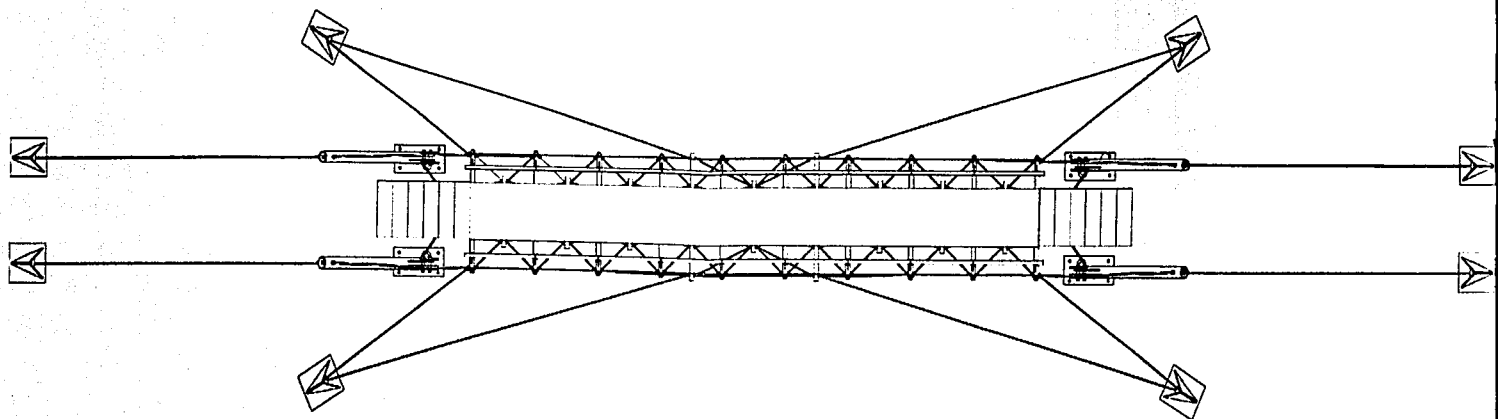
9 PENTAGONOS



6 IRREGULAR

TEMA: <b>Rancho Agroecológico "Agua Escondida"</b> Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>GEO</b>	<b>PA-01</b>
PLANO: membrana	
ESCALA: 1:100	
COTAS: metros	

# PLANTA DE CONJUNTO

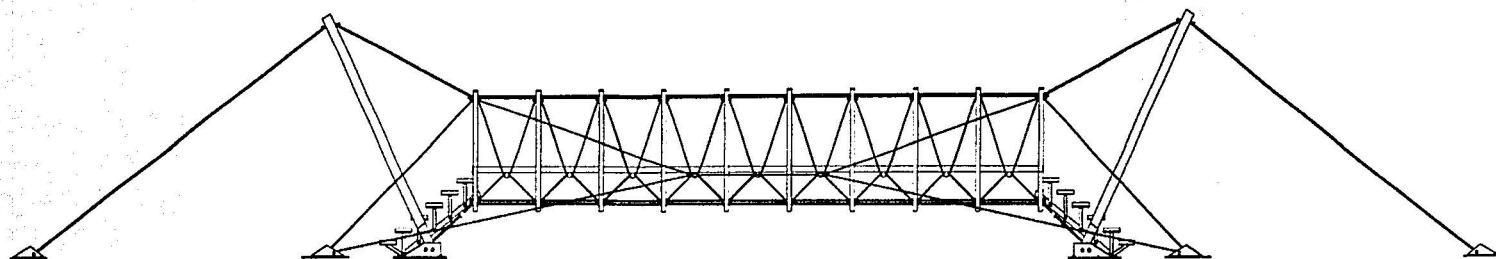


TERR:	
Rancho Agroecológico "Agua Esc	
PROYECTO:	<b>Puente Biónico</b>
PLANO:	planta de conjunto
ESCALA:	1:100
COTAS:	metros

A-



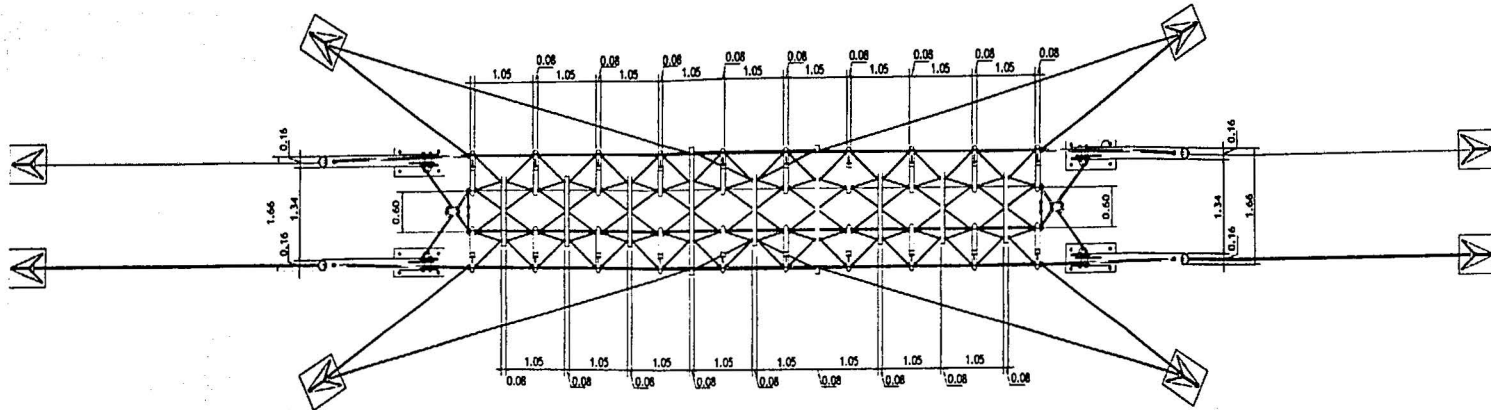
# ALZADO LATERAL



TEMA:	
Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico	
PROYECTO:	
Puentes Biónicos	
PLANO:	
alzado lateral	
ESCALA:	COTAS:
1:100	metros

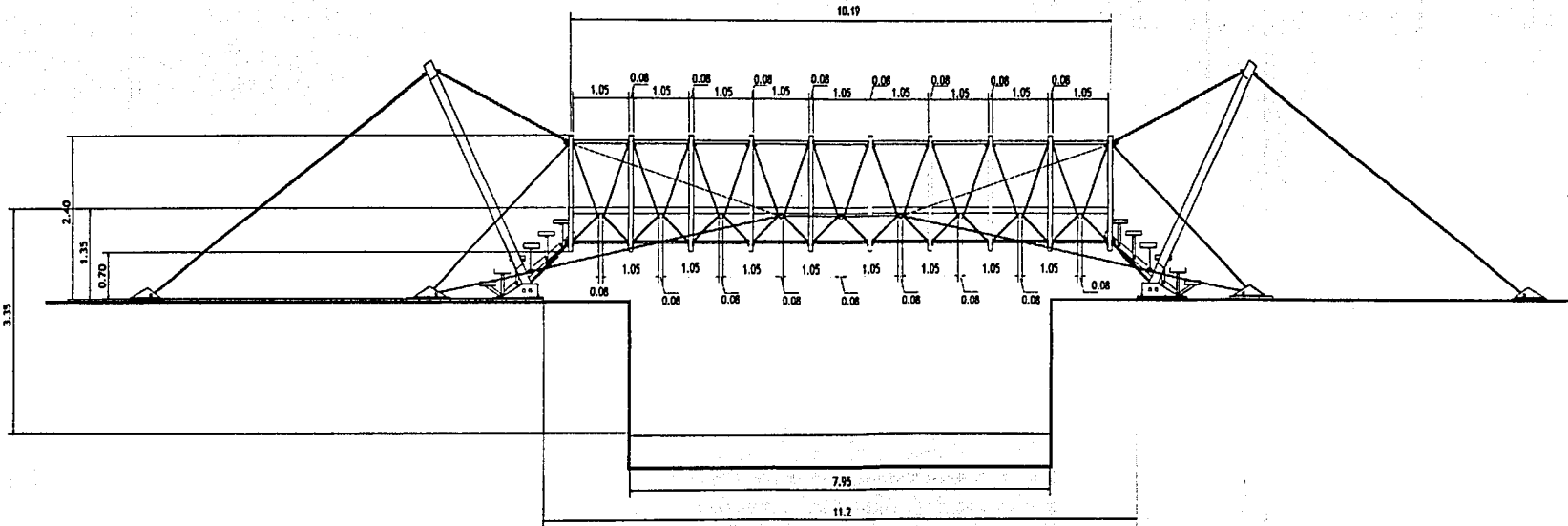
A-0

# PLANTA ESTRUCTURAL



TESIS:	
Rancho Agroecológico "Agua Escor	
X	
PROYECTO:	A-
Puente Biónico	
PLANO:	planta de estructura
ESCALA:	metros
1:100	

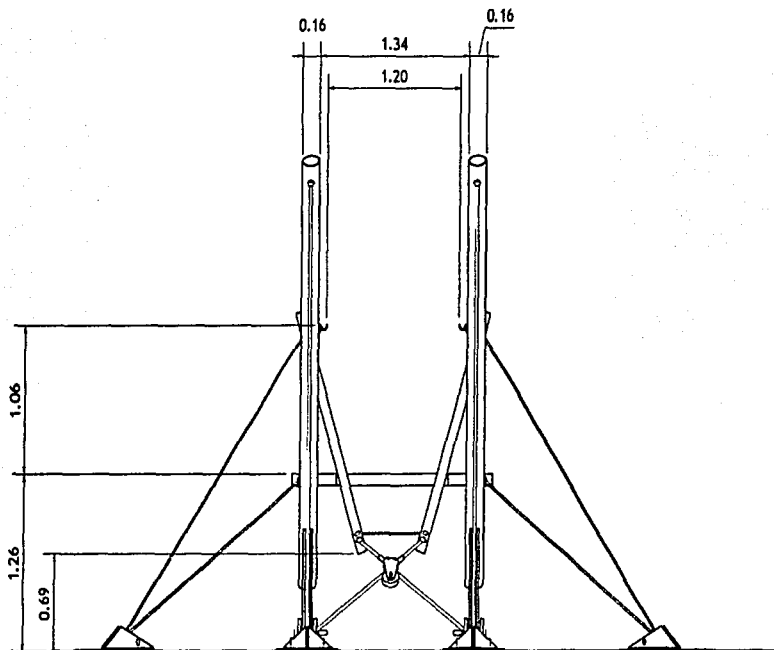
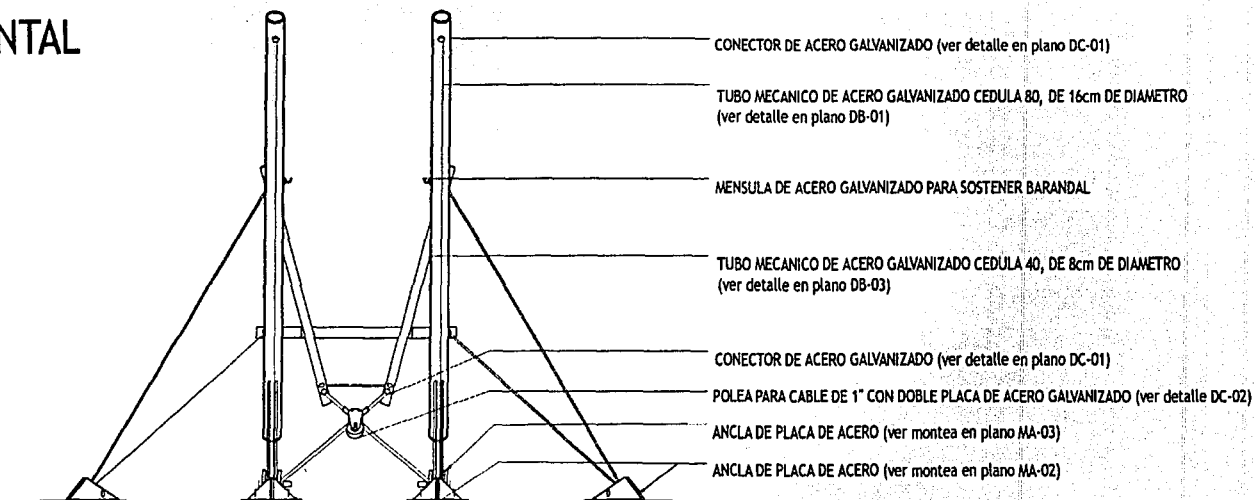
# ALZADO LATERAL



TESIS: Rancho Agroecológico "Agua Esc	
PROYECTO: <b>Puente Biónico</b>	
PLANO: alzado lateral	
ESCALA: 1:100	COTAS: metros

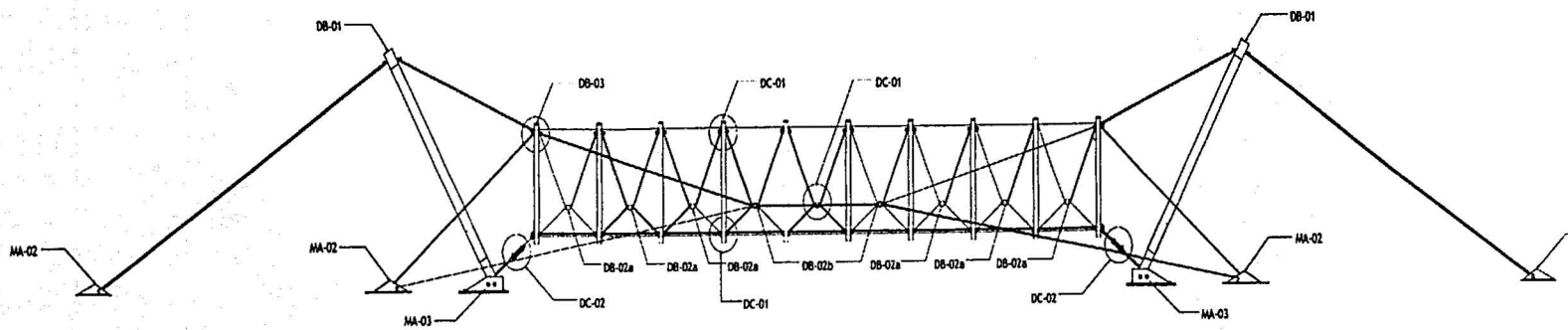
A

# ALZADO FRONTAL



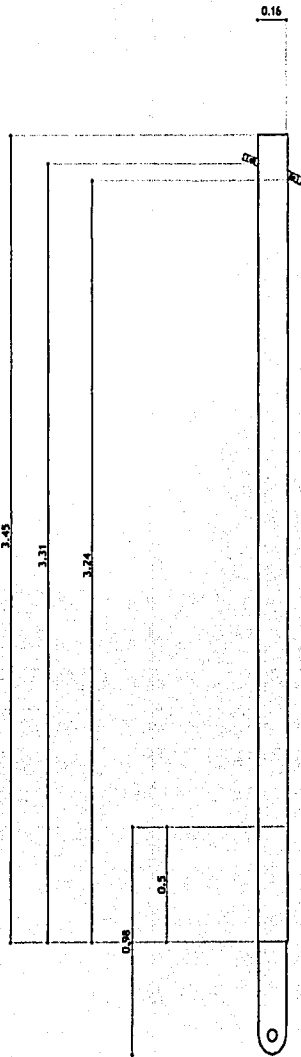
TESIS: <b>Rancho Agroecológico "Agua Escondida"</b> Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>Puente Biónico</b>	<b>A-05</b>
PLANO: alzado frontal	
ESCALA: 1:50      COTAS: metros	

# ALZADO LATERAL



TEMAS:	
Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver	
PROYECTO:	Puente Biónico
PLANO:	referencia de detalles y montes
ESCALA:	1:100
COTAS:	s/m

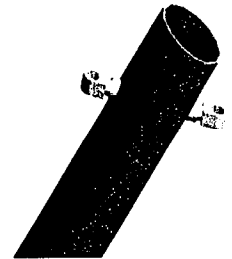
RF-01



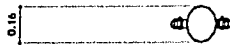
CONECTOR DE ACERO GALVANIZADO (ver detalle en plano DC-01)

TUBO MECANICO DE ACERO GALVANIZADO CEDULA 80 DE 6" DE DIAMETRO EXTERIOR, Y ESPESOR DE PARED DE 7mm

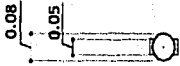
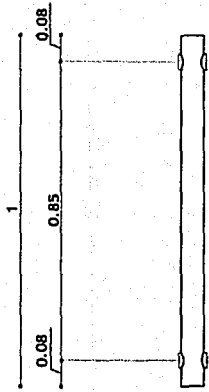
PLACA DE ACERO GALVANIZADO DE 1" DE ESPESOR CON PERFORACION CIRCULAR INFERIOR PARA CRUCE DE PERNO Y ARTICULACION CON ANCLA (ver detalle en plano MA-03)



DETALLE



TEMA:		Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.	
PROYECTO:		Puente Biónico	
PLANO:		detalle de barra	
ESCALA:	1:30	COTAS:	metros
			<b>DB-01</b>



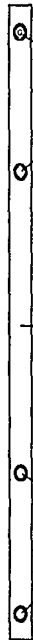
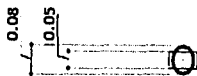
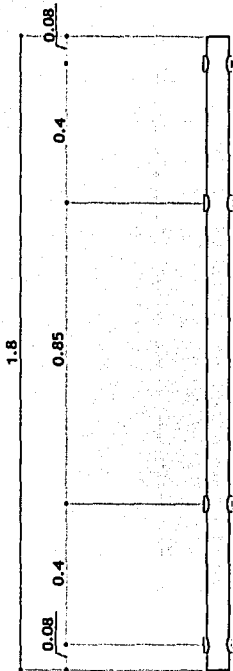
NIPLE DE ACERO GALVANIZADO CON BORDES REDONDEADOS PARA PERMITIR DOBLE PASO DE CABLES SECUNDARIOS (ver detalle en plano DC-01)

TUBO MECANICO DE ACERO GALVANIZADO CEDULA 40 DE 3", CON DIAMETRO EXTERIOR DE 88.9mm Y CON ESPESOR DE PARED DE 5mm

NIPLE DE ACERO GALVANIZADO CON BORDES REDONDEADOS PARA PERMITIR DOBLE PASO DE CABLES SECUNDARIOS (ver detalle en plano DC-01)



## DETALLE



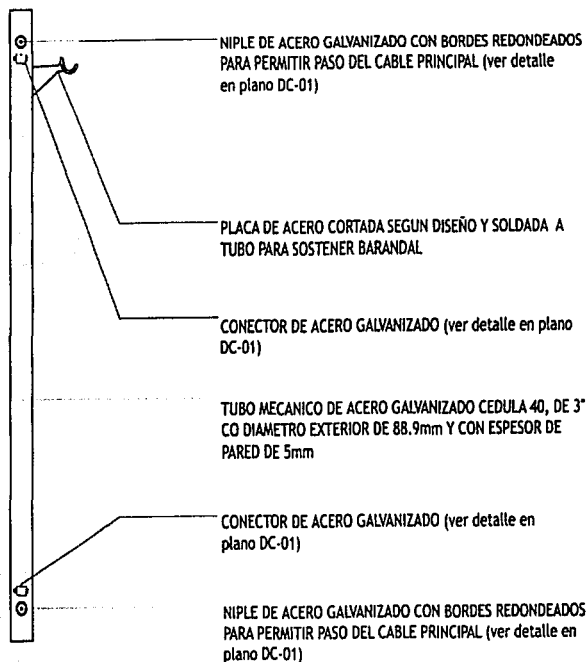
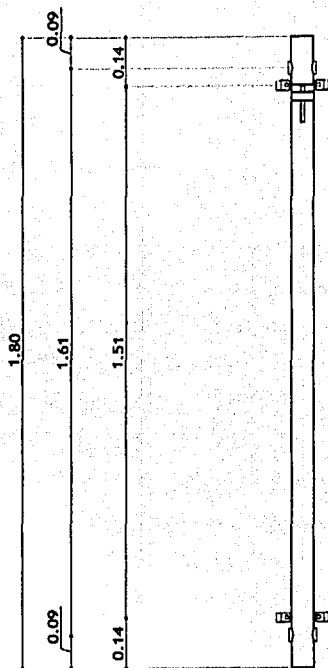
NIPLE DE ACERO GALVANIZADO CON BORDES REDONDEADOS PARA PERMITIR DOBLE PASO DE CABLES SECUNDARIOS (ver detalle en plano DC-01)

TUBO MECANICO DE ACERO GALVANIZADO CEDULA 40 DE 3", CON DIAMETRO EXTERIOR DE 88.9mm Y CON ESPESOR DE PARED DE 5mm

NIPLE DE ACERO GALVANIZADO CON BORDES REDONDEADOS PARA PERMITIR DOBLE PASO DE CABLES SECUNDARIOS (ver detalle en plano DC-01)

TESIS:		Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.	
PROYECTO:		Puentes Biónico	
PLANO:		detalle de barras	
ESCALA:	1:20	COTAS:	metros

# DB-02

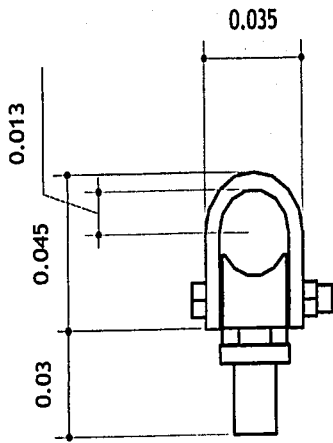


DETALLE

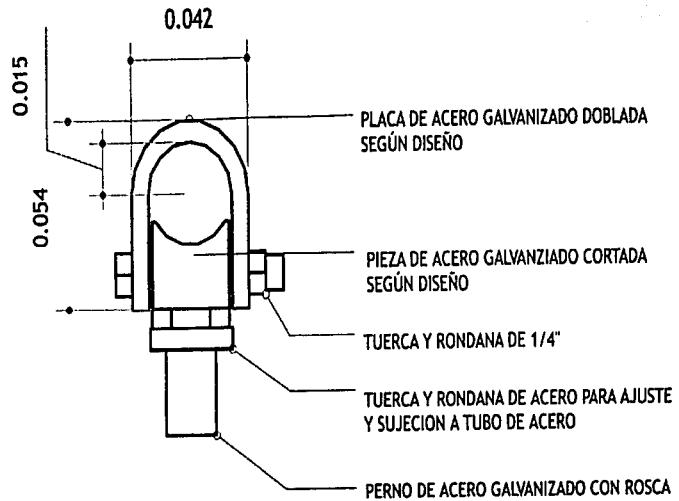


TESIS:		<b>DB-03</b>
Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.		
PROYECTO:	Puente Biónico	
PLANO:	detalle de barras	
ESCALA:	1:20	COTAS: metros

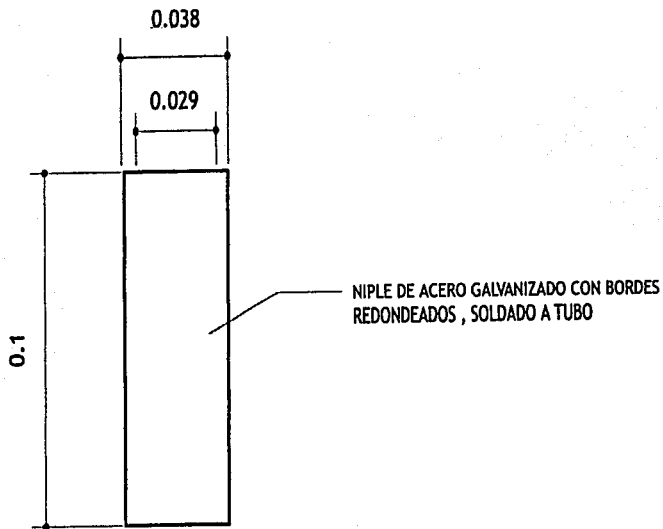




CONECTOR 1

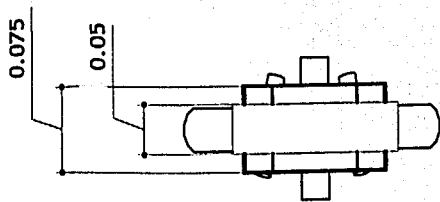


CONECTOR 2

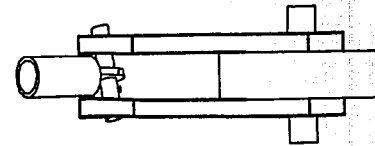


NIPLA 1

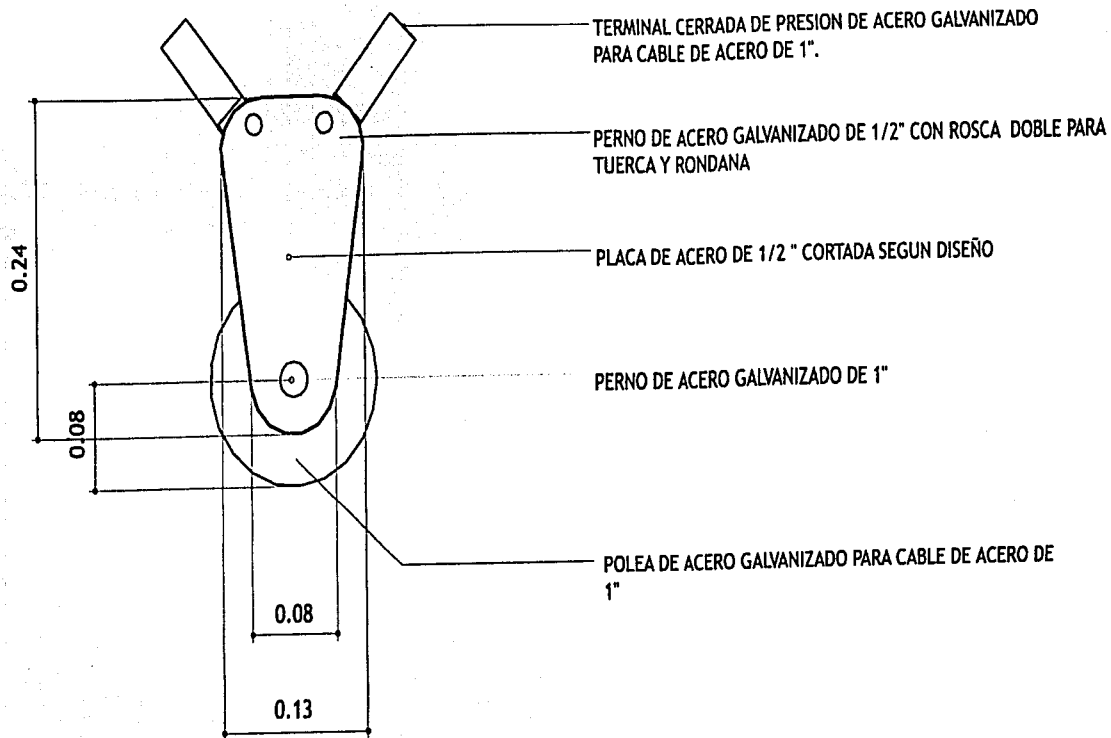
TESIS: <b>Rancho Agroecológico "Agua Escondida"</b> Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>Puente Biónico</b>	<b>DC-01</b>
PLANO: detalle de conectores	
ESCALA: 1:2      COTAS: metros	



ALZADO FRONTAL

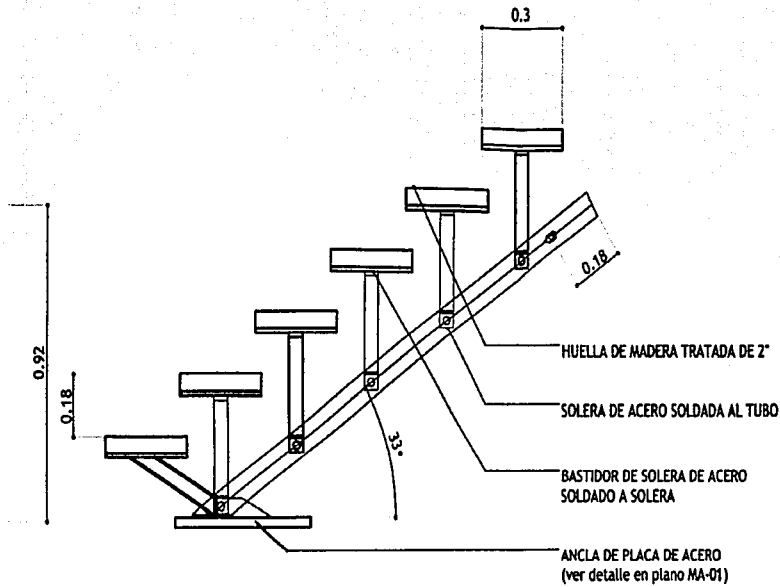


ALZADO LATERAL

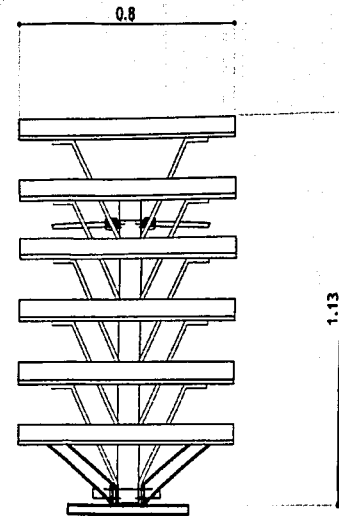


PLANTA

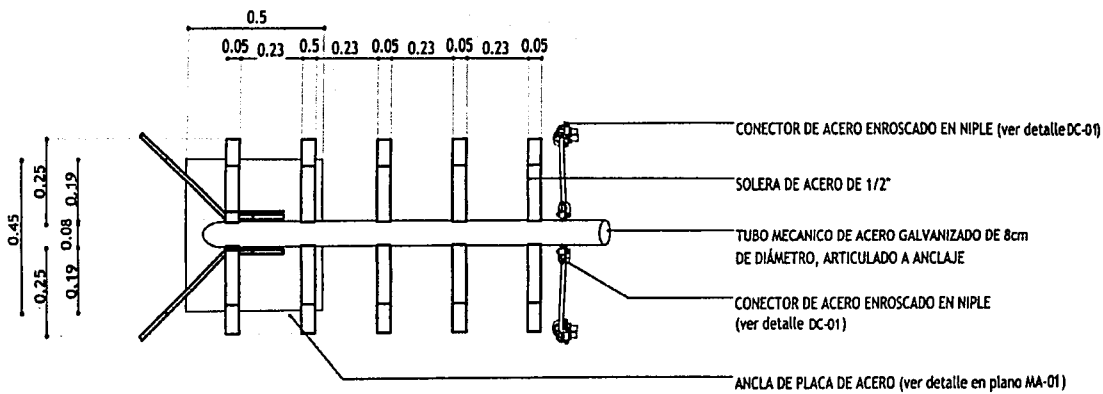
TESIS:		Rancho Agroecológico "Agua Escor"
PROYECTO:		<b>Puente Biónico</b>
PLANO:		montea de polea
ESCALA:	1:50	COTAS: metros
		<b>DC</b>



ALZADO LATERAL



ALZADO FRONTAL

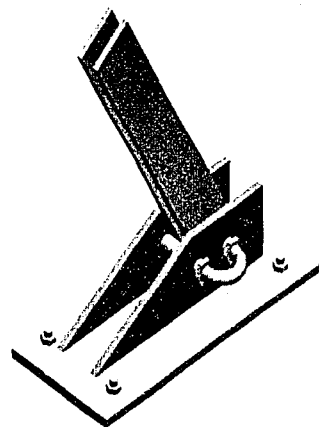
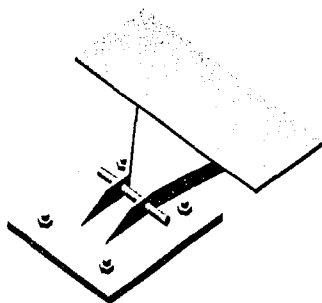
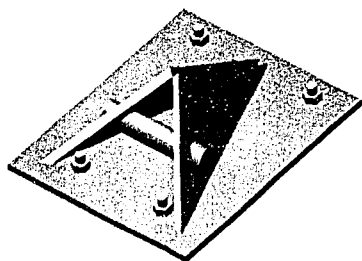


PLANTA

TESIS: Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>Puente Biónico</b>	
PLANO: montea de escaleras	
ESCALA: 1:20	COTAS: metros

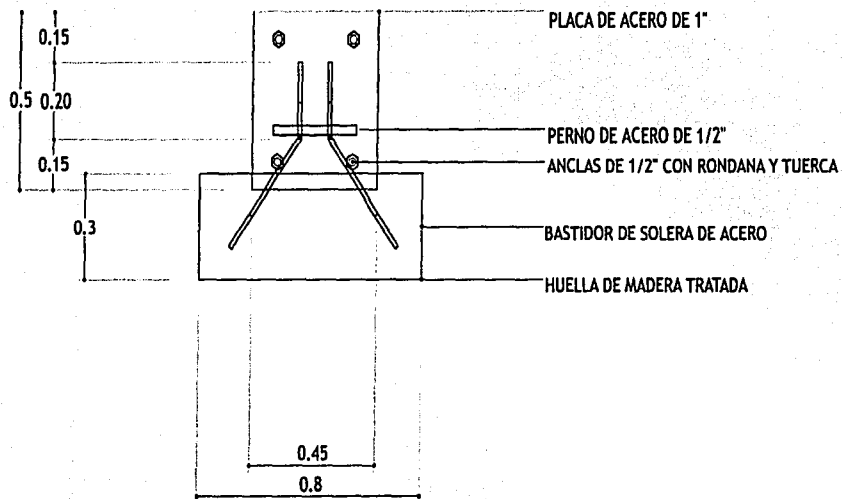
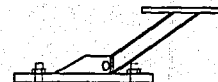
ME-0

# ANCLAJES



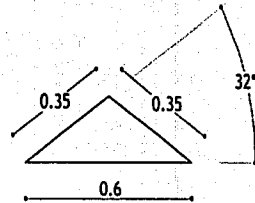
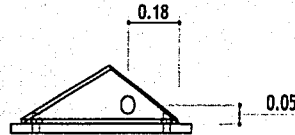
Tesis:		<b>MA-00</b>	
Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.			
Proyecto:	Puente Biónico		
Plano:	isométrico		
Escala:	s/e	Cotas:	s/m

# ANCLA DE ESCALERA

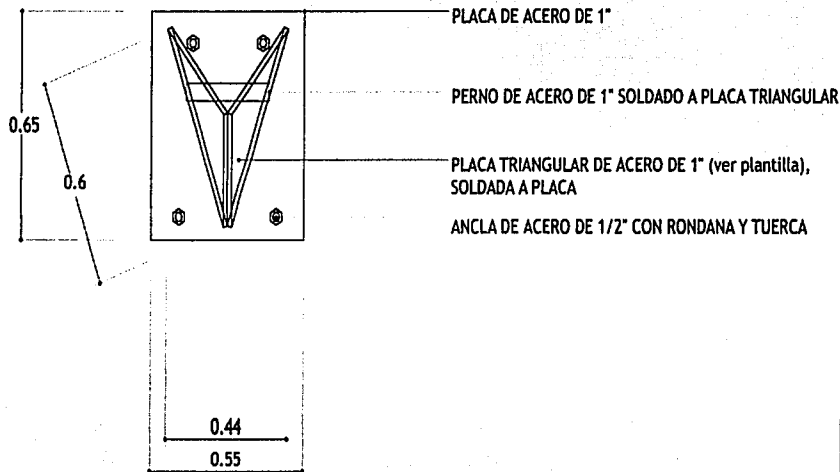


TEKS:		Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.	
PROYECTO:		Puente Biónico	
PLANO:		detalle anclaje	
ESCALA:	1:20	COTAS:	metros
			<b>MA-01</b>

# ANCLAJE PARA CABLES

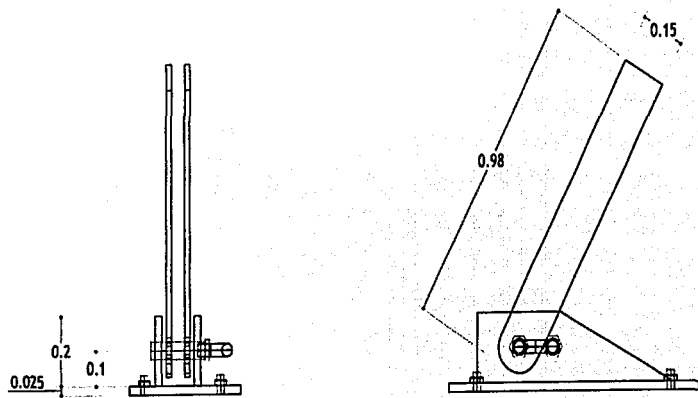


PLANTILLA

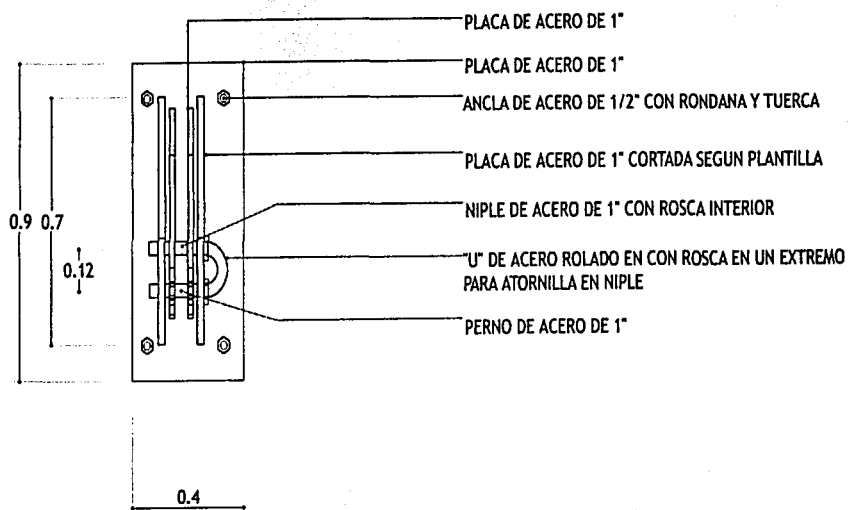


TESIS: Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.	
PROYECTO: Puente Biónico	<b>MA-02</b>
PLANO: detalle anclaje	
ESCALA: 1:20	COTAS: metros

# ANCLA PRINCIPAL

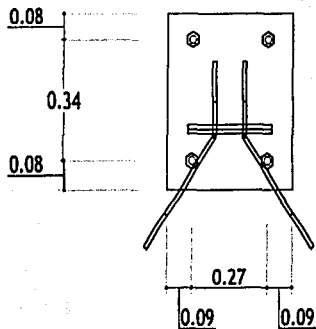
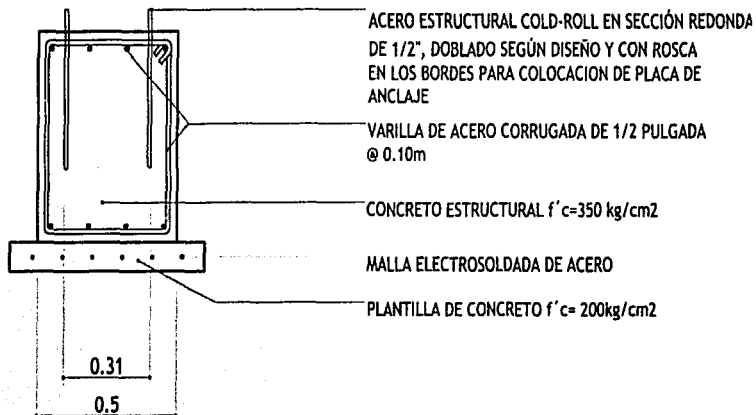
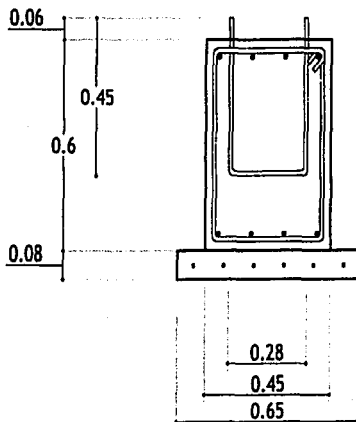


PLANTILLA



TESIS: Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.		<b>MA-03</b>
PROYECTO: Puente Biónico		
PLANO: detalle anclaje		
ESCALA: 1:20	COTAS: metros	

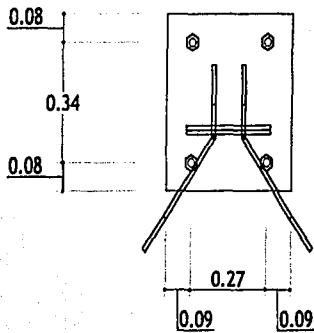
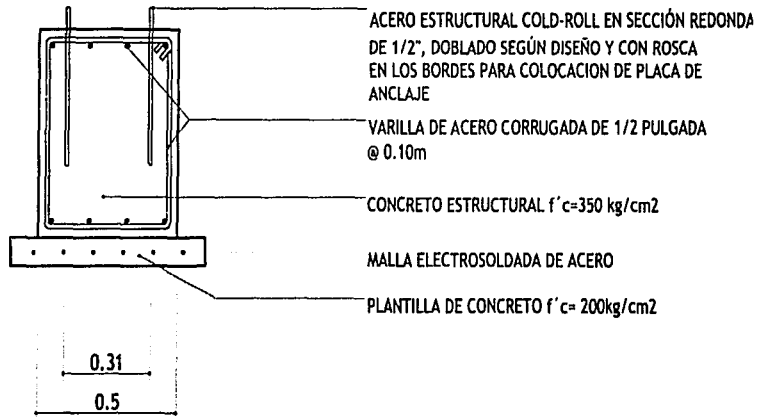
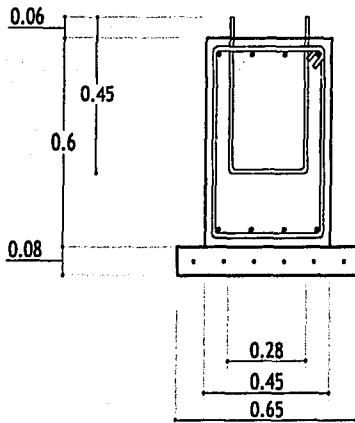
# CIMENTACIÓN



TESIS:		<b>CA-01</b>
Rancho Agroecológico "Agua Escondida" Xico, Ver.		
PROYECTO:	Puente Biónico	
PLANO:	detalle cimentación	
ESCALA:	1:20	COTAS: metros

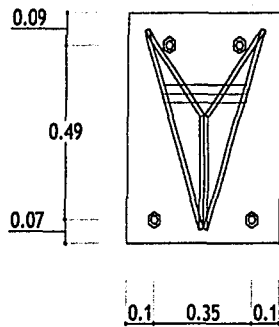
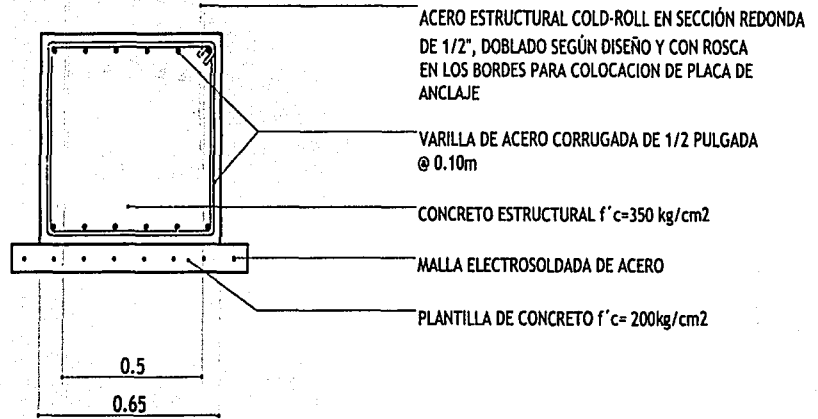
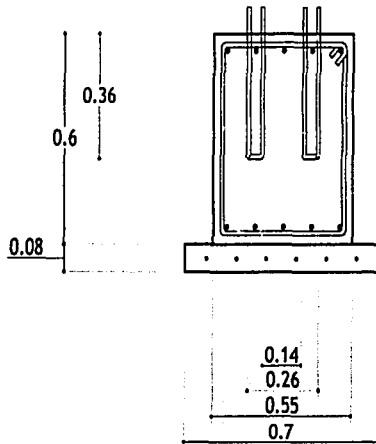


# CIMENTACIÓN



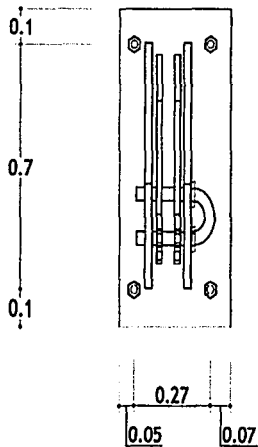
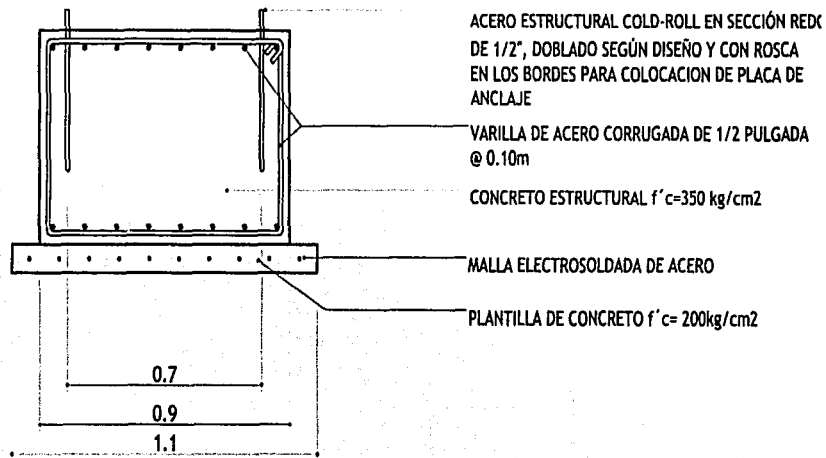
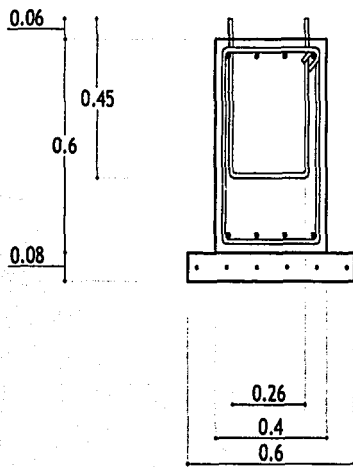
TESIS: <b>Rancho Agroecológico "Agua Escondida"</b> Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>Puente Biónico</b>	<b>CA-01</b>
PLANO: detalle cimentación	
ESCALA: 1:20      COTAS: metros	

# CIMENTACIÓN



TESIS: <b>Rancho Agroecológico "Agua Escondida"</b> Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>Puente Biónico</b>	
PLANO: detalle cimentación	
ESCALA: 1:20	COTAS: metros
CA-02	

# CIMENTACIÓN



TESIS: <b>Rancho Agroecológico "Agua Escondida"</b> Xico, Ver.	
PROYECTO: <b>Puente Biónico</b>	
PLANO: <b>detalle cimentación</b>	
ESCALA: 1:20	COTAS: metros
CA-03	

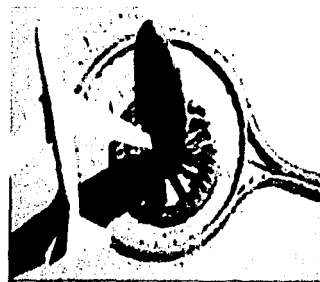
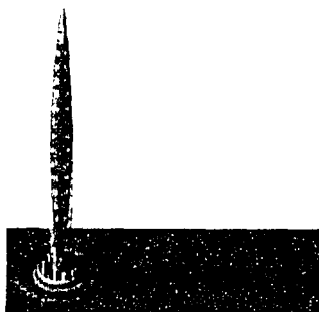
# APÉNDICE

# LA ARQUITECTURA BIÓNICA DE HOY

## TORRE BIÓNICA

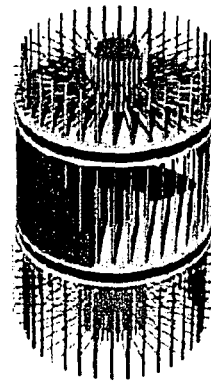
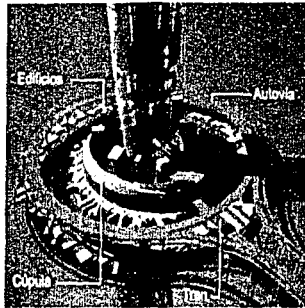
Uno de los problemas más fuertes a los que hoy en día se enfrenta la humanidad es a su incontrolado crecimiento y consecuente sobrepoblación de ciudades. En el año 2000 la población era aproximadamente de 6,000 millones y las previsiones menos optimistas para el 2050 estiman que esta cantidad podría duplicarse, y los modelos urbanos empleados hasta hoy no han demostrado gran efectividad.

La biónica es definitivamente una herramienta efectiva para resolver estos problemas y prueba de ello es el proyecto desarrollado por los arquitectos Eloy Celaya, Javier Pioz y la Dra. Arquitecto Ma. Rosa Cervera, denominado TORRE BIÓNICA que voz de sus creadores representa "el primer modelo existente de estructura urbana bio-ecológica que se basa en los principios de flexibilidad y adaptabilidad de las estructuras biológicas que es capaz de ajustar su altura, capacidad y uso, a las diferentes condiciones económicas, medioambientales y sociales de las ciudades donde se construya.



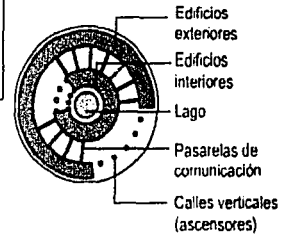
Con capacidad para 100,000 habitantes y con un área de 1 kilómetro de diámetro, la ciudad vertical se inspira en modelos de la naturaleza: la ligereza y resistencia de los huesos de las aves, la flexibilidad de las estructuras vegetales, y también la capacidad que tienen los organismos para adaptarse. Esta gran ciudad está compuesta por 12 barrios verticales de 80 metros de altura cada uno, independizada entre sí por áreas de seguridad para facilitar tanto la racionalidad tecno-económica de su construcción por fases, como su desalojo en caso de emergencia. Cada barrio, o nivel, posee dos grupos de edificios, uno interior y otro exterior, ambos alrededor de grandes jardines verticales y estanques. El segundo complejo, la "Isla Base", forma un conjunto de 1,000 metros de diámetro en el que se distribuyen edificaciones de media altura, extensos jardines, lagos interiores e infraestructuras de comunicación.

El uso previsto de ambos complejos es muy polivalente: Hoteles, Oficinas, Viviendas, Comercios, Dotaciones Culturales, Deportivas y Lúdicas.



#### Edificios

Cada nivel tendrá dos grupos de edificios, uno interior y otro exterior, con un pequeño lago en el centro.

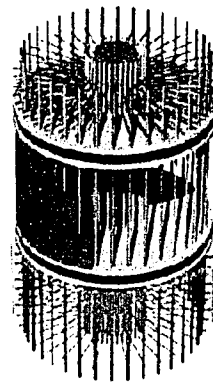
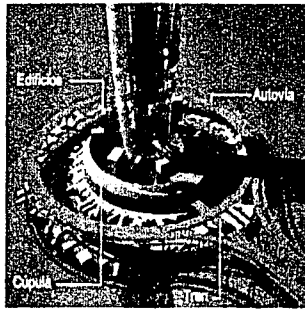


El material principal a usar sería el Hormigón de Altas Prestaciones (HAP) que con la ayuda de superfluidificantes avanzados derivados de los copolímeros de vinilo en combinación con plastificantes y refrigerado con la adición de nitrógeno líquido ha conseguido convertirse en un material de alta homogeneidad y varias veces más resistente que los hormigones convencionales, alcanzando una resistencia 1000 kg/cm<sup>2</sup> y en algunos experimentos hasta de 2000 kg/cm<sup>2</sup>, además de garantizar una durabilidad de al menos 100 años.

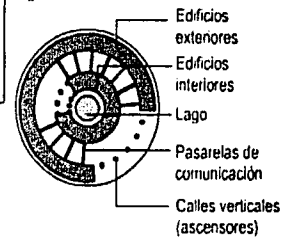
En la mayoría de las especies vegetales, tanto de desarrollo horizontal como vertical, están presentes los diferentes órdenes radial, central o arborescente. Muy sugerente es, asimismo, el modo en que estructura y forma se compenetrán, siendo ambas entidades independientes a la vez que dependientes entre sí. Aunque las identifiquemos visualmente, nos costaría mucho detectar la frontera en la que la estructura se transforma en piel y viceversa. Es esta polivalencia estructural y formal de los elementos que componen los organismos vivos una de las razones biónicas más sólidas para enfocar el diseño estructural de la Torre Biónica como si de un todo estructural se tratara.

El modelo convencional de rascacielos considera como sistemas independientes –incluso separados espacialmente– los sistemas estructurales (columnas, vigas y forjados), los conductos de fluidos (climatización, agua, electricidad) y los conductos de ascensores. En Torre Biónica, sin embargo, cada una de las cápsulas que componen la estructura primaria alberga en su interior, mediante un sistema continuo de contenedores, los diferentes mecanismos resistentes, de fluidos y de comunicación. De esta manera, las redes eléctricas e instalaciones de climatización y agua se ubican dentro de cápsulas herméticas situadas en el interior de las cápsulas del sistema de comunicación vertical y horizontal, y contenidas éstas a su vez en las cápsulas de las columnas resistentes.

El uso previsto de ambos complejos es muy polivalente: Hoteles, Oficinas, Viviendas, Comercios, Dotaciones Culturales, Deportivas y Lúdicas.



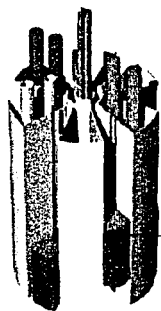
**Edificios**  
Cada nivel tendrá dos grupos de edificios, uno interior y otro exterior, con un pequeño lago en el centro.



El material principal a usar sería el Hormigón de Altas Prestaciones (HAP) que con la ayuda de superfluidificantes avanzados derivados de los copolímeros de vinilo en combinación con plastificantes y refrigerado con la adición de nitrógeno líquido ha conseguido convertirse en un material de alta homogeneidad y varias veces más resistente que los hormigones convencionales, alcanzando una resistencia  $1000 \text{ kg/cm}^2$  y en algunos experimentos hasta de  $2000 \text{ kg/cm}^2$ , además de garantizar una durabilidad de al menos 100 años.

En la mayoría de las especies vegetales, tanto de desarrollo horizontal como vertical, están presentes los diferentes órdenes radial, central o arborescente. Muy sugerente es, asimismo, el modo en que estructura y forma se compenetran, siendo ambas entidades independientes a la vez que dependientes entre sí. Aunque las identifiquemos visualmente, nos costaría mucho detectar la frontera en la que la estructura se transforma en piel y viceversa. Es esta polivalencia estructural y formal de los elementos que componen los organismos vivos una de las razones biónicas más sólidas para enfocar el diseño estructural de la Torre Biónica como si de un todo estructural se tratara.

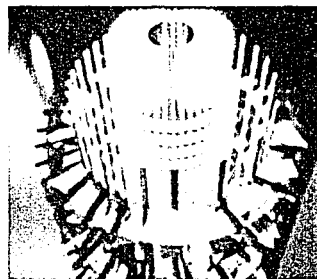
El modelo convencional de rascacielos considera como sistemas independientes –incluso separados espacialmente– los sistemas estructurales (columnas, vigas y forjados), los conductos de fluidos (climatización, agua, electricidad) y los conductos de ascensores. En Torre Biónica, sin embargo, cada una de las cápsulas que componen la estructura primaria alberga en su interior, mediante un sistema continuo de contenedores, los diferentes mecanismos resistentes, de fluidos y de comunicación. De esta manera, las redes eléctricas e instalaciones de climatización y agua se ubican dentro de cápsulas herméticas situadas en el interior de las cápsulas del sistema de comunicación vertical y horizontal, y contenidas éstas a su vez en las cápsulas de las columnas resistentes.



#### Calles verticales

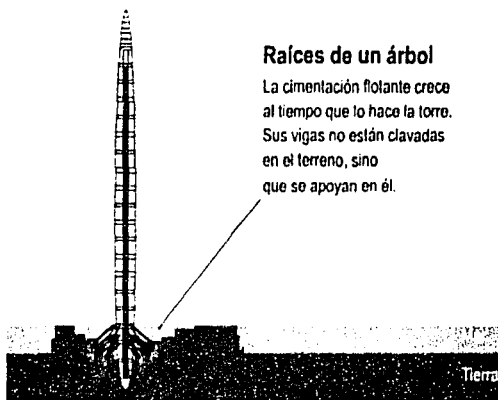
- Tubos de energía y comunicaciones
- Agua y saneamiento
- Climatización

368 ascensores con cabina múltiple.  
 Los exteriores serán del tipo exprés,  
 los interiores, locales.  
 Velocidad de desplazamiento:  
 5, 10 y 15 metros por segundo.



Frente a ocupaciones del 50-60% de los sistemas en los rascacielos convencionales, el sistema tecnológico de Torre Biónica sólo necesita el 15-20% de la superficie construida. Además, la flecha máxima en la punta de la torre es de tan solo 1.23 metros en cada dirección (la misma del Empire State Building), con una frecuencia de oscilación mínima. Por otra parte, la polivalencia de este sistema permite incorporar a los contenedores los diferentes progresos tecnológicos que se producirán durante los 15 años necesarios para la construcción.

Biómicamente hablando, los árboles no están apoyados sobre el suelo, sino que flotan suspendidos en la estructura caótica que forman sus miles de raíces. A estas estructuras se las denomina estructuras nido y, por su capacidad de multifragmentar los esfuerzos, tanto en su magnitud como en su dirección, tienen una enorme resistencia y flexibilidad. Para idear la solución constructiva del sistema antiseísmo apropiado para Torre Biónica se analizaron los sistemas de anclajes de las raíces de las grandes estructuras arbóreas. Estos sistemas biotecnológicos combinan varios mecanismos complementarios.



#### Raíces de un árbol

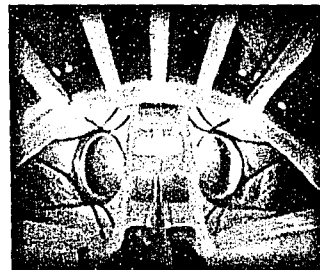
La cimentación flotante crece  
 al tiempo que lo hace la torre.  
 Sus vigas no están clavadas  
 en el terreno, sino  
 que se apoyan en él.

Tierra



## PROYECTO RESIDENCIAL

Este es un proyecto de ampliación a una casa diseñado y construido por el arquitecto estadounidense Eugene Tsui, y se encuentra en Oakland, California, teniendo un costo de \$44,000 dólares. Los clientes deseaban aprovechar un espacio junto a su residencia, donde ya existía un basamento de concreto, para ampliar su casa y además contar con un espacio recreativo.



La estructura es un intento de crear una arquitectura "viva", usando a la naturaleza como una base para el diseño, produciendo construcciones que utilizan partes móviles para responder a los requerimientos ambientales, tecnológicos y programáticos.

La construcción tardó 11 meses de trabajo y contó con la participación de 26 personas con y sin experiencia en la construcción.

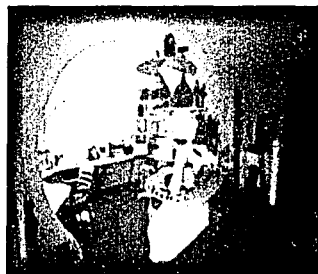
Mucha experimentación tuvo lugar en el desarrollo de este proyecto. Nuevos materiales tenían que ser encontrados y nuevas técnicas de aplicación fueron creadas. Como por ejemplo el empleo de un nuevo tipo de yeso resistente al fuego llamado "Structolite", que fue empleado como acabado interior escultórico.



Específicamente el proyecto consta de una recámara principal, 2 vestidores, una galería fotográfica, un despacho, un baño y 3 cuartos de guardado. La galería remata en el "solarium" que es un espacio recreativo donde se hace ejercicio. Esta estructura hecha con madera, vidrio y piedra tiene la forma de un cono truncado con un inusual techo en forma de alas que se abren y cierran al girar la polea del poste central. La intención de este diseño es permitir al observador contemplar las diferentes entradas de luz natural además de percibir el movimiento de las nubes, el sol, la luna y las estrellas. En el sentido poético, es una "ventana al cielo".



Todos los muros, pisos y techos son continuos dando unidad al espacio. Los ornamentos y decoraciones son una característica integral de la estructura. Las repisas son curvas dando mas seguridad para los niños ya que no forman bordes filosos. Los pisos son calentados por radiación gracias a una tubería que lleva agua caliente reciclada y que esta sumergida en la losa de concreto. Muchos de los detalles fueron dibujados por el arquitecto a escala 1:1 en el lugar.



Las superficies curvas permiten usar 1/3 parte de material por volumen que si fueran rectilíneas.

La forma cónica truncada del "solarium" hace que sea una estructura estable y pueda resistir los temblores a los que esta sujeta la zona de California, esto se debe a que la base es más ancha y la parte superior más angosta, además que beneficia la circulación de aire caliente hacia arriba y por lo tanto todo el acondicionamiento climático de la construcción es pasivo.

Las mesas, estantes y repisas se sostienen colgados de cables de acero, ahorrando tiempo de instalación y costos de carpintería.

## PROYECTO AMBIENTAL

### PROYECTO EDÉN

EDÉN es un imponente centro ambiental en Cornwall, Inglaterra. Un complejo de gigantescos invernaderos en forma de domos que contienen plantas de todo el mundo.



Esta megaestructura fue construida en el interior de un cráter de una cantera de caolín abandonada, albergando 3 biosferas distintas que representan 3 diferentes climas en el planeta:

Húmedo tropical.- es un invernadero multidomo que recrea el ambiente natural de un bosque de niebla, albergando cientos de árboles y otras plantas de los bosques de Sudamérica, África, Asia y Australia. El domo tiene 240 m. de largo y 55m. de alto.

Templado.- del húmedo tropical se pasa al invernadero de clima templado que tiene la misma estructura que la anterior con especies de bosques templados de Sudáfrica, el Mediterráneo y California.

Especies locales.- la tercer área es un espacio al aire libre con especies de la zona así como de climas similares en Chile, el Himalayas y Australia.

La misión de los creadores de este proyecto es promover el entendimiento y manejo responsable de la vital relación entre las plantas y la gente hacia un futuro sustentable.

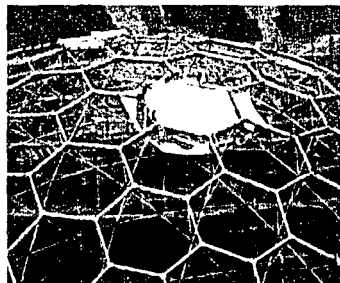


Los diseñadores de EDÉN decidieron no emplear los materiales tradicionalmente usados en los invernaderos y encontraron un material ideal para sus objetivos: el ETFE (ethyl tetra fluoro etyleno). Este material que viene en láminas muy finas es una cubierta perfecta para un invernadero ya que es resistente, transparente y ligero. Una pieza de ETFE pesa menos del 1% de una pieza de vidrio del mismo volumen. Es también mejor aislante que el vidrio y mucho mas resistente a los efectos del sol y del clima.

Se diseñaron "almohadas" de ETFE formadas con 3 capas del material unidas en sus bordes, una encima de la otra, con aire inyectado en su interior, proporcionando un mayor aislamiento sin sacrificar la cantidad de luz solar en el interior.

En un día frío pueden estos paneles inflados pueden ser inyectadas con mas aire para aumentar el aislamiento y viceversa cuando la temperatura exterior es mas fría.

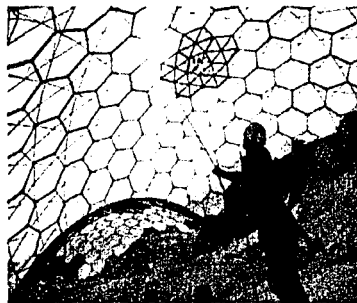
Al unir estas "almohadas" con formas de triángulos, pentágonos, hexágonos y otros polígonos, se forma un gran domo geodésico. Cada elemento esta detenido en sus bordes por una red de tubos de aceros interconectados. De hecho, cada domo tiene 2 redes tubulares, una a base de hexágonos y pentágonos, y la otra con triángulos. Toda la estructura de EDÉN cuenta con 625 hexágonos, 16 pentágonos y 190 triángulos.



La estructura es increíblemente resistente en relación con su peso. El peso total (667 toneladas) se reparte a través de toda la estructura de tal manera que sólo se necesitan soportes alrededor de la base, dejando espacio libre en el interior para el crecimiento de las plantas.

El uso de programas de computadoras sofisticados permitieron el diseño tridimensional de EDEN para lograr una configuración geométrica perfecta y tener las medidas exactas de cada pieza.

Los domos geodésicos fueron construidos a lo largo de la parte sur del cráter.



FUENTES

## BIBLIOGRÁFICAS

Benyus M., Janine, "Biomimicry: innovation inspired by nature", 1997.

Buckminster Fuller, Richard, "Your Private Sky: the art of design science", editado por Krausse, Joachim y Lichtenstein, Claude, 1999.

Buckminster Fuller, Richard, "Synergetics. Explorations in the Geometry of Thinking", 1975  
Papanek, Víctor, "Diseñar para el mundo real: Ecología humana y cambio social", 1992.

Exploratorium, "By Nature's Design", 1993.

Gerardin, Lucien, "La biónica", 1968.

Ghyka, Matila, "The Geometry of art and life", 1977.

György Doczi, "El Poder de los Límites", 1999.

Hidalgo Lopez, Oscar, "Manual de construcción con bambú", 1981.

Ingber, Donald, "The Architecture of Life", 1990.

Janssen J. A., Jules, "Building with bamboo", 1995

Papanek, Víctor, "The Green Imperative: Natural Design for the real World", 1995.

Society For Experimental Biology, Symposium, 34 Leeds University, "The mechanical properties of biological Materials", 1979

Stewart, Ian, "Life's other secret: the new mathematics of the living world, 1998.

Tsui, Eugene, "Evolutionary Architecture: nature as a basis for design", 1999

Wentworth Thompson, D'Arcy, " Del Crecimiento y la forma", 1969.

## CIBERESPACIALES

Bambú: [www.bamboocentral.org](http://www.bamboocentral.org)  
[www.networkearth.org/naturalbuilding/bamboo.html](http://www.networkearth.org/naturalbuilding/bamboo.html)

Biónica: [www.tdrinc.com/nataarch.html](http://www.tdrinc.com/nataarch.html)  
[www.biotensegrity.com](http://www.biotensegrity.com)  
[www.biomimicry.net](http://www.biomimicry.net)

Esculturas geométricas: [www.georgehart.com](http://www.georgehart.com)  
[www.curvedsurfaces.com](http://www.curvedsurfaces.com)

Juegos constructivos: [www.sodaplay.com](http://www.sodaplay.com)

Proyecto Edén: [www.edenproject.com](http://www.edenproject.com)

Rancho Agroecológico "Agua Escondida": [www.manantialdelasflores.com](http://www.manantialdelasflores.com)

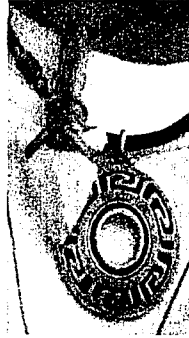
Sinergia: [www.bfi.org](http://www.bfi.org)  
[www.cjfeanley.com/fuller-faq-2.html](http://www.cjfeanley.com/fuller-faq-2.html)

Tensegridad: [www.frontiernet.net/~imaging/tenseg1.html](http://www.frontiernet.net/~imaging/tenseg1.html)  
[www.georgehart.com/virtual-polyhedra/straw-tensegrity.html](http://www.georgehart.com/virtual-polyhedra/straw-tensegrity.html)  
[www.channel1.com/users/bobwb/prospect/prospect.htm](http://www.channel1.com/users/bobwb/prospect/prospect.htm)  
[www.nwgrayprojects.com/synergetics/s07/toc07.html](http://www.nwgrayprojects.com/synergetics/s07/toc07.html)  
[www.grunch.net/snelson](http://www.grunch.net/snelson)

Torre Biónica: [www.torrebiionica.com](http://www.torrebiionica.com)



**GRACIAS**



Agradezco con el corazón en la mano a mi Madre y a mi Padre, que me han apoyado incondicionalmente durante toda mi vida y mi carrera y han confiado en mí, brindandome un AMOR pleno, a Alex por sus consejos y preocuparse por mí, a la Nena por su amistad, optimismo y compañía, a GAPO por enseñarme a vivir, a Vico (Flor Universal) por guiarme y motivarme en el camino, a Eliú por compartir esta senda, a Yurhis, Livier, Karlita, Lucía, Ruy, Maurice y Cupido (hermanitos), a mi familia del Manan, a mis padrinos, a la familia Guigui por su lección de AMOR, a los que me acompañaron en la escuela: el Afro, Mariela, Paco, Paulina, Fabián, Alfredo, Felipe, Sergio (y los que ya no alcancé a poner!); a mis sinodales por apoyarme en mi tema, a los que me asesoraron para esta tesis: Pancho, el Pílon y Alejandro; a DWG, a el Taller Azul, a la banda de ciencias y el Cenote Azul, a TODOS quienes compartimos esta tierra porque cada individuo es un aprehendizaje...



Y Definitivamente gracias a Kelvara porque con el AMOR, hemos recordado la misión y emprendido un vuelo juntos, compartiendo los aprehendizajes con nuestros hermanos. Tu LUZ ha sido la inspiración de esta tesis, recordando con el espejo lo que somos y lo que venimos a dar.

IN LAK'ECH

Para más información sobre biónica puedes contactarme en:

[bionica2012@hotmail.com](mailto:bionica2012@hotmail.com)