

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA



PABELLÓN DE BAMBÚ PARA EL  
CENTENARIO DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MÉXICO

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
ARQUITECTO  
PRESENTAN  
ANDRÉS CASARES CORTINA  
EDER ADEMAR HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

MÉXICO, D.F.

ENERO 2011



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA



PABELLÓN DE BAMBÚ PARA EL  
CENTENARIO DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MÉXICO

JURADO  
ARQ. JORGE TAMÉS Y BATA

ASESORES  
DR. XAVIER CORTÉS ROCHA  
DRA. MÓNICA CEJUDO COLLERA  
DR. JUAN GERARDO OLIVA SALINAS  
D.I. ADOLFO GUTIÉRREZ NIETO

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
ARQUITECTO  
PRESENTAN  
ANDRÉS CASARES CORTINA  
EDER ADEMAR HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

MÉXICO, D.F.

ENERO 2011

A mis padres, a Isa y Monti, a Arturo y Jane y a los que vienen  
a mis maestros y amigos  
y en memoria a dos arquitectos imprescindibles...

Francisco Casares Cortina

Nacho Casares Elcoro

# AGRADECIMIENTOS

A los participantes del proyecto:

Rector doctor José Narro Robles

Secretario General doctor Sergio M. Alcocer Martínez de Castro

Tesorero Ingeniero José Manuel Covarrubias Solís

Director de la Facultad de Arquitectura Arq. Jorge Tamés y Batta

El doctor Xavier Cortés Rocha como coordinador del proyecto Cápsula del Tiempo hizo que, con un temple y una destreza dignos de admiración, el proyecto tuviera factibilidad constructiva dentro de la Universidad. Su paciencia y acertado discurso han sido fundamentales en el ordenamiento de los pasos que el proyecto hubo de seguir.

A la doctora Mónica Cejudo Collera por invitarnos a participar en este proyecto en el que tuvo la talentosa habilidad de orquestar las labores de cada integrante del equipo en la concepción y diseño de la cápsula, en el desarrollo del proyecto del pabellón, así como plasmando la esencia universitaria en la exhibición del proyecto, materializada en una exquisita exposición.

El doctor Juan Gerardo Oliva Salinas, quien con una contagiosa pasión por las estructuras llenó de virtuosismo, conocimiento y talento el desarrollo de un proyecto que nació siendo prácticamente irrealizable y que fue cobrando fuerza, presencia y factibilidad económica.

El diseñador industrial Adolfo Gutiérrez Nieto colaboró en el proyecto del diseño de la cápsula del tiempo, sin embargo sus aportaciones fueron más allá de eso. Con enorme entusiasmo, Adolfo fue pilar en la concepción, el desarrollo, los detalles constructivos, la gestión, la residencia de obra y la administración del proyecto del pabellón. Gracias por su apoyo y su gran pasión universitaria.

Dr. Boris Berenzon Gorn

Morelos Torres Aguilar

María Luisa Amezcua Bravo

Georgina Desiree Gasca Padilla

A mi colega:

Eder Hernández Rodríguez por acceder a la invitación a este proyecto y por la disposición, el entusiasmo y entrega que imprimió en él.

## AGRADECIMIENTOS

A las siguientes instituciones, dependencias y empresas:

Instituto de Ingeniería - Laboratorio del túnel de viento  
Ing. Neftalí Rodríguez Cuevas

Facultad de Ingeniería - Laboratorio de Materiales  
Ing. Hector Javier Guzmán Olguín  
Ing. Octavio García Domínguez

Dirección General de Comunicación Social  
Lic. Enrique Balp Díaz

Subcomité de Preservación, Mantenimiento y Desarrollo del Patrimonio Inmobiliario  
del Campus Central de Ciudad Universitaria  
Lic. Dela Lagunes Solana

Dirección de Obras UNAM  
Ing. Mario Suazo Palacios

Patrimonio Universitario  
Arq. María Inés González  
Arq. Carlos Rivera

Gaceta UNAM  
Marco Mijares Ramírez  
Juan Antonio López Olguín

PAREM Restauración  
Dr. Ricardo Prado Nuñez  
Arq. Gerardo Díaz

TGC Geotecnia  
Dr. Enrique Santoyo Villa por su enorme experiencia en el estudio de los suelos, geotecnia y cimentaciones profundas además de haber donado a la Universidad los trabajos de excavación y cimentación para de los anclajes.

Ing. Armando Moreno Sánchez  
Cesar Moreno

CAV Diseño e Ingeniería S.A. de C.V.  
Ing. Ramón Velázquez Cabrera  
Ing. Sergio Tapia Elorriaga  
Arq. Gabriela Romero

Ing. Raúl Salas

## AGRADECIMIENTOS

### Bambuver A.C.

Rafael Guillaumín Fentanes  
Lic. Mauricio Guillaumín Croda  
Lic. Alejandro Guillaumín Croda  
L.C.I. Paola Guillaumín Tenorio  
Manuel Chávez Buendía  
Ing. Maurino Hernández Chacón  
C.P. Guillermo Avendaño Reyes  
Rosalva Temis Popo  
Q.F.B. Luz Divina Flores Castro  
Hipólito Navarro Jaco  
Álvaro Tazalo Aguilar  
Fernando González Vallejo  
Rubén Ruiz Ramírez  
Salvador Porras Temis  
José Luis Ramírez Coyotla  
Oscar Fernández Suárez  
Emanuel Ramírez Mendieta  
José Aurelio López Argüello  
Ulises Eliseo Herrera  
Victor López

### PRYMO Construcciones

Ing. Jaime Moreno Cid  
Ing. Alberto Figueroa

### Ilumileds

Peter Petersen Greiser  
Victor M. Palacio Pastrana  
Gaspar Sánchez  
Salvador

### Studio

Oscar Sánchez

Agradezco también el apoyo brindado por:

Dr. Agustín Hernández Hernández

Mtra. Louise Noelle Gras

Arq. Marta Elena Campos Newman

Dra. Lourdes Cruz González Franco

Arq. Marcos Mazari Hiriart

Arq. Epc. Marcos Javier Ontiveros Hernández

Arq. Erik Valdéz Olmedo

María de la Luz González Ríos

Lic. Alfredo Govea

Citlali Limonada

Edgar Pedro Jiménez Guerrero

Victoria Zenón Arroyo

Ricardo García Bernardo

y a mis amigos

Fernanda Pizá Aragón

Rodrigo González Rueda

Enrique San Vicente

Nacho Martínez Casares

Mikel Merodio Gutiérrez

Alejandro Villarreal de la Garza

Juan Carlos Madrigal

Alberto Moreno Guzmán “El Oso”



# PRÓLOGO

Una tesis de licenciatura puede ser una aportación, una propuesta novedosa, como la que comentamos, o en el otro extremo, puede ser un trabajo que cumple, sin pena ni gloria, con el requisito de presentar un último ejercicio. En el caso de Andrés Casares Cortina y Eder Hernández Rodríguez, su trabajo de tesis constituyó, por sus resultados, una verdadera aportación y por su proceso, una de las etapas más ricas de su formación profesional. Ortega y Gasset afirmaba que el hombre es él mismo y su circunstancia y en este caso los autores de la tesis aprovecharon la circunstancia a la que los invitó su maestra, la Dra Mónica Cejudo Collera, y la convirtieron, con compromiso, esfuerzo y talento, en una oportunidad.

Adscritos como tesistas al equipo que realizó el proyecto Cápsula del Tiempo, UNAM, 2010, transitaron desde la identificación de los posibles escenarios de colocación de la cápsula, el diseño del alojamiento de la misma y su señalamiento; pero no obstante lo valioso de su trabajo en esas tareas, no era suficiente para acreditar una tesis de arquitectos, hacía falta un objeto arquitectónico y en consecuencia se pensó en proponer una cubierta que sirviera de protección al acto de colocación de la cápsula y que pudiera ser aprovechada posteriormente para alojar una exposición. De ahí al pabellón hubo tanteos pero el gran salto lo permitió la sabia asesoría del Dr. Gerardo Oliva quien les abrió el panorama de las estructuras resistentes por forma y especialmente de las anticatenarias.

La geometría, ciencia tan importante para los arquitectos, permitió acceder a una estructura, un cascarón que resuelve funcionalmente las necesidades propuestas y es en si mismo un objeto bello. El material es otra gran aportación, el bambú, material muy poco usado entre nosotros y que sin embargo tiene enormes posibilidades de uso, fue propuesto para realizar la retícula de pares de arcos que formaría el cascarón.

Cuando el proyecto de la cápsula y su alojamiento se presentaron ante las autoridades universitarias, se les presentó también el anteproyecto del pabellón, como un elemento derivado del carácter de tesistas con el que participaban Eder y Andrés, pero el Secretario General de la Universidad tomó la idea y la presentó al Rector, quien la acogió con entusiasmo, condicionando su realización a la autorización del Comité del Campus de la Ciudad Universitaria.

La luz verde se encendió cuando no había sino un anteproyecto. De ahí al proyecto constructivo habría un largo trecho que pasaría por la revisión estructural, ya que la geometría y las secciones habían sido predefinidas, revisión que incluiría considerar severas condiciones de carga accidental por viento y granizo, principalmente. También se diseñaron las bases de acero y la forma de anclarlas y hubo que considerar una cimentación suficiente.

Afortunadamente se localizó una empresa especializada en construcciones de bambú y con una buena experiencia, pero como dicen “el diablo está en los detalles” y los detalles consumieron tiempo, dinero e ingenio y contar con otras asesorías constructivas y estructurales. El proceso constructivo fue arduo y no exento de sobresaltos. Felizmente la estructura quedó lista y la celebración tuvo efecto a la sombra de la misma.

Hoy nos felicitamos porque el proyecto que sustenta esta tesis no solo se construyó sino contribuyó a abrir nuevos caminos en el conocimiento.

Xavier Cortés Rocha, enero 2011

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| Introducción   | 1  |
| Objetivo   | 4  |
| Selección del sitio  | 5  |
| Proceso de diseño  | 9  |
| Proyectos de pabellones y otros edificios análogos                               | 9  |
| Aproximaciones al sitio  | 13 |
| Conceptos generales  | 15 |
| Propuestas conceptuales  | 25 |
| Bóveda generada por medio de superficies a partir de polígonos cónicos truncados |    |
| Bóveda generada por medio de superficies de conos truncados                      |    |
| Celosías de bambú verticales   |    |
| Cascarón reticulado de traslación o cascarón de celosía de bambú.                |    |
| Proyecto Ejecutivo   | 38 |
| Diseño y Geometría   | 38 |
| El bambú   | 41 |
| Cosecha  | 43 |
| Tratamiento  | 46 |
| El bambú en México   | 47 |
| Cualidades y dificultades constructivas del bambú                                | 49 |
| Construcciones de bambú en el mundo  | 51 |
| Construcciones de bambú en México  | 54 |
| La especie <i>Phyllostachys Bambusoides</i>                                      | 56 |
| Pruebas mecánicas en el laboratorio de materiales                                | 59 |
| Sistema de anclaje   | 62 |
| Cimentaciones  | 64 |
| Bases de acero   | 65 |
| Arcos dobles   | 69 |
| Unión longitudinal - Bambú <i>Dendrocalamus Strictus</i>                         | 70 |
| Pernos de acero  | 71 |
| Bordes   | 72 |
| Tensores de bordes   | 73 |
| Tensores de seguridad  | 74 |
| Membrana plástica  | 75 |
| Iluminación  | 77 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| Conclusiones                      | 78 |
| Bibliografía y Fuentes            | 79 |
| Anexos                            |    |
| Planos de proyecto arquitectónico |    |
| Planos de proyecto ejecutivo      |    |
| Planos de reestructuración        |    |
| Resultado Pruebas de laboratorio  |    |
| Cálculo estructural               |    |
| Apéndices                         |    |
| Justificación                     |    |
| Corolario                         |    |
| DVD                               |    |
| Memoria completa                  |    |
| Video de obra                     |    |

# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

Nuestra Universidad Nacional conmemoró el pasado año de 2010 su primer siglo de vida y lo hemos celebrado con el debido merecimiento. El día 22 de septiembre de 2010, día de júbilo y orgullo para todos los universitarios, el centro histórico de nuestra capital fue escenario de un evento sin precedentes, el rector de la Universidad, el Dr. José Narro Robles presidió, acompañado por exrectores, Junta de Gobierno, Patronato, eméritos, Honoris Causa y directores de facultades y preparatorias, una procesión de medio millar de universitarios. Desde las eminencias más veteranas hasta los más talentosos alumnos caminaron por callejuelas que los condujeron desde la antigua sede de la Universidad Real al Antiguo Colegio de San Ildefonso. En el acto el rector develó la placa centenaria. Más tarde se llevó a cabo la inauguración de la exposición Tiempo Universitario en el Antiguo Colegio de San Ildefonso, acompañada por el canto a capela de el Gaudeamus Igitur (Alegrémonos, pues) interpretado por el coro de cámara de la Escuela Nacional de Música. Acto seguido, la plenaria de diputados y cenadores del Congreso de la Unión de San Lázaro recibió con palabras solemnes a la UNAM para condecorarla en su imprescindible participación en la construcción de una nación libre y soberana. En la ceremonia la OFUNAM interpretó el Himno Nacional con sus diez estrofas y para culminar el acontecimiento, un banquete de honor adornado con los mismos platillos que en su momento deleitaron la fundación de la Universidad. Caído el ocaso, la Sala Nezahualcóyotl escucho las interpretaciones del Himno Nacional seguido por la batuta de Alun Francis en la interpretación de la Sinfonía no. 4 Conmemorativa, compuesta por Federico Ibarra para esta celebración, el Huapango, de Moncayo y el Dios nunca muere con su leyenda que acompaña a Macedonio Alcalá. La celebración no culminó sino hasta la mañana siguiente en el Palacio de Minería, sede de la Facultad de Ingeniería, con la entrega de los Honoris Causa.

Asimismo, este año conmemorativo fue ataviado por innumerables festejos dentro de los cuales destacaron el mural efímero, el maratón de baile, la carrera de los 100 kilómetros, el crisol deportivo, el concurso de fotografía, el certamen de ensayo, el festival de poesía, el concierto en Uxmal de la OFUNAM, la observación astronómica, la reflexión académica y por último, la colocación de la Cápsula del Tiempo.

### La Cápsula del Tiempo

Dentro del marco de las celebraciones del centenario de nuestra Universidad, surgió la iniciativa de plasmar la Universidad de hoy en una Cápsula que fue depositada en un sitio estratégico de Ciudad Universitaria. La circunstancia actual de nuestra Casa de Estudios fue encapsulada en una caja de acero inoxidable que viajará inmutable durante cinco décadas hasta ser develada a la luz en el año 2060. El proyecto para la fabricación de la cápsula, la construcción del nicho y la estela donde sería guardada, la compilación del contenido que se depositaría en ésta, la exposición referente al evento y un posible pabellón que albergase el evento de la colocación fue comisionado por la rectoría de la Universidad al Dr. Xavier Cortés Rocha quien convocó a un grupo de académicos y alumnos a la realización de dicho trabajo.

## INTRODUCCIÓN

Es importante mencionar que el proyecto Cápsula del Tiempo se gestó con un carácter laboral donde se convocaron a los participantes de manera que éstos desempeñaran una tarea específica, se les asignó un espacio de trabajo en la Universidad y se les dio acceso a herramientas y equipo propiedad de la Facultad de Arquitectura. Con esto quedó implícito que las propuestas, tanto para el monumento o estela donde sería colocada la cápsula como para un posible pabellón que albergase el evento conmemorativo, se generarían dentro del mismo equipo de trabajo.

Fue así como se estableció el acuerdo académico para la acreditación de la tesis de licenciatura donde se incluirían los trabajos realizados en el diseño y construcción del nicho y la estela conmemorativos y el proyecto de una posible cubierta o pabellón que acogiera el evento de la colocación y la exposición entorno a este.

### El Pabellón

La tesis para obtener la licenciatura en Arquitectura con el título “Pabellón de bambú para el centenario de la Universidad” es una propuesta en materia de construcción alternativa.

Durante su discurso en la inauguración de la Universidad Nacional Don Justo Sierra entonces Ministro de Instrucción Pública y Bellas Artes mencionó: “Los fundadores de la Universidad de antaño decían: “la verdad está definida, enseñadla;” nosotros decimos a los universitarios de hoy: “la verdad se va definiendo, buscadla.”

Es así como la Universidad Nacional es fundada y encaminada a una personalidad creadora de pensamientos, de sueños y de inventos, es en esta comunidad donde nos permitimos ahondar en nuestras inquietudes, en nuestros deseos y en nuestras preocupaciones. De esta manera el espíritu universitario está en una continua búsqueda, se presentará siempre a nuevos retos, a constantes innovaciones y a una mutabilidad permanente.

Hoy la Universidad cumple sus primeros cien años de vida y es la Institución Nacional de mayor prestigio, la de mayores alcances científicos, tecnológicos, humanitarios y artísticos, es el legado más importante del siglo XX en nuestro país y quien ha albergado a los pensadores más extraordinarios de México. Así, portentosa y orgullosa, nuestra Casa de Estudios reconoce también que debe enarbolar su bandera, atender a los llamados más profundos y aprender del pasado para encontrar las respuestas del futuro.

La Facultad de Arquitectura muestra hoy en día una preocupación general por el desarrollo social de nuestro país, por los problemas de cambio climático que enfrenta el planeta, por la constante necesidad de preservar y mejorar la calidad de vida en nuestras ciudades, en sus arbolados parques, sus mágicas plazas, sus deliciosos mercados, sus curiosos recovecos, sus alegres centros culturales y sobre todo su gente llena de vitalidad.

## INTRODUCCIÓN

El calentamiento global y los ahora muy periódicos desastres naturales son razones patentes para encaminar la docencia en las universidades hacia una enseñanza más comprometida para con este.

Dentro de esta tónica, el proyecto del pabellón tuvo la fortuna de haberse constituido como un experimento universitario donde la colaboración con destacados académicos, las Facultades de Arquitectura e Ingeniería, el Instituto de Ingeniería y diversos profesionales y empresas fue resultado de una apasionada búsqueda por encontrar una metodología constructiva que comulgase con una propuesta factible y económica, que tuviese un carácter innovador, que pudiese construirse rápidamente y a su vez, que cumpliera con la necesidad inherente de dar cobijo a tan ceremonioso evento. Ésto, sumado al placer de concebir un proyecto que representase una tesis en el campo de la arquitectura que repensara y replanteara posibilidades de construcción alternativas frente a las problemáticas ambientales actuales partiendo de hacer amigo al hombre con la naturaleza, dieron paso a la convicción de su construcción, aprobada por el rector de la Universidad, el doctor José Narro Robles a través de la Secretaría General de la Universidad.



OBJETIVO

## OBJETIVO

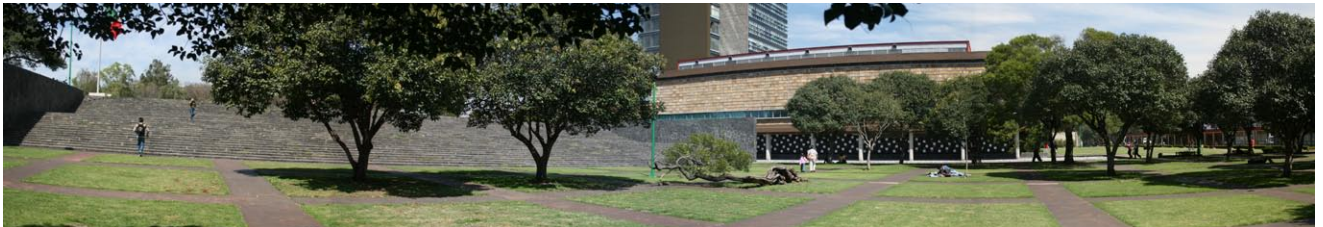
Concebir, desarrollar el proyecto arquitectónico, proyecto ejecutivo y llevar a cabo la posible construcción de un pabellón efímero que albergase el evento conmemorativo de la colocación de la Cápsula del Tiempo que presidiría el doctor José Narro Robles, rector actual de la Universidad Nacional Autónoma de México como parte de las celebraciones del centenario de la Universidad.

# SELECCIÓN DEL SITIO

## SELECCIÓN DEL SITIO

La elección del sitio representó un trabajo difícil debido a la calidad que poseen todos los espacios abiertos de la Universidad, el sitio elegido es el sitio marcado como “B” que corresponde al paso peatonal que comunica el costado poniente de la Biblioteca Central hacia el Estadio Olímpico Universitario, es un espacio confinado por dos grandes muros de piedra braza cubiertos por grandes bugambilias, el emplazamiento de la estela empotrada a uno de los muros marca una fuerte pausa entre la horizontalidad del espacio, convirtiéndose en un hito del campus universitario.

Las siguientes descripciones corresponden a los espacios abiertos que formaron parte de las propuestas para el emplazamiento de la estela conmemorativa Universidad Nacional de México 100 Años, su contenido la Cápsula del Tiempo y como resultado la ubicación del pabellón.



### A. Plaza ubicada al costado suroeste de Rectoría

El espacio tiene un carácter de tránsito donde a todas horas hay una importante afluencia de transeúntes. La explanada está dominada por laureles, sembrados siguiendo el orden de la retícula de los jardines, que a su vez indican las circulaciones en el lugar.

Desde ésta, se aprecia el escudo de la UNAM ubicado en la fachada oeste de Rectoría y tiene como telón de fondo la escalinata. La propuesta podría seguir la tradición prehispánica en la que al pie de las escalinatas se ubicaban estelas u objetos preciosos.

Una desventaja en esta zona es la cercanía con Av. Insurgentes por el ruido visual y auditivo generado por los coches y autobuses. Sin embargo, su emplazamiento semihundido y delimitado por muros, la escalinata al norte y las copas de los árboles genera un ambiente más acogedor, favoreciendo a un espacio íntimo.

## SELECCIÓN DEL SITIO

### B. Espacio de transición ubicado al noroeste de Rectoría.

Comunica al Estadio Olímpico Universitario y al estacionamiento número uno, desde la aparición del programa Pumabus el flujo de personas se intensificó, recuperando así un espacio casi olvidado por la comunidad universitaria.

Este espacio es también un lugar de encuentro, esparcimiento y prácticas teatrales, las buenas condiciones del terreno nos invitan al disfrute de esta zona.

La zona es contenida por dos grandes muros ubicados al norte y al sur, estos elementos verticales además de ser verdes funcionan como aislante acústico del ruido proveniente de la avenida Insurgentes, originando un espacio confortable.



### C. Eje principal de Ciudad Universitaria.

La propuesta consiste en intervenir el área de la jardinera de mampostería, ubicada en la intersección del eje principal de la zona declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO, con el eje dibujado entre la Biblioteca Central y el acceso al Museo Universitario de Ciencias y Artes MUCA. Actualmente esta jardinera contiene un pino de tamaño mediano, que sustituyó a uno más antiguo, esta jardinera pasa desapercibida en este entorno.

Consideramos que sería de gran riqueza intervenir este espacio, ya que es de los más aprovechados por los universitarios, comunica a la torre de rectoría, a la biblioteca central, al museo universitario de ciencias y artes MUCA, y a la facultad de arquitectura. En esta explanada se organizan diversas actividades culturales y de esparcimiento promoviendo el uso del espacio público.



## SELECCIÓN DEL SITIO

### D. Zona de Jacarandas.

Este espacio rodeado por grandes jacarandas se ubica a un costado del edificio de posgrado de arquitectura, es un espacio muy transitado y lleno de sombra, durante gran parte del año las flores de estos grandes árboles cubren el pasto que los rodea propiciando un espacio muy característico.

Una fuerte desventaja son las actividades deportivas informales que aquí se realizan lo cual puede provocar deterioro y maltrato a cualquier intervención que se proponga.

Es sin duda un espacio muy transitado y favorecería al hecho de convertirse en un nuevo hito sin descuidar los aspectos que pudieran perjudicarla.



### E. Jardín Botánico de la UNAM

El jardín botánico de CU es un área de conservación de especies endémicas de México y está catalogado como reserva ecológica del Valle de México. Por estos valores, se considera que este espacio vegetal de magníficos paisajes es vital en nuestra universidad y no debe ser modificado ni intervenido por éstas condiciones. Así, pensamos que éste lugar puede funcionar como refugio para la cápsula.

En un entorno de cactáceas, el sitio sugerido, a manera de bahía, recibe al visitante a un costado del paseo principal del jardín botánico. El área está determinada por un terreno de pasto envuelto por rocas y flora salvaje. Las virtudes de este espacio son principalmente su fácil accesibilidad, un escenario paisajístico muy representativo de CU y una eventual promoción de la zona.



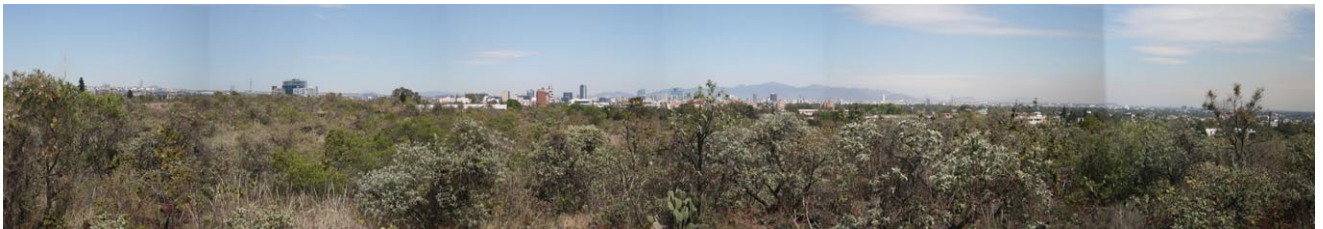
## SELECCIÓN DEL SITIO

### F. Espacio escultórico

Retomando los ejes compositivos oriente poniente del espacio escultórico encontramos un espacio envuelto por vegetación natural y piedra volcánica, desde el punto mas alto de las piedras podemos contemplar las vistas panorámicas de la ciudad, teniendo también como gran telón el espacio escultórico.

Desde este punto podemos ver la Ciudad casi en su totalidad.

Este sitio a pesar de poseer gran riqueza espacial, muestra ciertas condiciones de abandono, una posible intervención dentro de esta área puede favorecer a un mejoramiento.



# PROCESO DE DISEÑO



Como parte del planteamiento del problema, el tener un bagaje de referencias que proporcionan al proyecto una base para su concepción en términos de soluciones estructurales, planteamiento de diversos materiales, la solución del espacio, etc., fue elemental. En términos generales, se buscaron edificaciones cuyas formas geométricas resultasen ligeras por intuición ejemplificando armados fáciles de ejecutar y cuya distribución de cargas tuviese una armonía estructural. Así mismo, fue interesante sondear materiales y métodos constructivos que pudiesen ser empleados en el desarrollo del proyecto. A continuación se mencionan algunos de los proyectos que se revisaron durante el proceso creativo.



Sala de exhibiciones  
Frei Otto  
Mannheim, Alemania  
1975



Pabellón japonés  
Shigeru Ban  
Hannover, Alemania  
2000

PROYECTOS DE PABELLONES Y OTROS EDIFICIOS ANÁLOGOS



Estación Ferroviaria  
Norman Foster  
Dresde, Alemania 2006



Proyecto del Edén  
Nicholas Grimshaw  
Cornwall, Reino Unido  
2001



Pabellón Serpentine  
Eduardo Soto de Moura  
y Alvaro Siza  
Londres, Reino Unido  
2005

PROYECTOS DE PABELLONES Y OTROS EDIFICIOS ANÁLOGOS



Museo Nómada  
Simón Vélez  
Ciudad de México 2008



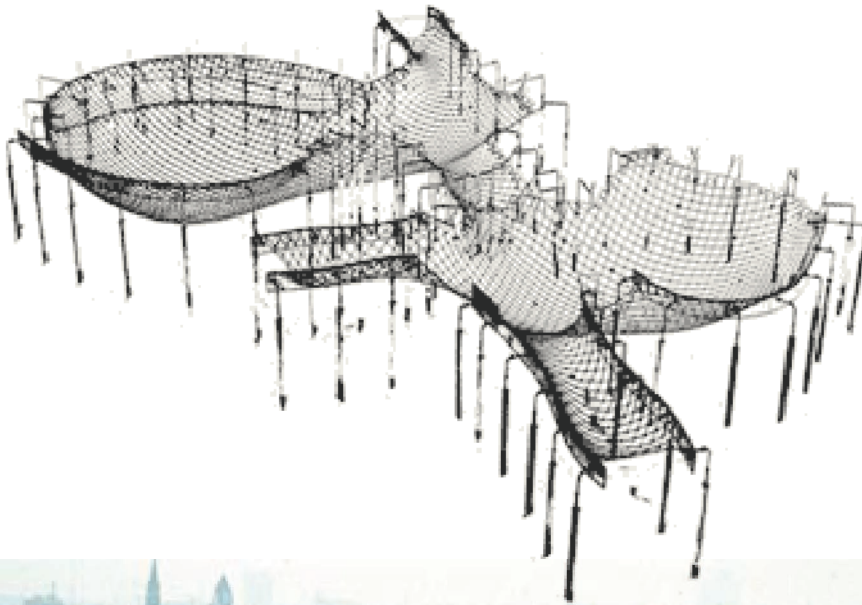
Museo Nómada  
Simón Vélez  
Ciudad de México 2008



Lucien Pellat-finet  
Shinsaibashi  
Kengo Kuma  
Osaka, Japón 2009



Estudio de cascarón de bambú construido a partir de anticatenarias, Anónimo, Universidad de Stuttgart, Alemania 1991



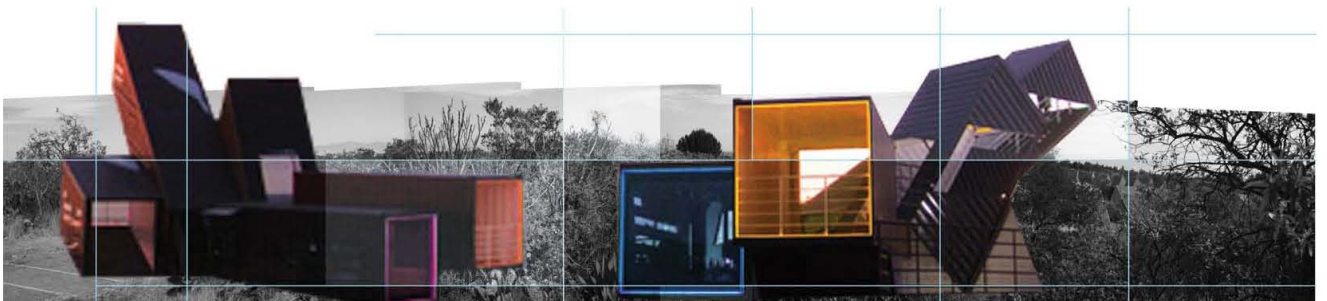
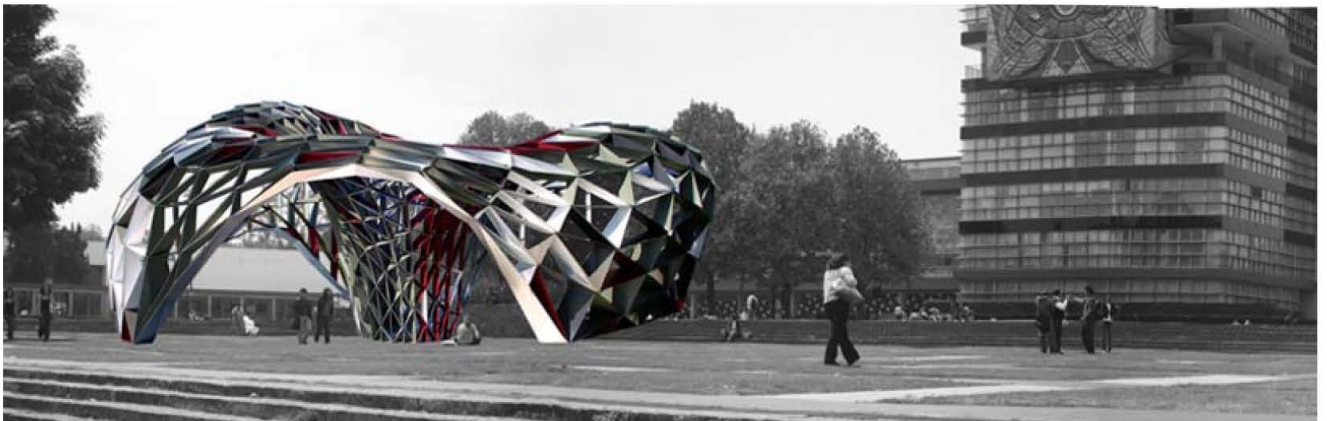
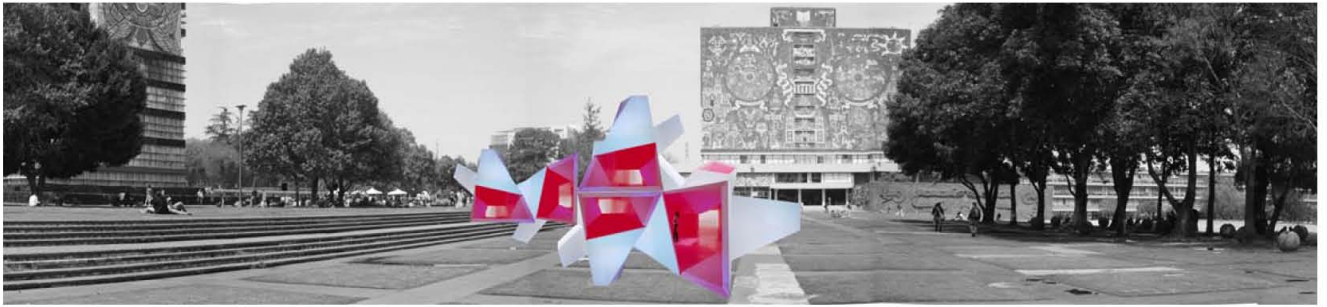
Puntualizando en el proyecto de la sala de exhibiciones de Frei Otto en Mannheim, observamos que la estructura funciona a partir de una red colgante que al invertirla, generaría la forma que se dio a la estructura.

## APROXIMACIONES AL SITIO

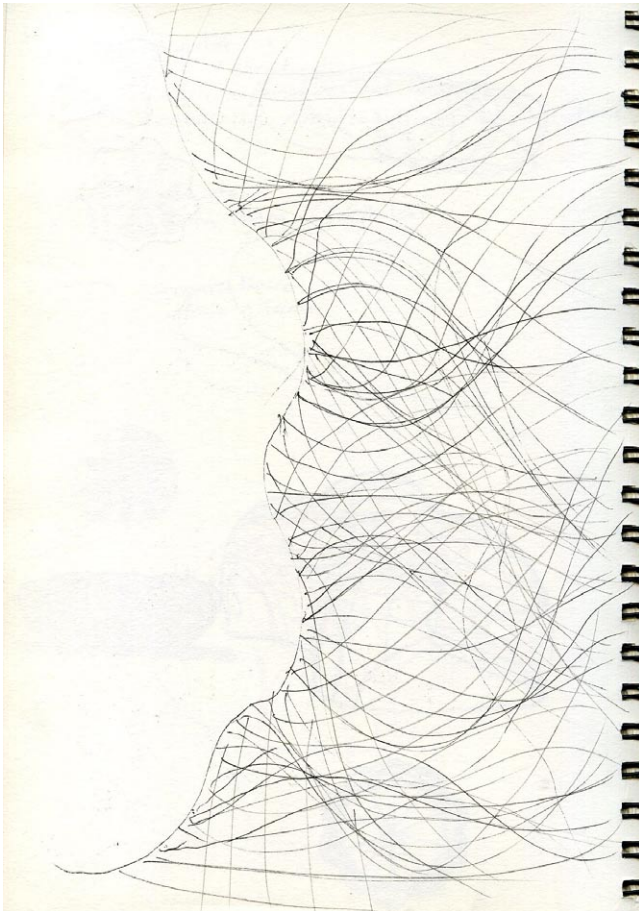
Junto con las referencias de las edificaciones antes mencionadas, se realizaron ejercicios donde se incorporaron pabellones existentes a diferentes escenarios dentro de Ciudad Universitaria con el objeto de crear atmósferas conceptuales. Esto fue muy útil en el sentido de dimensionar las plazas y los sitios propuestos para el proyecto e ir acotando las posibilidades del proyecto, así como los materiales que habían de ir tomando una mayor presencia en el desarrollo del mismo.



# APROXIMACIONES AL SITIO



## CONCEPTOS GENERALES

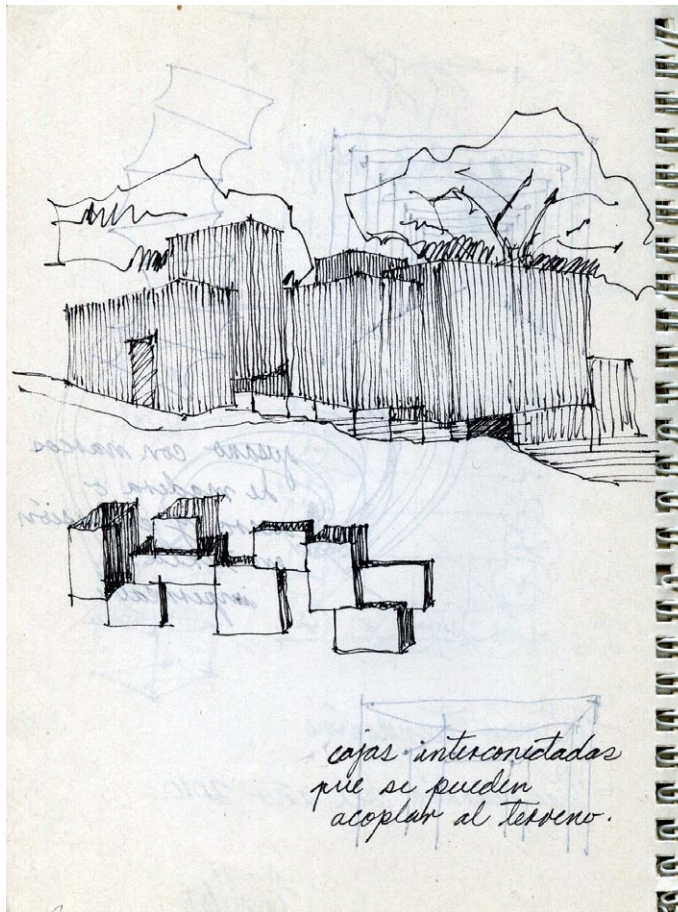


Como parte de la etapa creativa, en esta sección se presentan diversos dibujos, anotaciones y referencias generales que fueron enriqueciendo la concepción del proyecto.



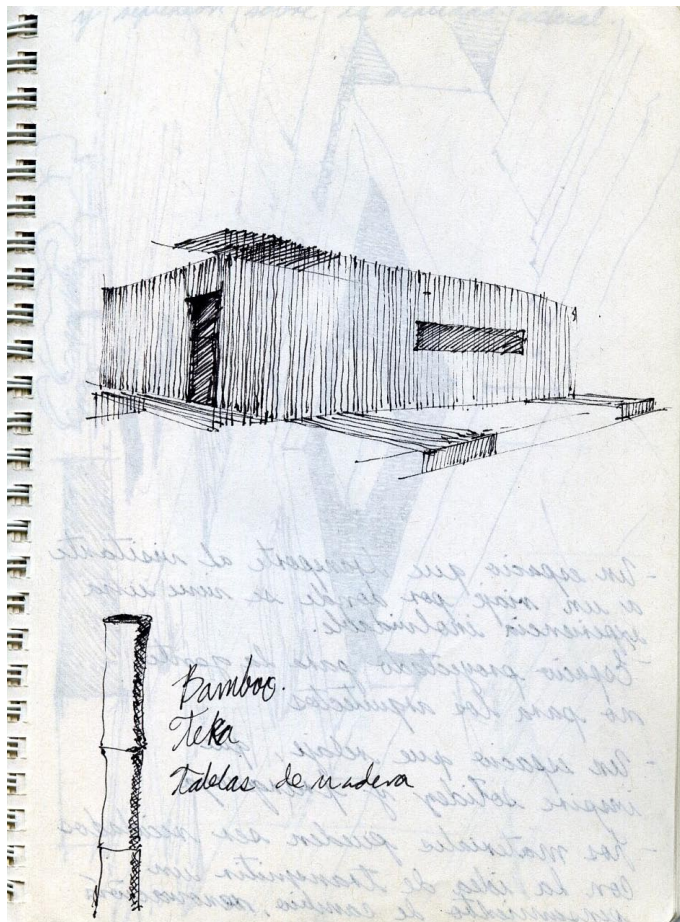
Estas composiciones determinan un orden en el espacio, el primer dibujo ejemplifica un entramado con un trazo caótico contenido en un espacio delimitado por una línea, a diferencia del segundo donde a manera de una manada de mamíferos o un cardumen de peces, la acumulación de elementos se concentra en una región del espacio y se dispersa aleatoriamente a lo largo y ancho del espacio.

## CONCEPTOS GENERALES



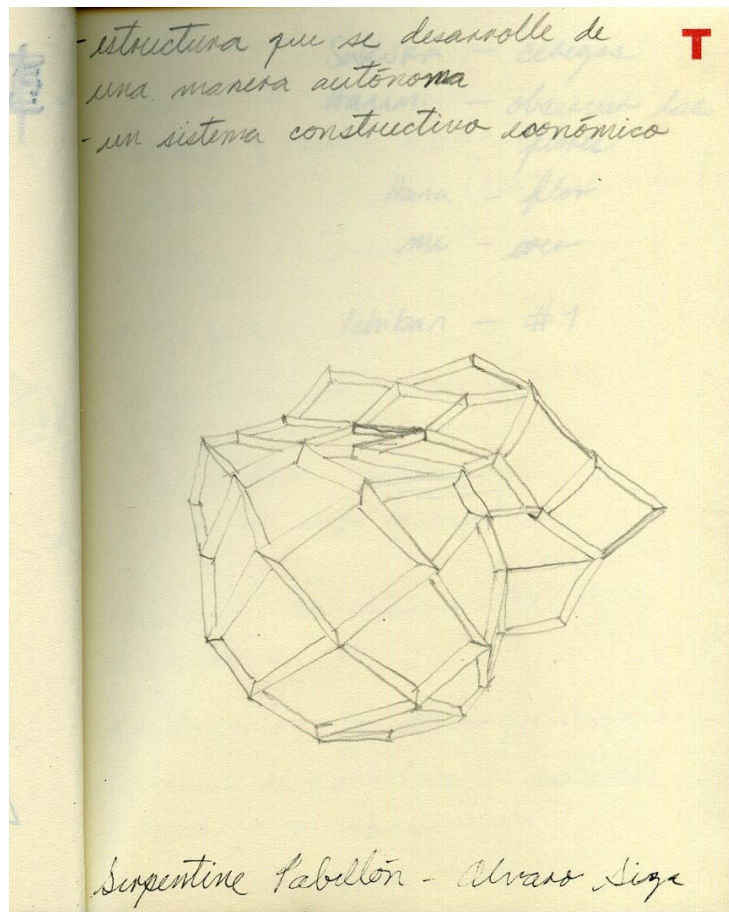
Cajas con una intercomunicación en diferencias de niveles, creando patios, vistas, terrazas y espacios de exposición a partir de un juego de volúmenes.

Esta idea se planteó para el terreno ubicado al costado este de rectoría donde la ubicación de la cápsula estaría en el trazo de una escalinata por lo que era necesario aterrizar o acoplar los elementos del edificio a un terreno en desnivel de tal suerte que la construcción ocultase esa diferencia de niveles y a su vez conectase en su interior los dos terrenos.

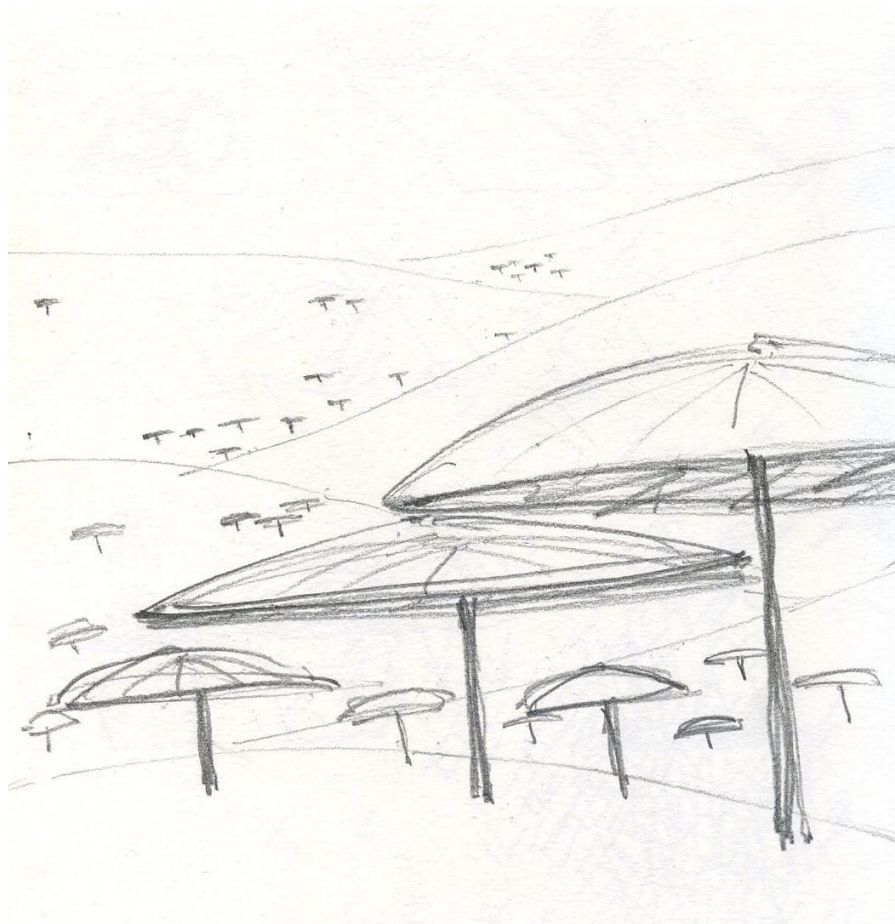




## CONCEPTOS GENERALES

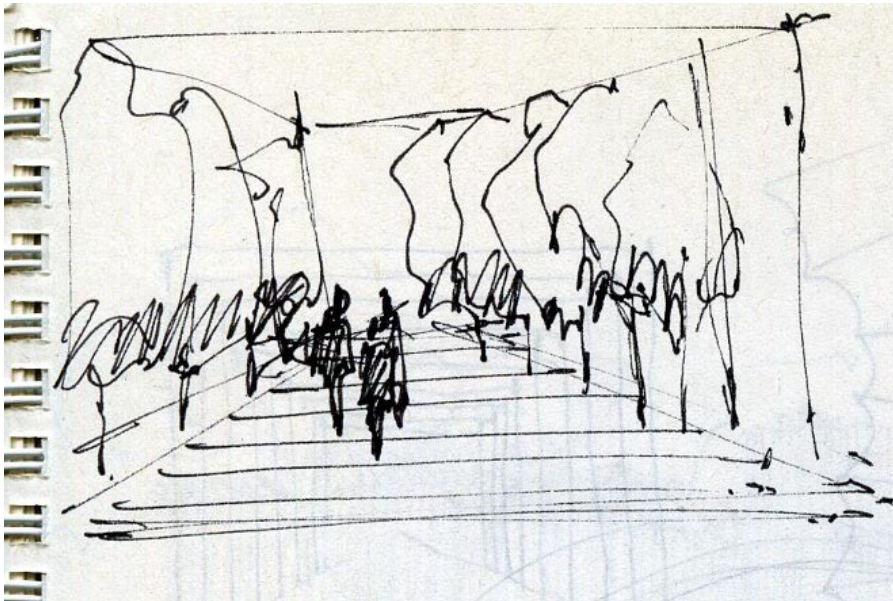


Croquis sobre el proyecto del pabellón Serpentine de Eduardo Soto de Moura y Alvaro Siza como posible sistema estructural para el proyecto.

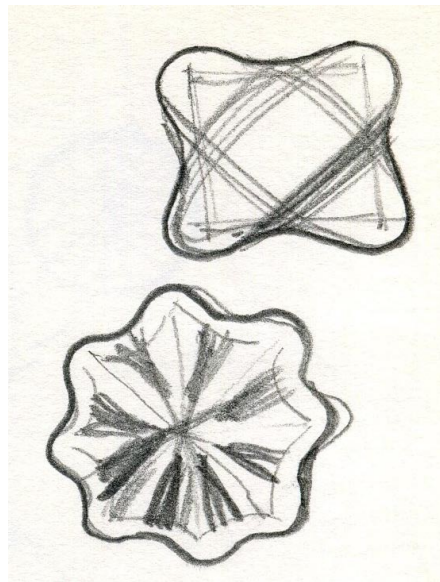
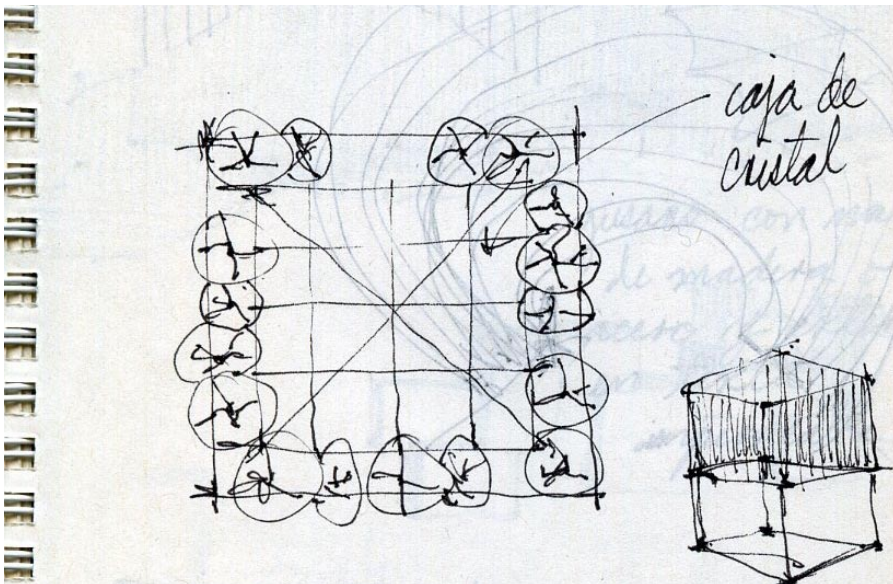


Proyecto de la pareja artista Christo y Jeanne-Claude "Las Sombrillas" 1991 en el que esparcieron más de mil sombrillas a lo largo de enormes campos de California en Estados Unidos y de la prefectura de Ibaraki en Japón, es un ejemplo de una composición que se consideró para el proyecto en el campus de Ciudad Universitaria como un sistema que se esparciera para atraer a la zona de la Cápsula del Tiempo.

## CONCEPTOS GENERALES

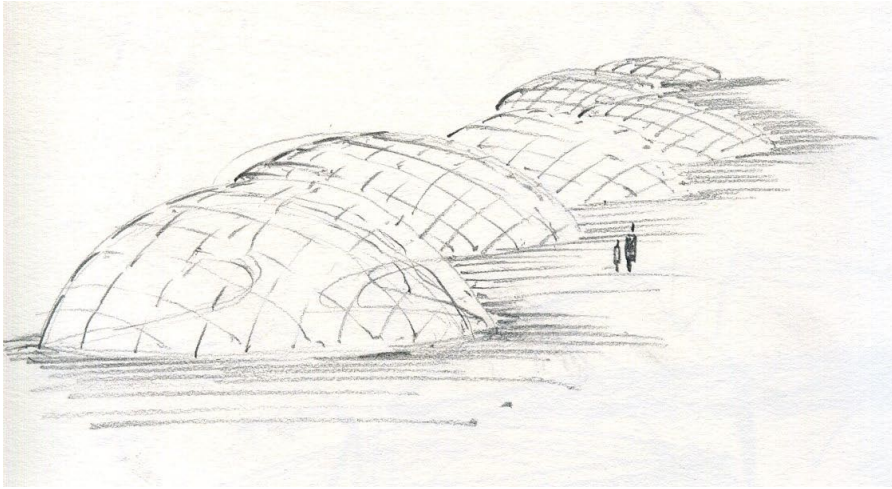


Sin aun tener decidido el sitio donde se ubicaría la cápsula y el pabellón que albergaría el evento de su colocación, se planteó el concepto de generar una celosía en torno al espacio, éste podría estar flanqueado por una cortina semipermeable de árboles o elementos verticales que lo delimitaran pero que a su vez invitaran al interior.

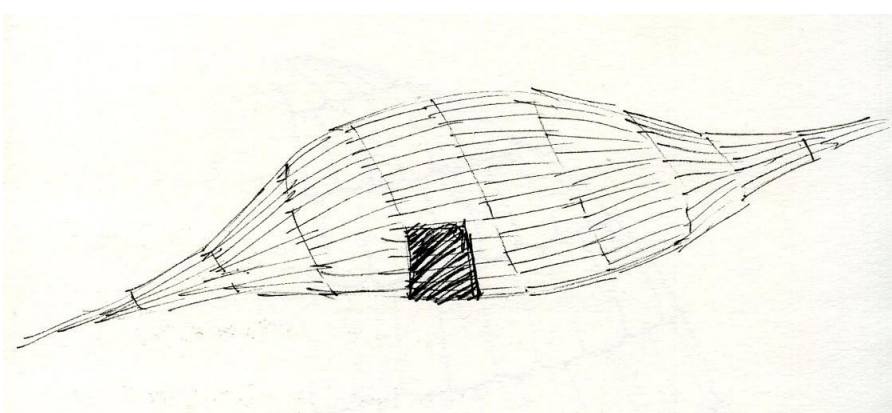


Esquemas de plantas simétricas que pueden trabajar bajo esfuerzos distribuidos uniformemente a lo largo de la forma de sus estructuras.

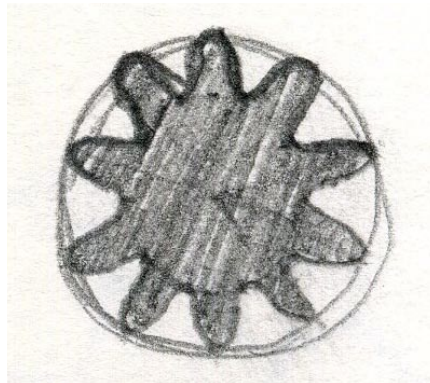
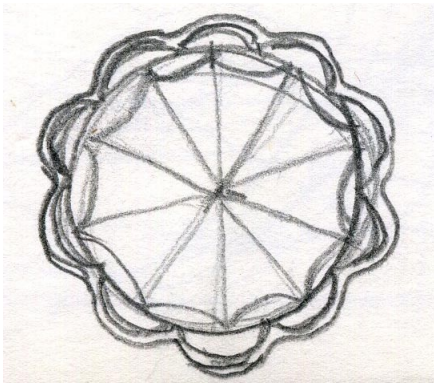
## CONCEPTOS GENERALES



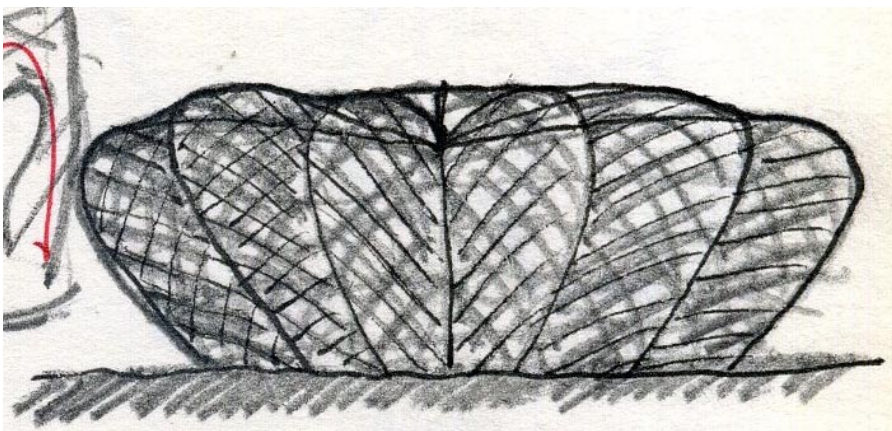
Una serie de cúpulas comunicadas entre sí generando diferentes espacios de exposición.



Un tejido de barras o elementos lineales que conforman una celosía para delimitar un espacio.



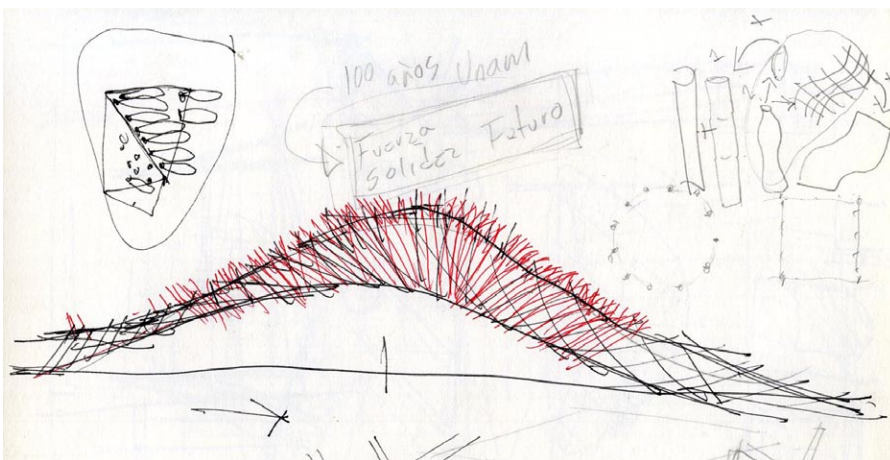
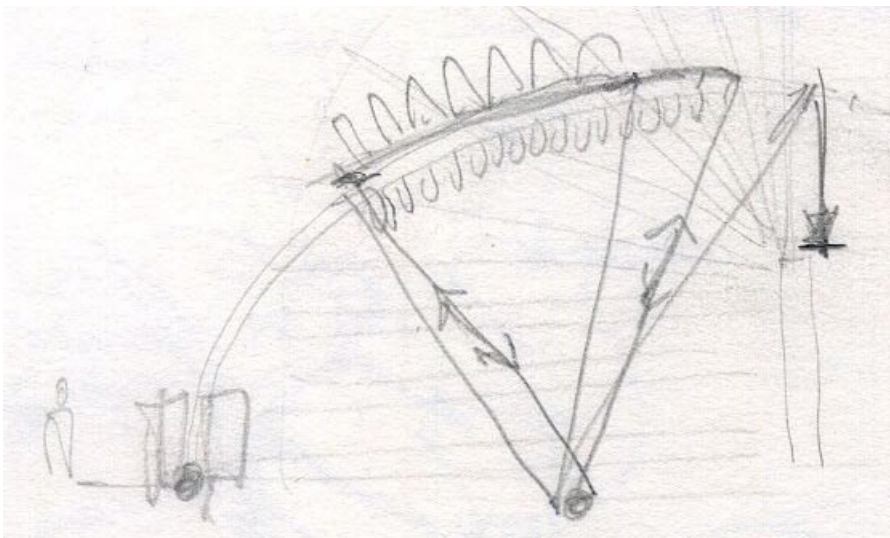
Este ejercicio es también un acercamiento a una estructura muy simple, su simetría y la repetición radial de los gajos da una primera impresión de la economía de los elementos constructivos. Habla también de una estructura que puede ser desplegable y cuyas piezas y ensambles se reproducen en cada sección por lo que la producción en serie es factible. Estos croquis demuestran elementos aislados o en repetición así como estructuras que por su forma pueden prescindir de apoyos muy complejos por medio de la distribución de las cargas.



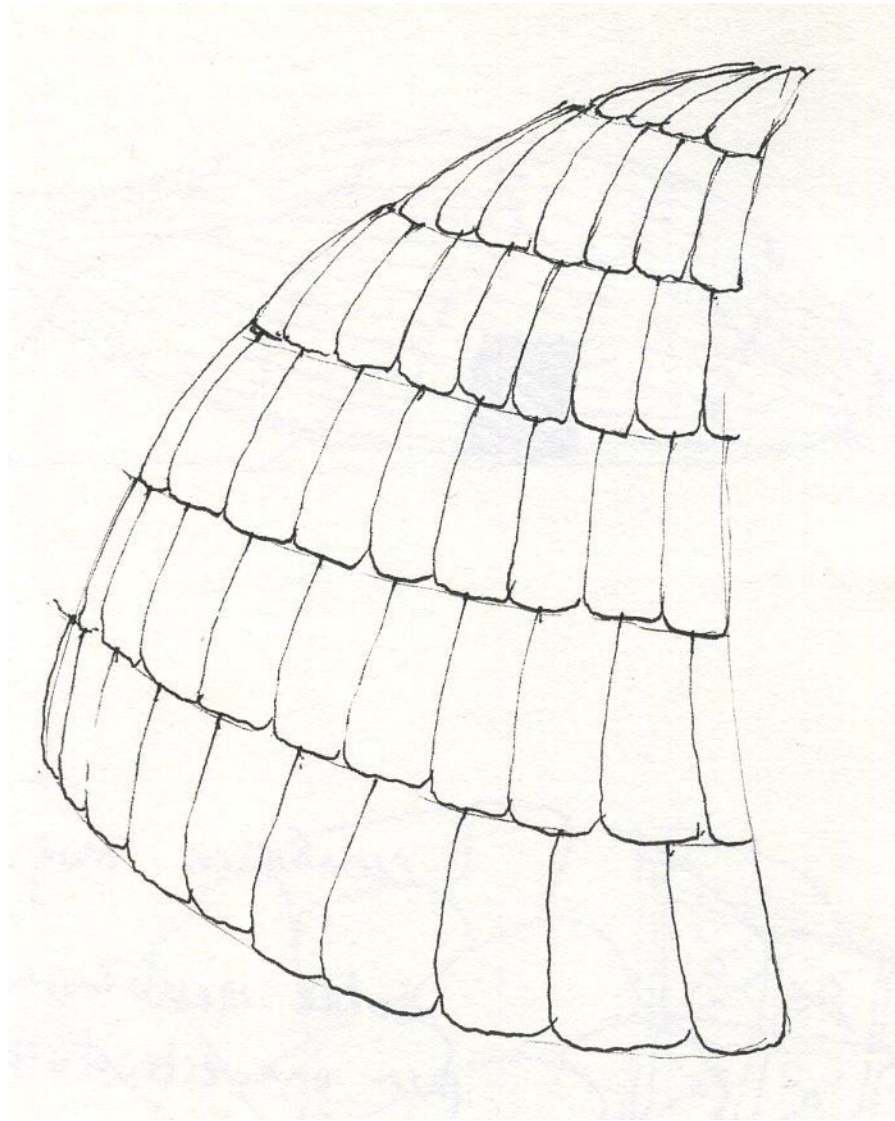
## CONCEPTOS GENERALES



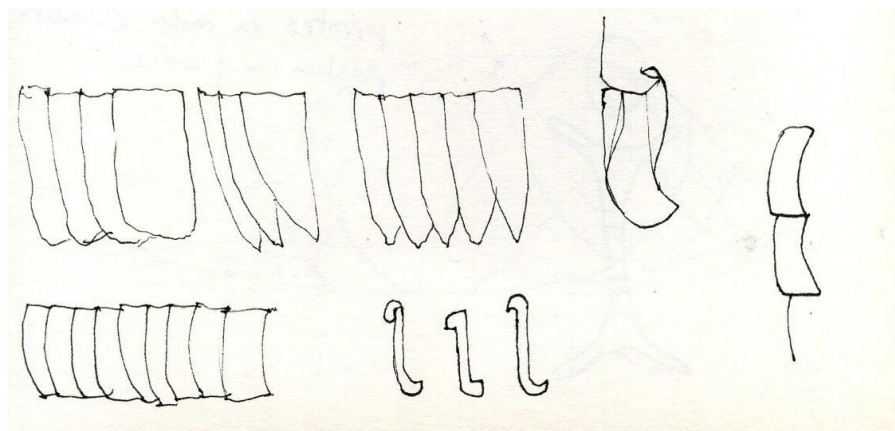
Un importante tema durante la concepción fue el uso de materiales reciclados o reciclables como elementos estructurales, de cerramiento u ornamental como lenguaje de una preocupación por el medio ambiente por lo que se planteó la posibilidad de recubrir, cualquiera que fuese la forma del pabellón, todo o parte del exterior con botellas de PET. Esto daría un efecto lumínico interesante además de proporcionar un carácter ambiental al proyecto.



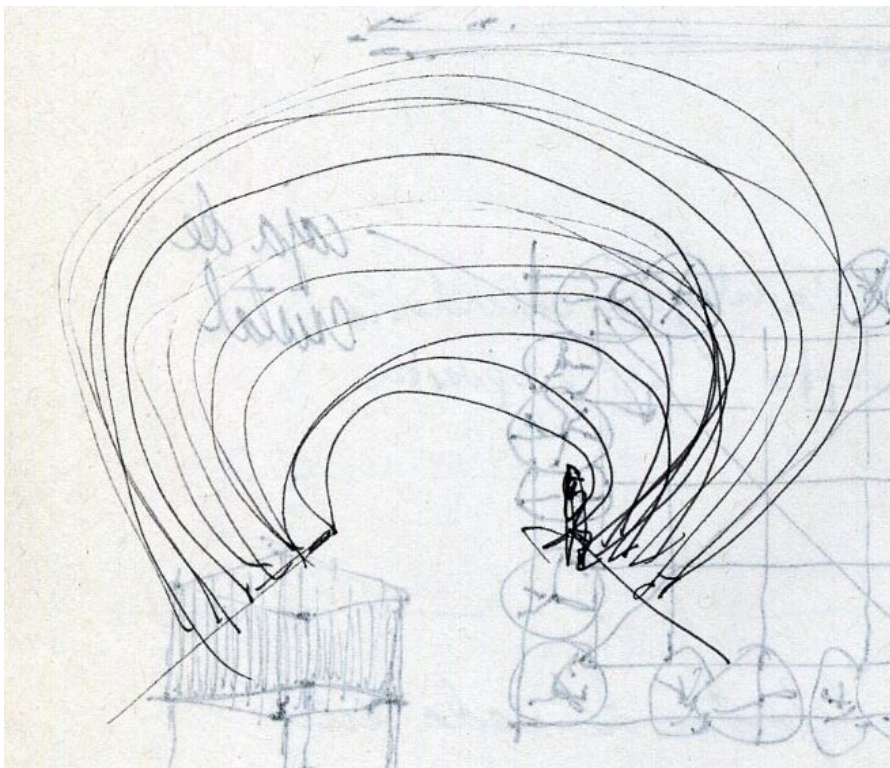
## CONCEPTOS GENERALES



Como la coraza de un armadillo o las escamas de un pez, se planteó el esquema de un sistema tejido de láminas que se desplazaran unas sobre otras para generar una película impermeable al agua como recubrimiento de una estructura auto-soportada.

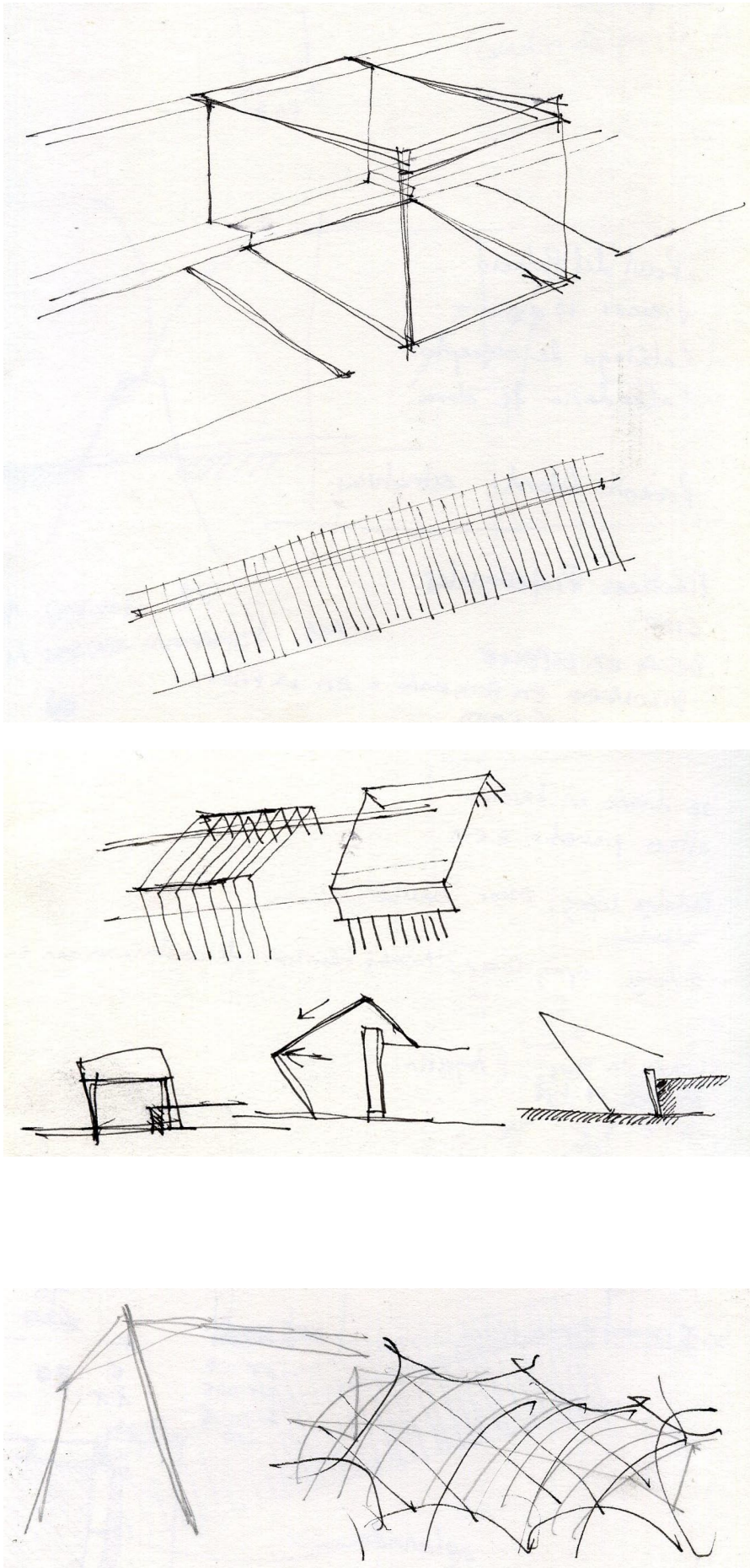


## CONCEPTOS GENERALES



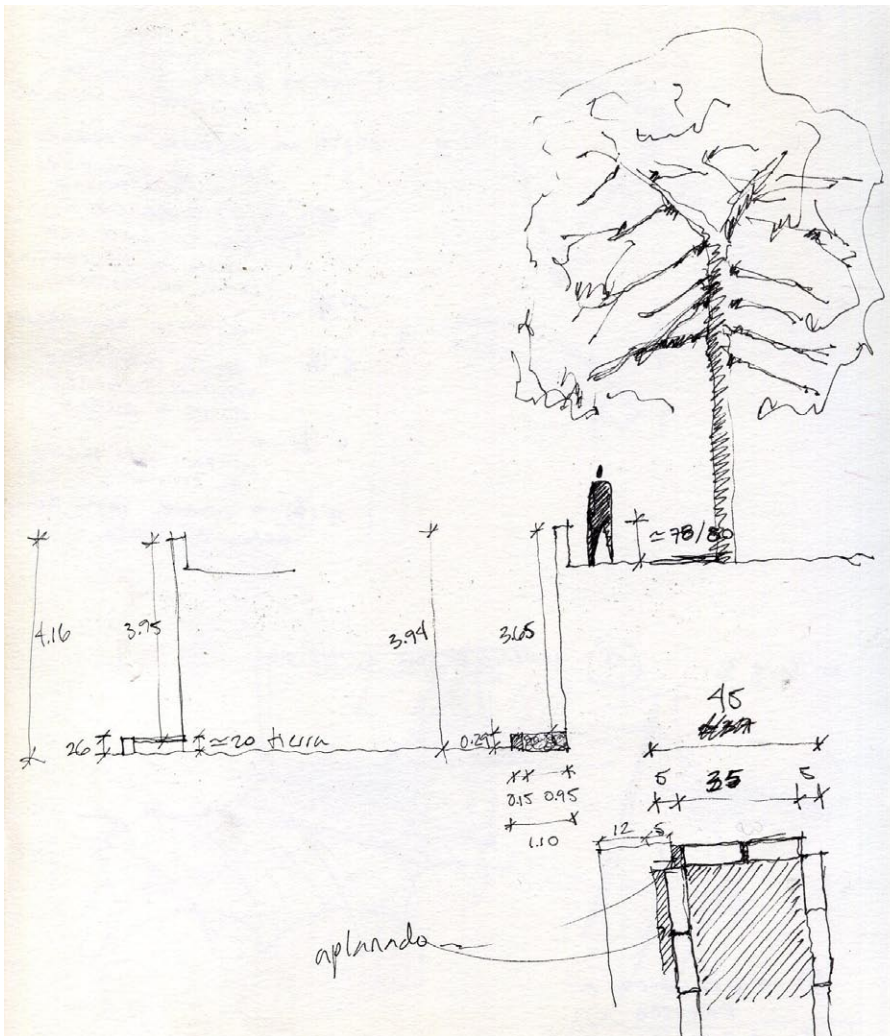
Partiendo de la idea de que el pabellón podría desarrollarse por medio de una estructura desplegable, estos croquis muestran la intención de un espacio generado por marcos que se unen entre sí por medio de una piel o membrana plástica, éste podría ser acomodado de tal manera que condujera a través de un conducto sinuoso.

## CONCEPTOS GENERALES

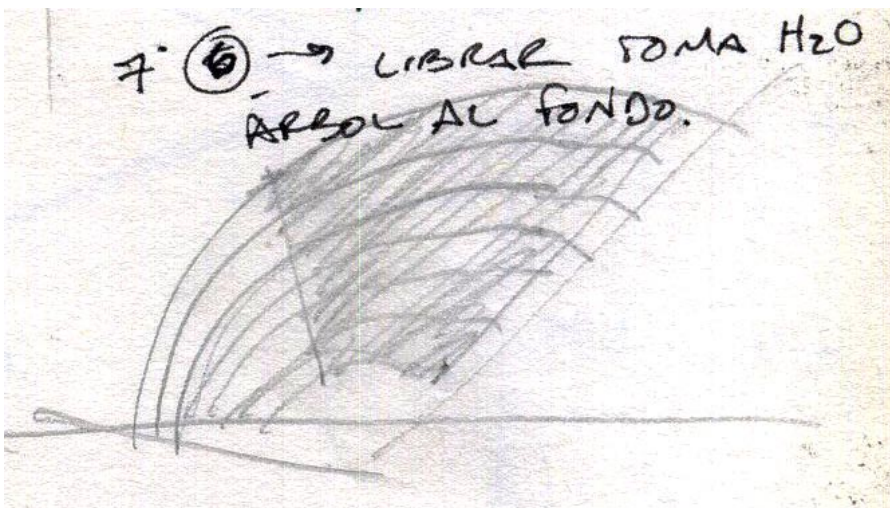


Una vez seleccionado el sitio donde se ubicaría la estela, fue evidente la presencia del muro al que ésta estaría adosada por lo que la concepción del pabellón no volvió a estar aislada de un terreno sino que la propuesta debía ajustarse a este desnivel. Aquí se muestran las primeras aproximaciones al terreno.

## CONCEPTOS GENERALES



Esta sección transversal al muro muestra las dimensiones que hubo que considerar para librar el muro así como uno de los árboles cuya presencia en el terreno fue pertinente para el emplazamiento de la estructura.

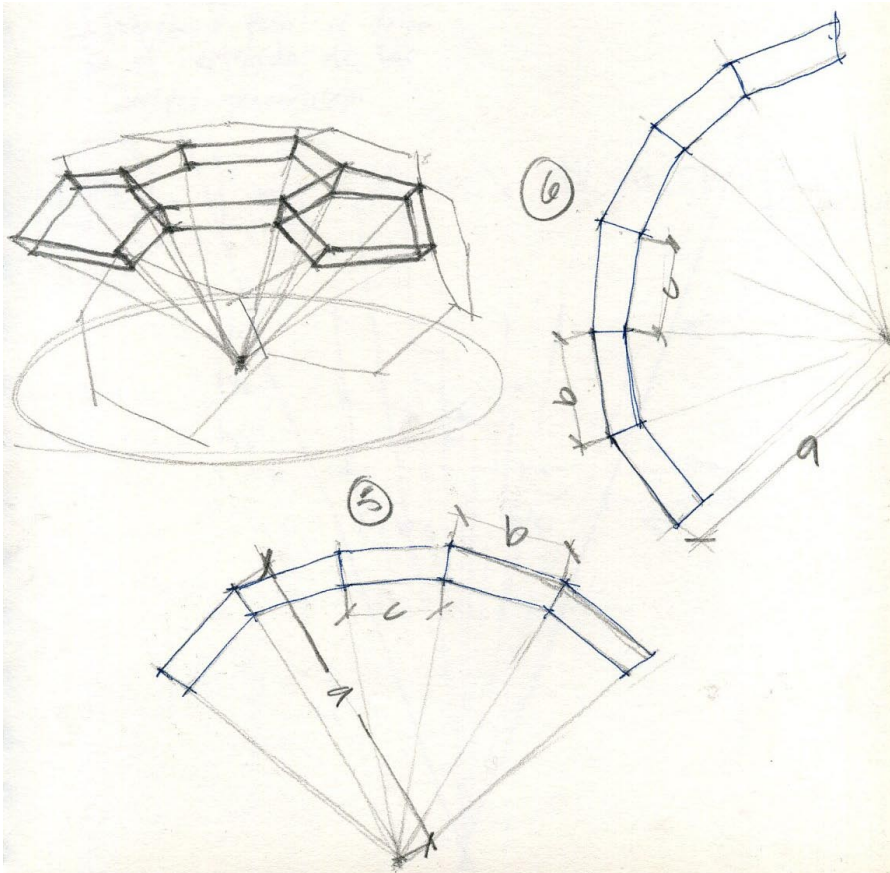


La idea de que el pabellón debía proteger de la lluvia a todo lo largo del muro se planteó una vez tomada la decisión de que la estela estaría adosada al muro.

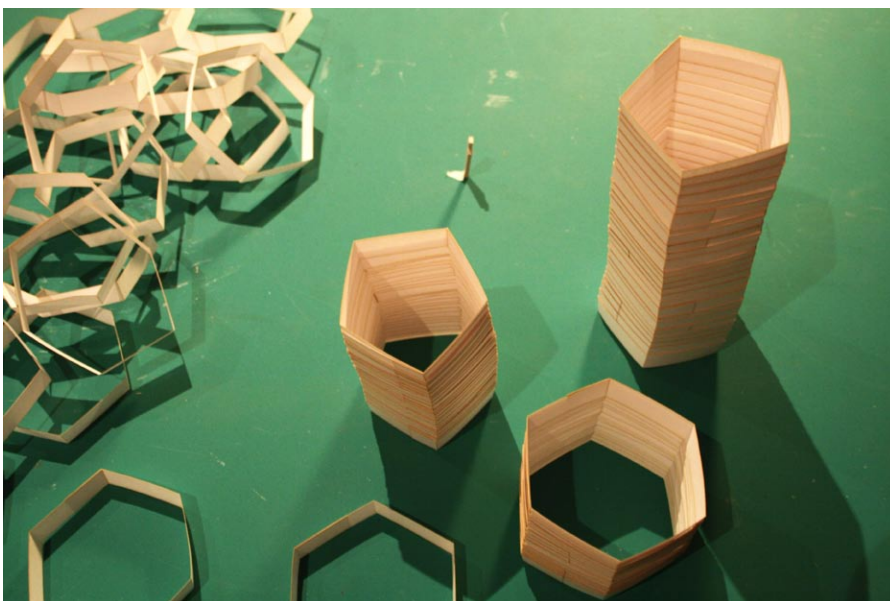


## PROPUESTAS CONCEPTUALES

En esta sección se muestran cuatro diferentes propuestas de diseño para el pabellón. El proceso no es necesariamente cronológico, sin embargo, los conceptos están dispuestos en el orden en que se fueron desarrollando de tal manera que es perceptible los cambios de decisiones y la insistencia por encontrar una solución más apropiada al problema. Esta etapa tuvo la gran dificultad de proponer un proyecto que convenciera a las autoridades de la Universidad.

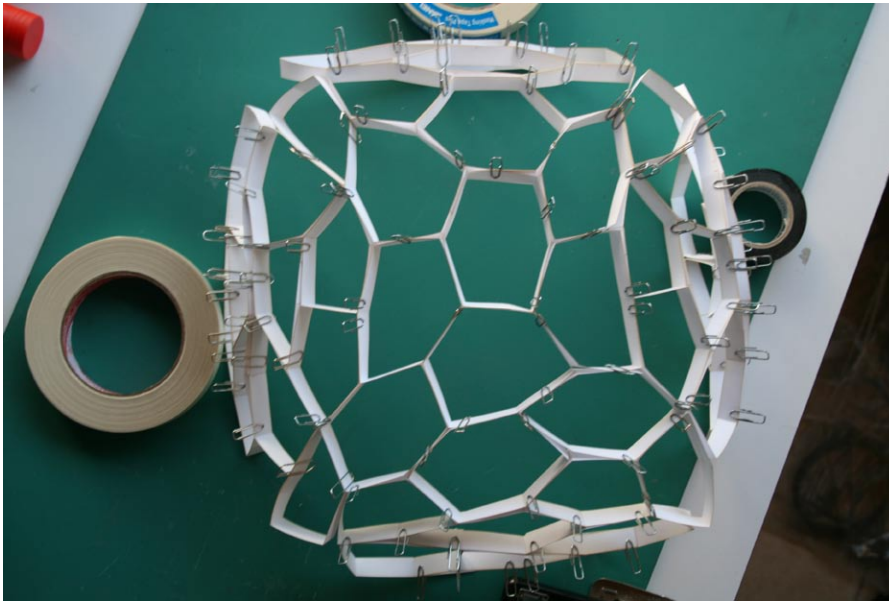


Bóveda generada por medio de superficies a partir de polígonos cónicos truncados.



La propuesta en este concepto buscaba la generación de marcos aislados de madera que, con un desarrollo cónico cuyo vértice estaría ubicado hacia el interior del pabellón, se ensamblaran unos con otros para dibujar una curva espacial.

## PROPUESTAS CONCEPTUALES

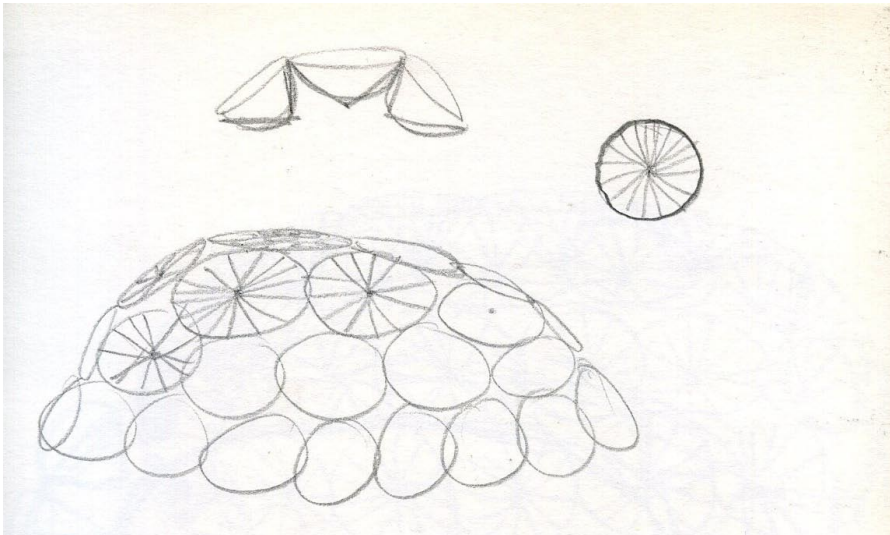


Bóveda generada por medio de superficies a partir de polígonos cónicos truncados.

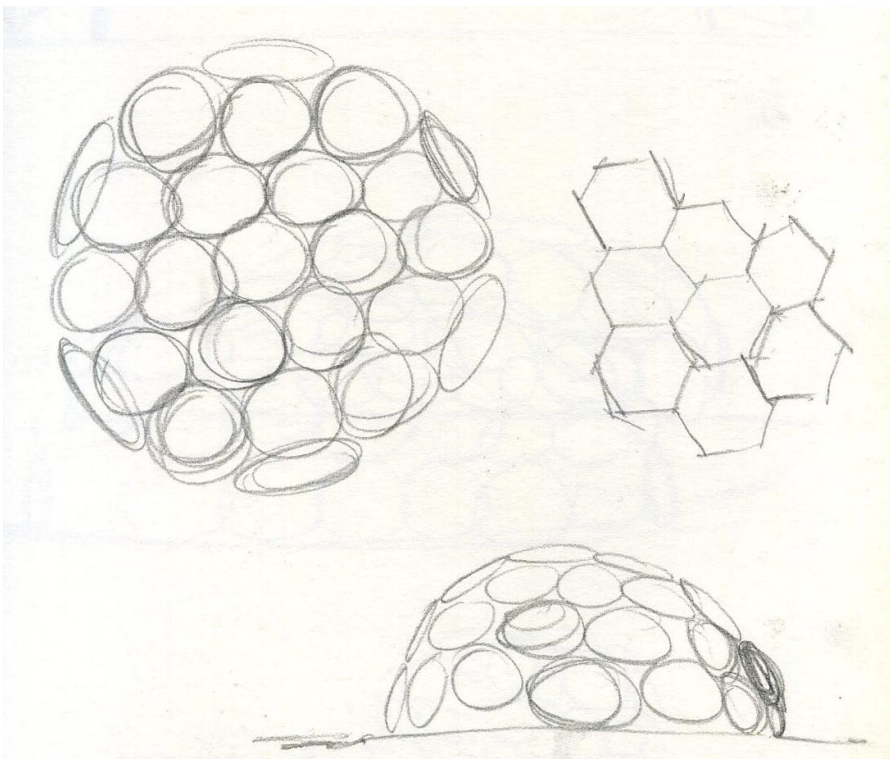


Los marcos podrían fabricarse en serie a partir de cortes de tiras por control numérico como método de fabricación. La estructura podría estar apoyada alternadamente dejando circulaciones libres entre éstas.

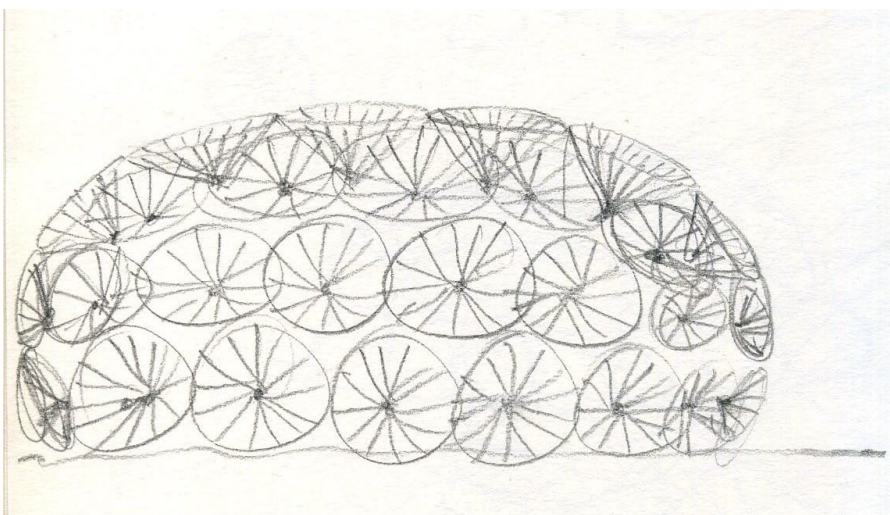




Bóveda generada por medio de superficies de conos truncados

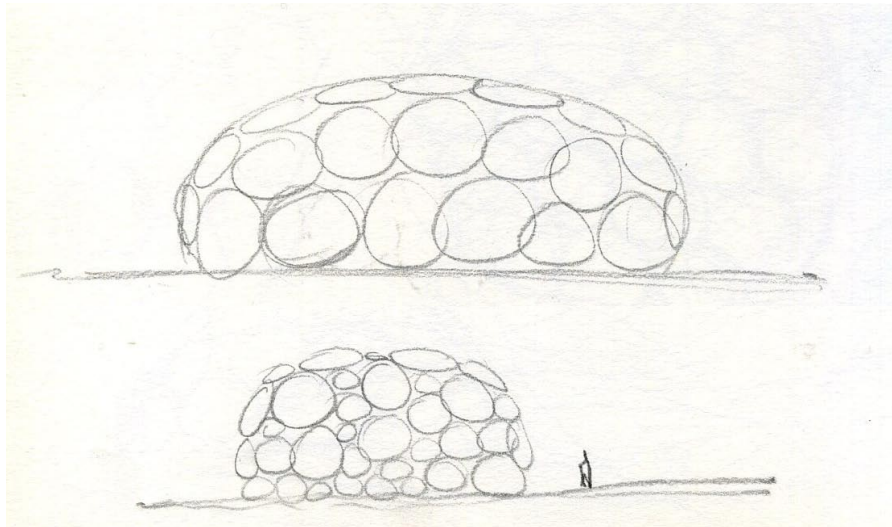


Bóveda generada por medio de superficies de conos truncados

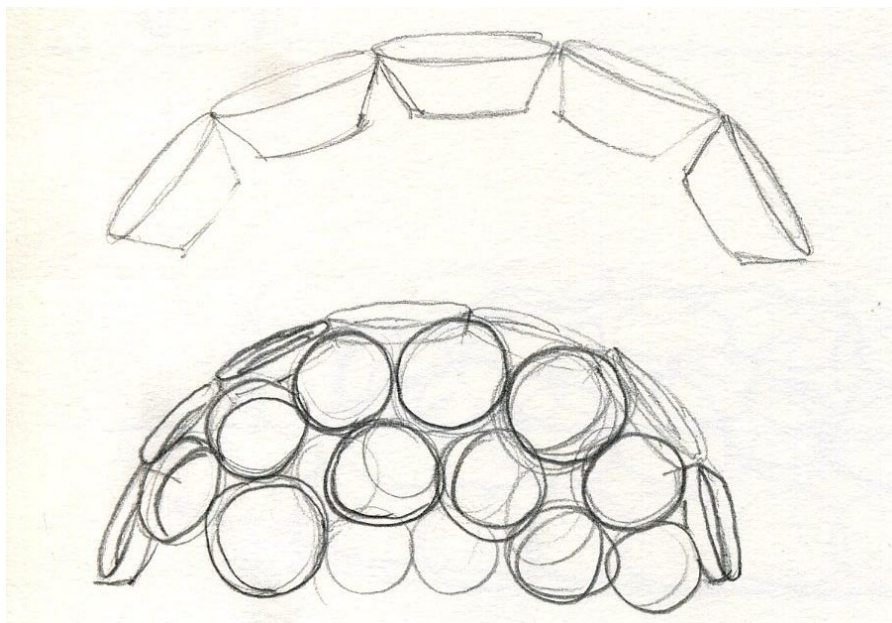
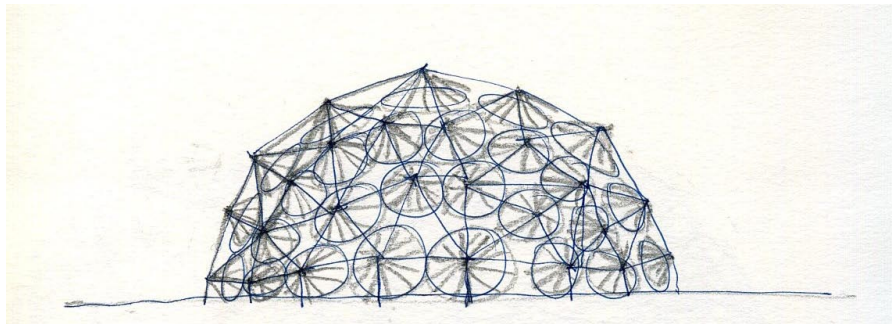
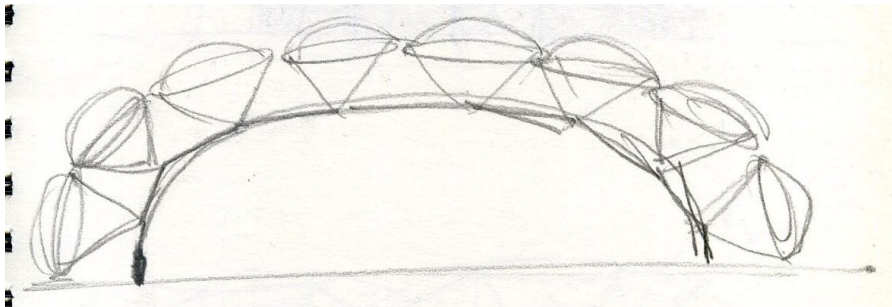


Esta propuesta tuvo como propósito buscar la geometrización de la estructura por medio de anillos que de manera tangencial se apoyasen unos sobre otros y funcionasen básicamente a compresión, como lo hacen las dovelas de un arco. Sin embargo, era indiscutible la necesidad de una estructura a la que debía ajustarse esta formación, por ejemplo que los anillos estuviesen circunscritos a hexágonos o que éstos colgasen con tensores de marcos en superficies independientes.

## PROPUESTAS CONCEPTUALES



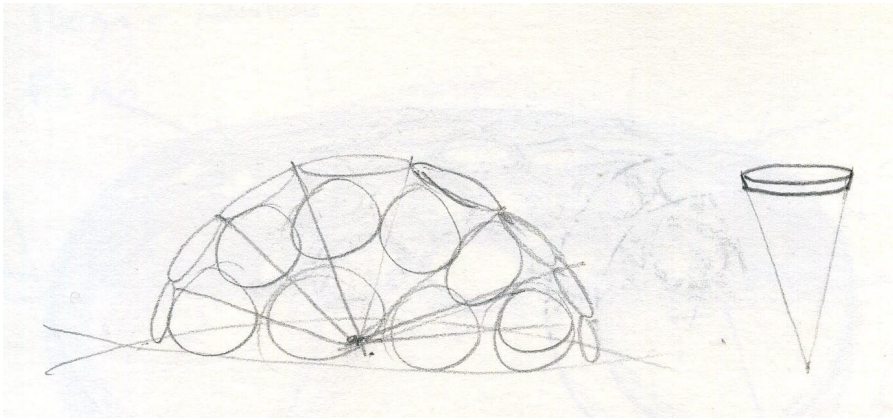
Bóveda generada por medio de superficies de conos truncados



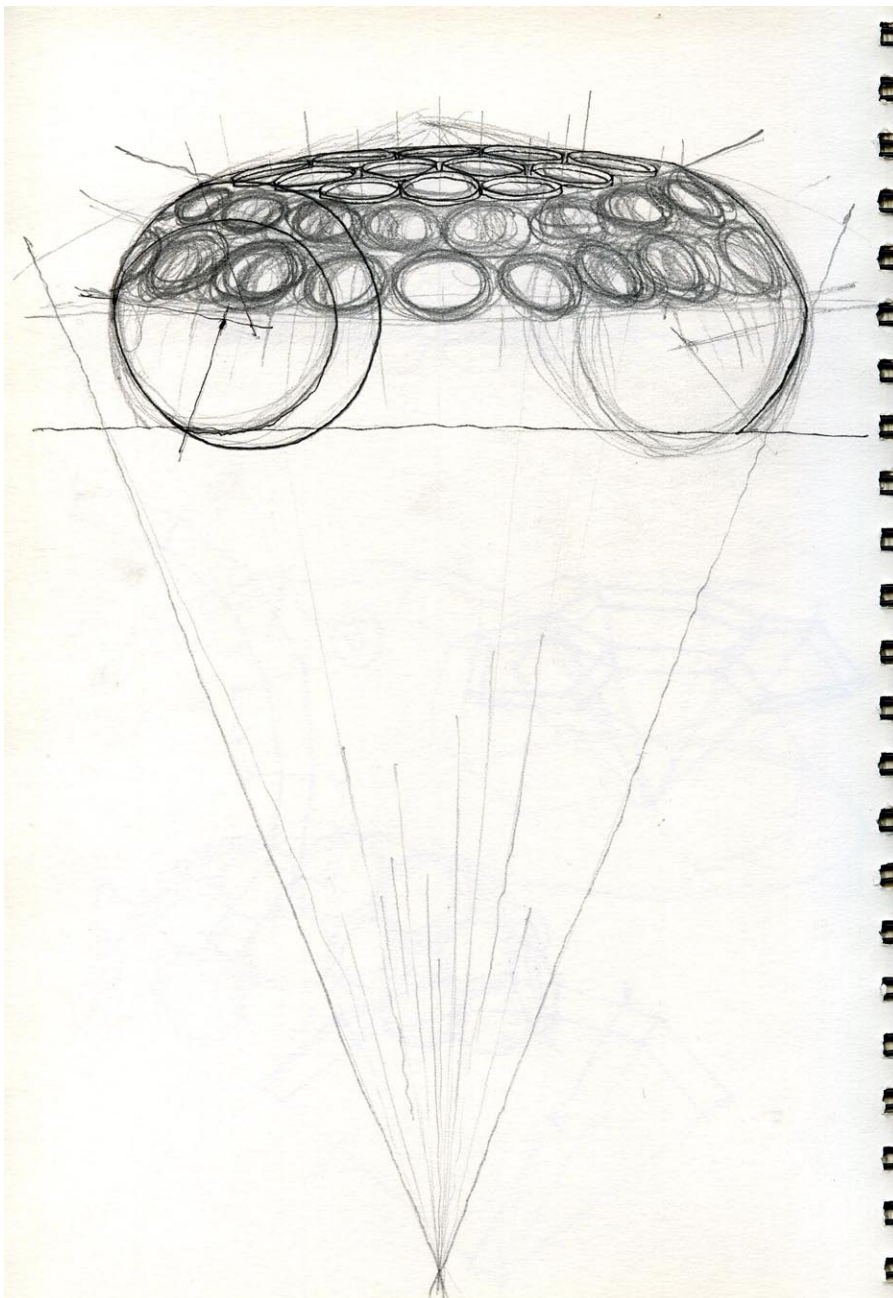
Croquis de composición donde se aprecia la forma conoidal de una manera exagerada para la ejemplificación del criterio a considerar.

El concepto fue planteado meramente como un ejercicio del manejo de un espacio por medio de una superficie cuyos elementos compositivos se repiten.

## PROPUESTAS CONCEPTUALES



Bóveda generada por medio de superficies de conos truncados

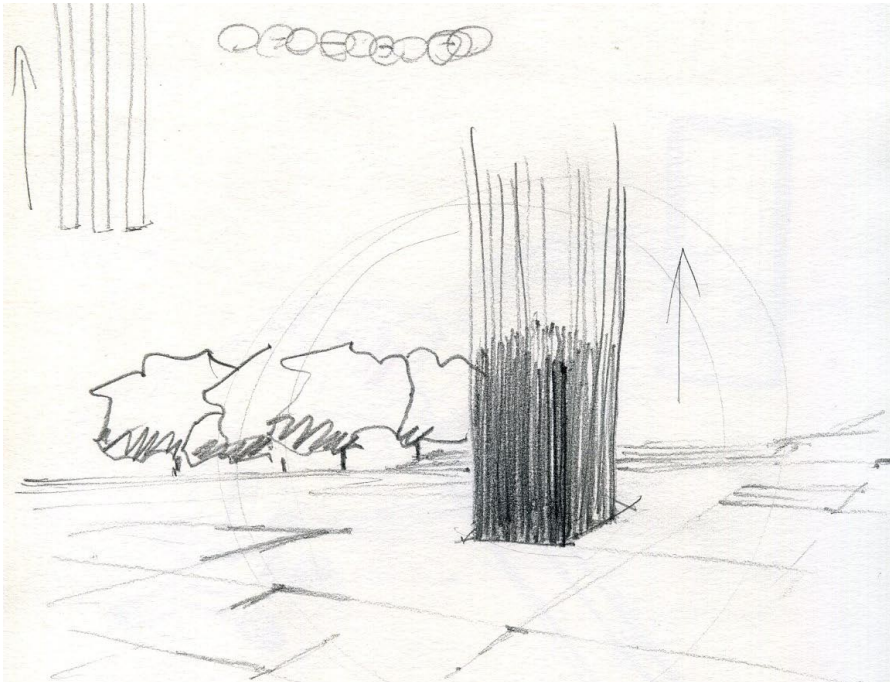


Para efecto de cambiar las pendientes en la curvatura del pabellón, se estimó que al mover el vértice de los conos y ubicarlos cada vez más cercanos a la estructura, los conos se harían a su vez más cerrados permitiendo obtener una superficie con un perfil ovalado logrando un espacio muy generoso sin necesidad de un desarrollo de gran altura como lo son generalmente las geodésicas.

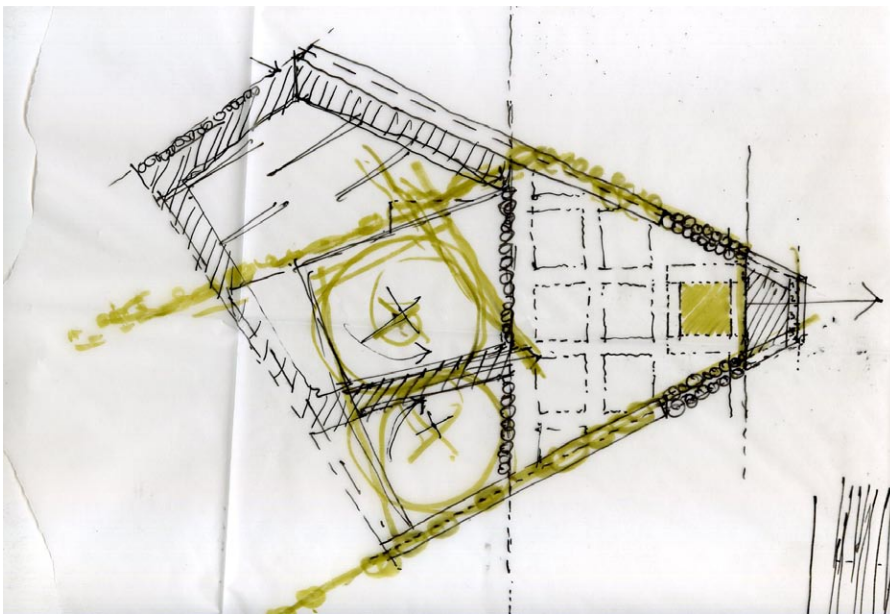
# PROPUESTAS CONCEPTUALES



## PROPUESTAS CONCEPTUALES

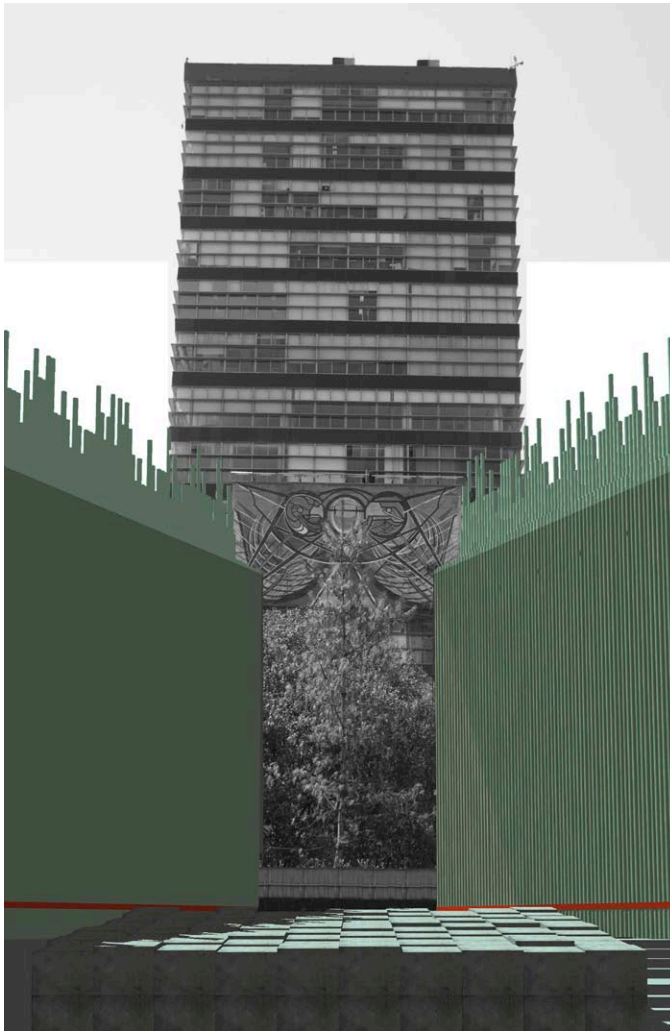


Celosías de bambú  
verticales



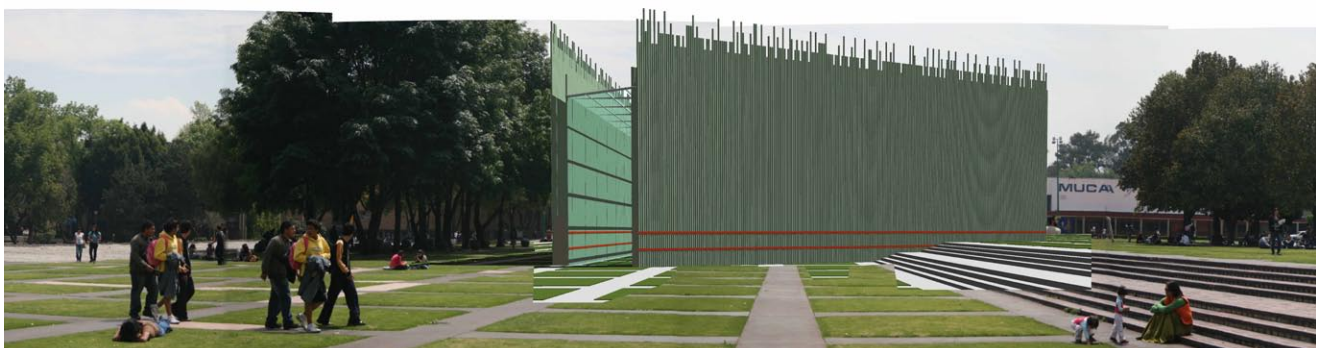
Partiendo del concepto usado para las propuestas de la estela o monumento conmemorativo donde se planteó extraer un cuadro de pasto de la retícula existente en las plazas circundantes a rectoría, esta propuesta está fundada en la verticalidad.





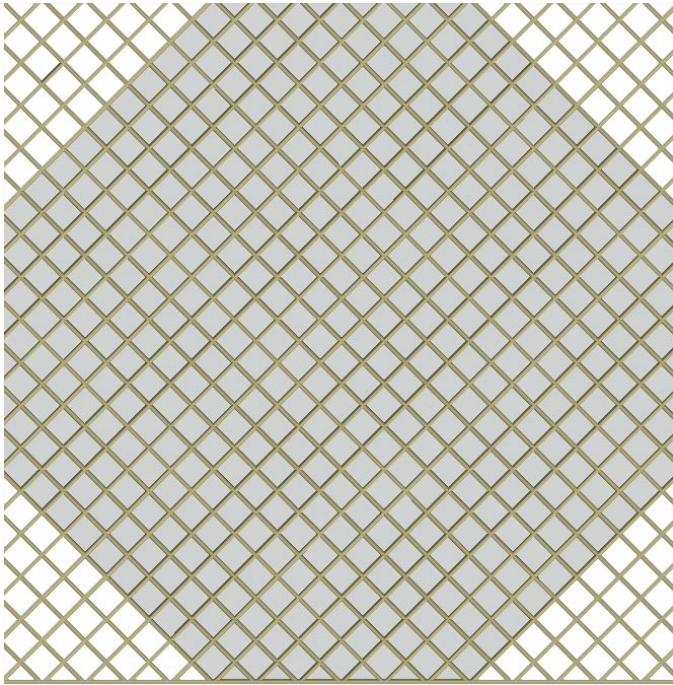
### Celosías de bambú verticales

El bambú, considerado en todo momento como elemento constructivo candidato para la construcción del pabellón, tiene la cualidad de crecer con una verticalidad asombrosa. Esta propuesta buscó enfatizar esta propiedad mediante la colocación de largas cañas de bambúes enfiladas para generar una frontera que delimitase el espacio. Los bambúes estarían prensados y amarrados en diferentes alturas para evitar su separación. Por el carácter imperfecto propio del material y su forma cónica, las paredes formadas darían un resultado de enormes celosías proporcionando un tamizado de luz e incluso permeable ante la vista. La concepción se realizó para el sitio ubicado al este de rectoría, pues en su momento tenía muchas posibilidades, esto determinó la necesidad de contener la escalinata dentro del pabellón por lo que las cañas se acomodarían de manera escalonada librando este obstáculo.





## PROPUESTAS CONCEPTUALES



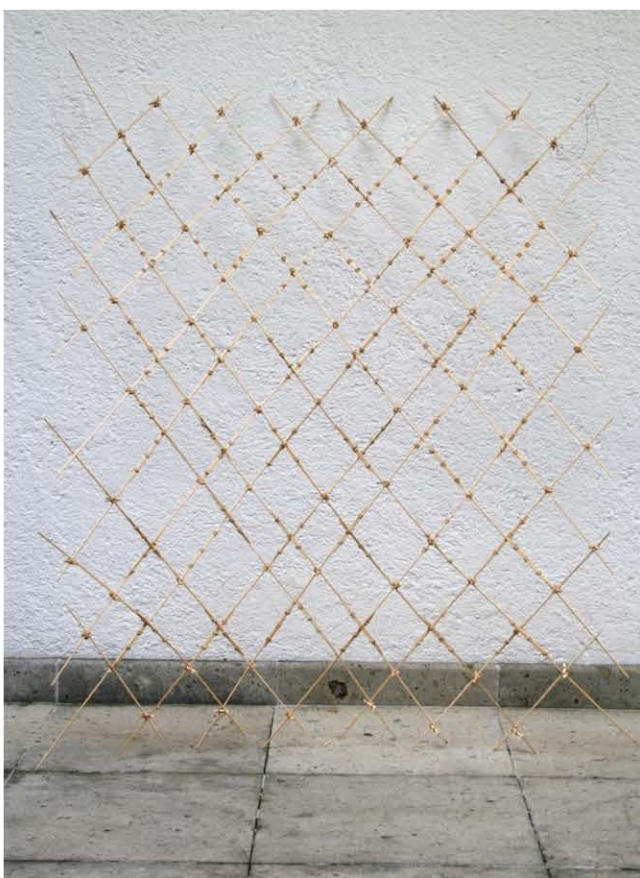
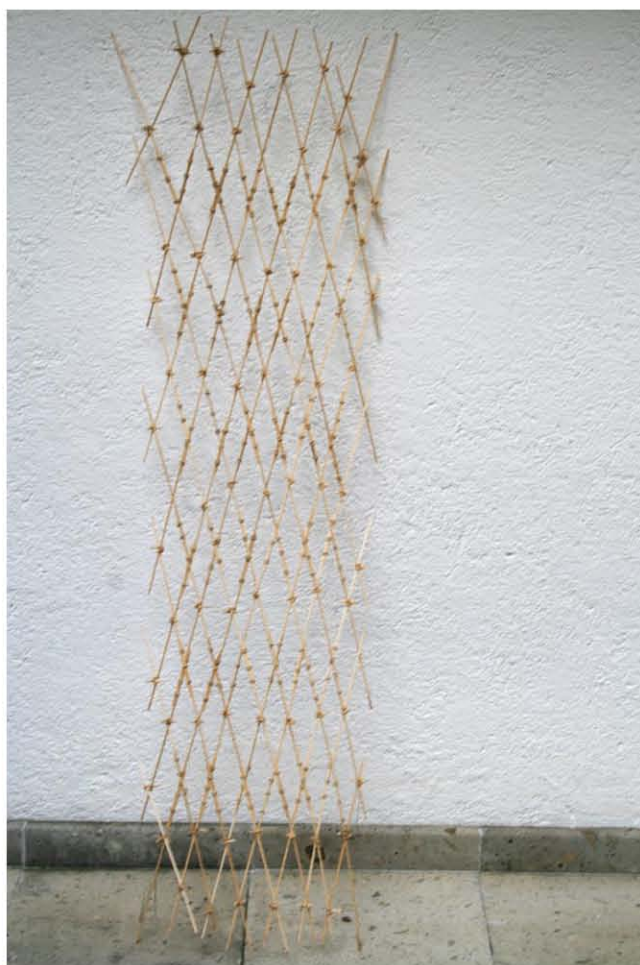
Cascarón reticulado de traslación o cascarón de celosía de bambú.

Una vez electo el bambú como elemento de construcción por su carácter económico y ambiental y su potencial para una propuesta de arquitectura contemporánea, fue necesario revisar sus cualidades mecánicas, su comportamiento estructural y las posibilidades constructivas que este proporciona.

Estas primeras imágenes muestran una celosía con un trazo a cuarenta y cinco grados como búsqueda de una trama que debía mantener una estática estructural por si misma.



PROPUESTAS CONCEPTUALES



## PROPUESTAS CONCEPTUALES



Cascarón reticulado de traslación o cascarón de celosía de bambú.



La celosía aquí mostrada pretende mostrar el funcionamiento de una retícula que ubicada en un plano horizontal, es sometida a compresiones en sus cuatro esquinas, sus nodos no muestran mayor desplazamiento y se obtiene una superficie reglada estable por su propia forma.



Aún cuando la maqueta fue construida con poca precisión, es notable que los esfuerzos se ven distribuidos uniformemente a través de los palillos de bambú ya que la curva dibujada se acerca al trazo de una anticatenaria y no presenta mayores deformaciones.

## PROPUESTAS CONCEPTUALES

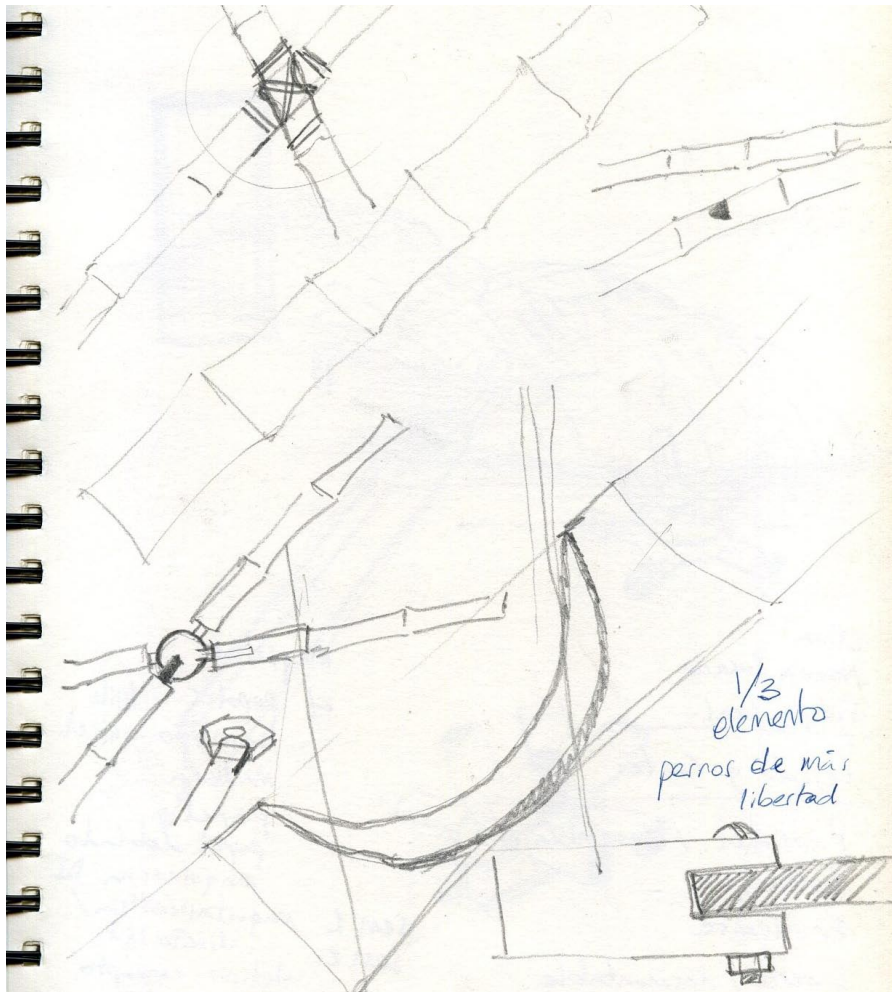


Cascarón reticulado de traslación o cascarón de celosía de bambú.

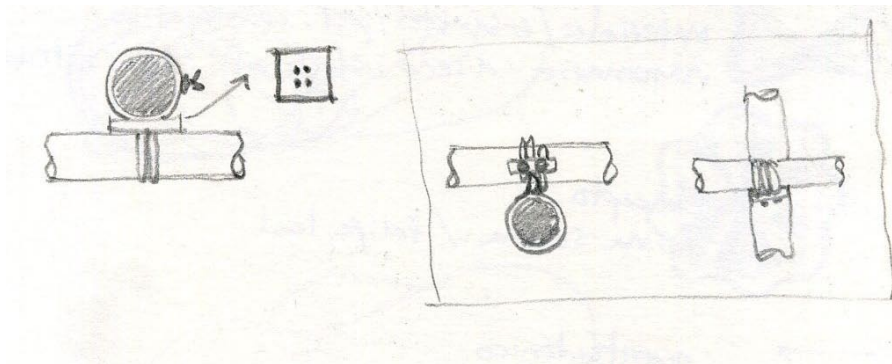


El proceso en el diseño de esta propuesta comenzó a exigir el acercamiento al bambú como material y al estudio de soluciones para las conexiones longitudinales y las uniones de dos o más cañas.

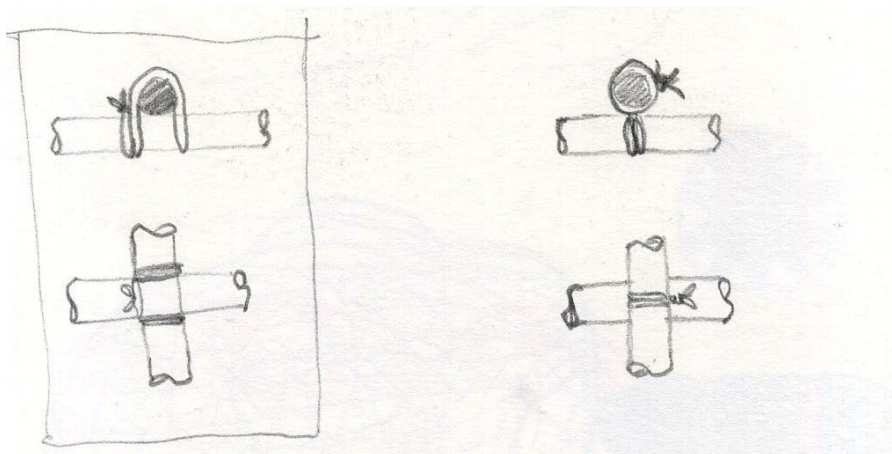
## PROPUESTAS CONCEPTUALES



Cascarón reticulado de traslación o cascarón de celosía de bambú.



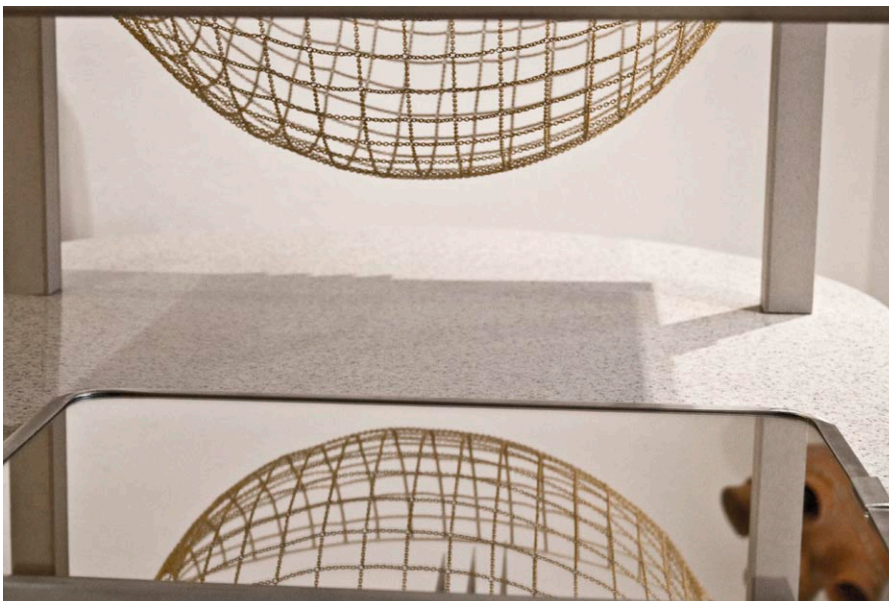
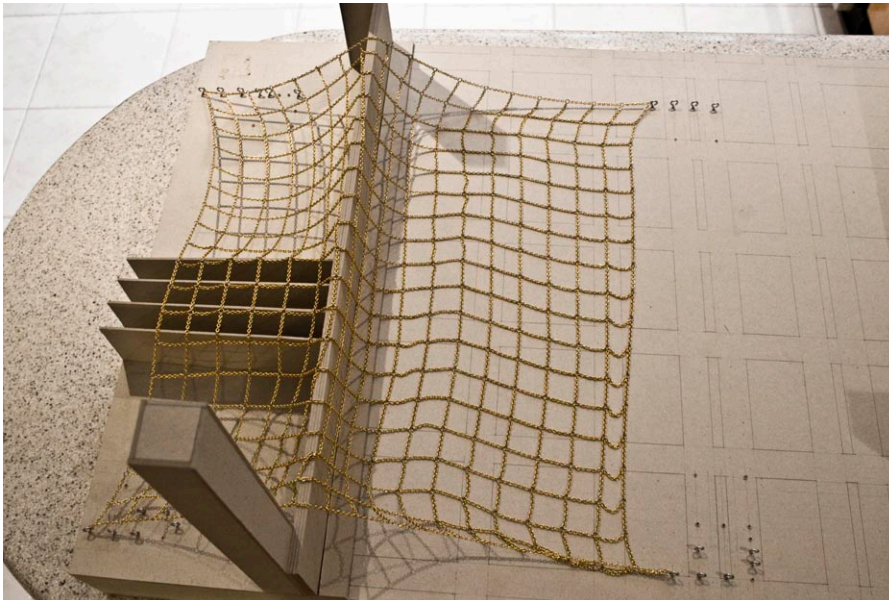
Los esquemas aquí propuestos fueron anotaciones elementales de uniones empleadas en la construcción tradicional.



Esta propuesta consideró siempre implementar métodos constructivos propuestos por los constructores sin embargo, siendo un proyecto experimental universitario, la seguridad estructural debía estar avalada por la institución.

# PROYECTO EJECUTIVO

El proyecto del pabellón para la ceremonia de colocación de la Cápsula del Tiempo cobró factibilidad una vez tomadas dos decisiones fundamentales. Por una parte, la elección del bambú como un material que representase un reto tecnológico y ambiental, buscando una intención de promover el uso de éste como elemento constructivo y que a su vez representase una propuesta que puede beneficiar en la economía de la construcción, la preservación del medio ambiente y la promoción de la industria y la economía locales. Por otra parte, la implementación de una geometría que lograra el espacio necesario para el evento, que trabajase estructuralmente de una manera adecuada, disminuyendo a un mínimo el peso propio y transmitiendo del modo más eficiente las cargas a la cimentación logrando la economía de materiales y recursos tanto naturales como económicos.



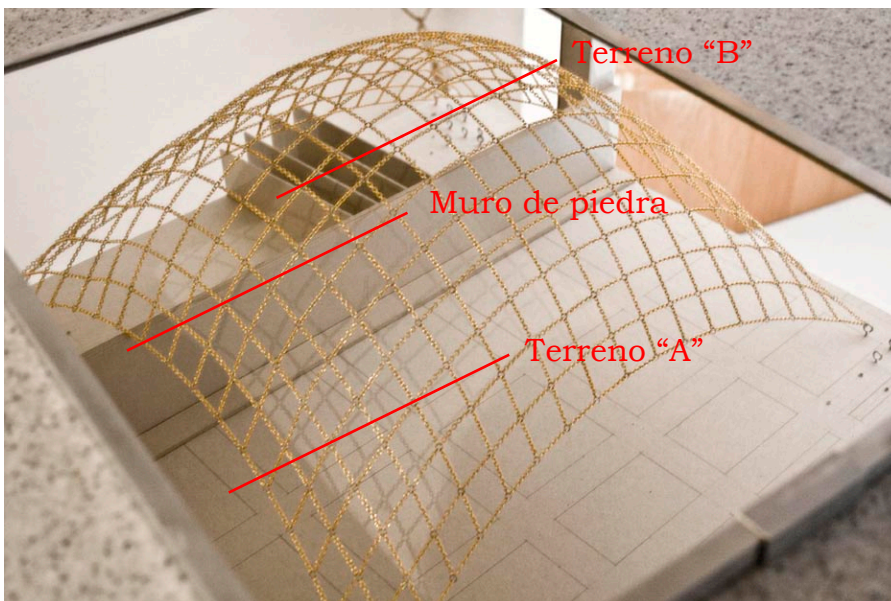
De esta manera, la geometrización de la estructura por medio de un cascarón reticulado de traslación CRT que pudiera construirse por medio de arcos de bambú con directriz anticatenaria fue determinante en el desarrollo conceptual. La catenaria, que en términos de estática funciona como un funicular sometido únicamente a la fuerza de gravedad de la tierra, da como resultado esfuerzos de tracción uniformemente repartidos a lo largo del elemento, al invertir la catenaria se obtiene su anticatenaria que en sentido figurativo, es la misma curva reflejada sobre un espejo ubicado en un plano horizontal. Los lugares geométricos de ambas curvas se encuentran siempre en el plano vertical.

El desarrollo del CRT se obtuvo mediante el programa GEOG de la Facultad de Arquitectura de la UNAM en el cual se obtienen geometrías para aquellos cascarones cuyas directrices se componen por anticatenarias. Al introducir los datos de las dimensiones de cada lado en planta, la distancia nodal, las alturas de flechas de los arcos y la altura total, el programa procesa dichos datos arrojando un esquema vectorial tridimensional del desarrollo de los arcos así como los parámetros de las dos curvas catenarias. El esquema obtenido se utilizó para desarrollar el modelo tridimensional. El programa GEOG fue desarrollado por Juan Gerardo Oliva Salinas en la Universidad de Stuttgart como parte de la disertación para obtener el grado de doctor.

Una vez electo el CRT como estructura para el pabellón, se planteó la necesidad de albergar un evento donde asistirían alrededor de 350 personas requiriendo un área que cubriera cerca de 250 m<sup>2</sup> y que a su vez protegiera el espacio circundante a la estela conmemorativa que albergaría la cápsula.

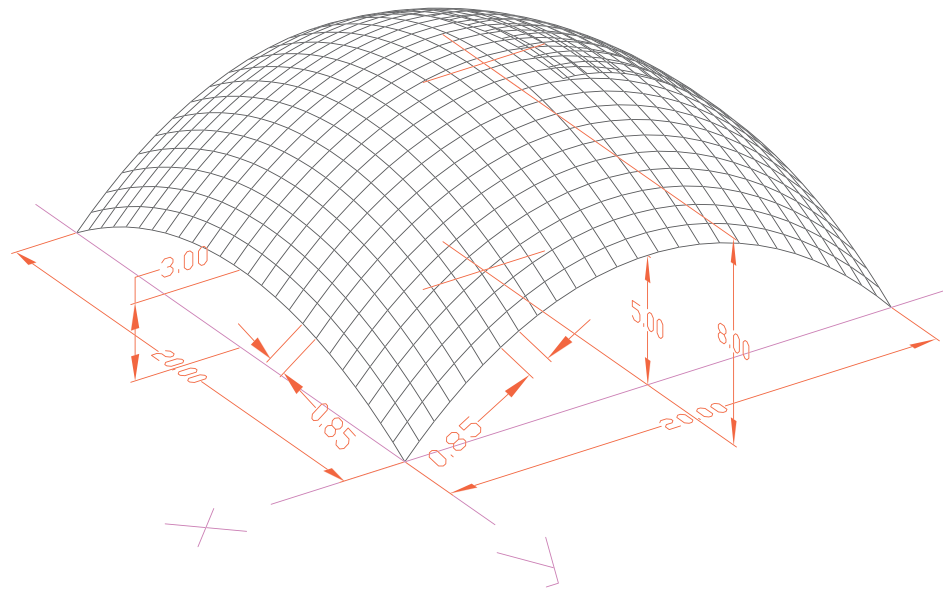


El espacio donde se ubicaría el pabellón está configurado por una explanada, que llamaremos terreno "A", contenida entre dos muros de piedra de cuatro metros de altura, la estela estaría adosada a uno de estos muros que a su vez es colindante con un terreno "B" con una diferencia de nivel positiva de 3.00 m en promedio.



Esto determinó la necesidad de diseñar un pabellón que estuviese apoyado sobre dos niveles y que librase el muro de piedra. Considerando que el cascarón se desplantaría a partir de una altura de 1.50 m sobre el nivel del terreno "A", para tener un paso peatonal libre, se decidió generar dos arcos con directriz anticatenaria diferentes; uno con una flecha mayor que el otro.



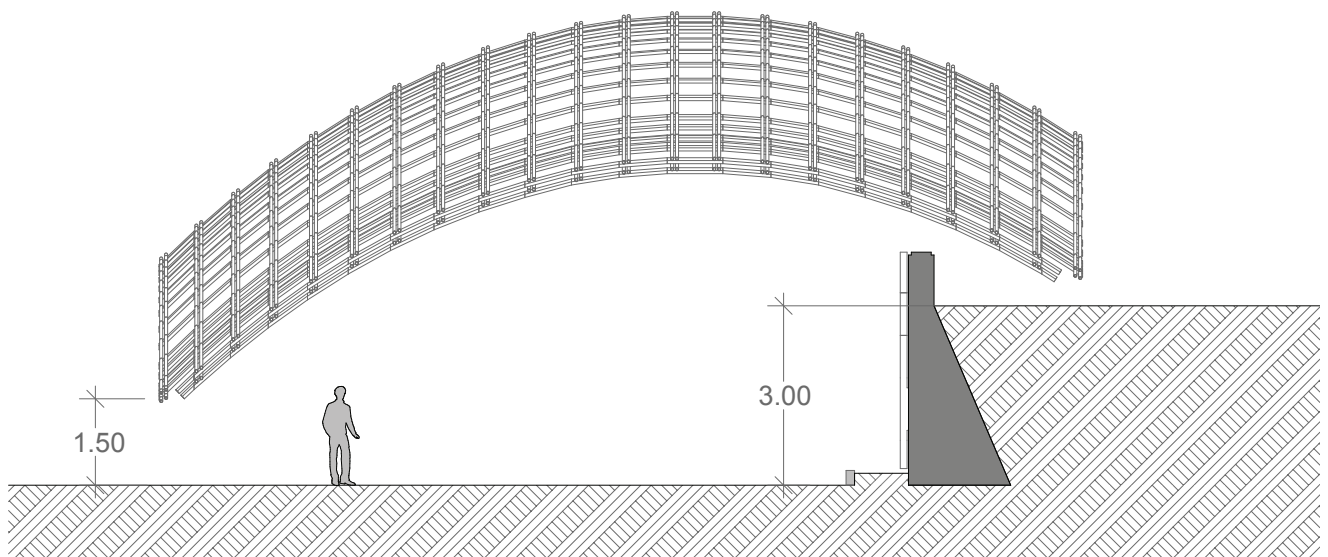


Se optó por una planta cuadrangular de 20 m por 20 m con una flecha de 5.00 m de altura en el sentido perpendicular al muro y 3.00 m en el sentido paralelo al muro. Posteriormente, se eliminaron los ejes de borde para disminuir el tamaño en planta, obteniendo claros de 18.60 m.

Las curvas anticatenarias de los arcos de traslación tienen los siguientes parámetros: 10.7432 en el sentido del eje x (perpendicular al muro) y de 17.144571 en el sentido del eje y (paralelo al muro).

El desarrollo del CRT hasta entonces era simétrico, sin embargo, para poder apoyarlo sobre el terreno "B", se eliminaron los primeros cuatro ejes de borde paralelos al muro del lado del terreno "B" dando como resultado una diferencia en los niveles de apoyos de 2.16 m y como resultado un CRT asimétrico (imagen abajo).

Las dimensiones finales en planta son de 18.60 m x 16.24 m cubriendo un área total de 302.06 m<sup>2</sup>.





**E**l bambú es perteneciente a la familia de las Gramineae o Poaceae, a la tribu Bambusae de la subfamilia Bambusoideae, la más diversa de las gramíneas. A su vez comprende dos tribus: las Olyreae (bambúes herbáceos) y Bambuseae (bambúes verdaderos). Estos últimos se distinguen por tener un carácter perennifolio, sus rizomas se presentan bien desarrollados, sus tallos son lignificados y muy fuertes, las hojas presentan un pseudopécíolo, el antecio presenta tres lodículas y los periodos de floración varían entre las especies pero pueden durar muchos años a diferencia de las demás gramíneas cuyas floraciones son generalmente anuales. Los bambúes presentan dos tipos de florecimiento: la esporádica donde sólo una o varias plantas florecen y la gregaria cuando simultáneamente florecen todos los individuos.

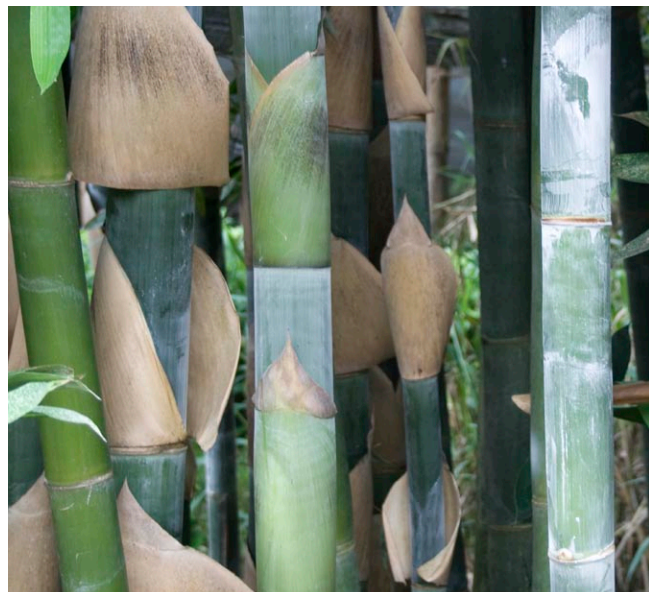
Existen más de 91 géneros y 1,300 especies en todo el mundo, se encuentran entre los 46° latitud norte y los 47° latitud sur, desde el nivel del mar hasta los 4,000 metros de altura en los Andes ecuatoriales. Desde pequeñas plantas hasta gigantes tallos que llegan a sobrepasar los 40 m de altura y los 20 cm de ancho, crecen en diversos climas y condiciones, desde zonas montañosas altas con temperaturas muy bajas hasta en climas muy cálidos y desérticos. Es la planta leñosa perennifolia que más rápido crece en el planeta, algunas especies lo hacen tan rápido que se dice que su crecimiento es perceptible a simple vista, se ha registrado crecimientos de hasta 121 cm en 24 horas.

## EL BAMBÚ

Se puede encontrar en casi todos los continentes, en Asia, América y África principalmente. En América se reportan 21 géneros y 345 especies localizadas desde el sur de Estados Unidos hasta la Patagonia chilena.

Sus aplicaciones son innumerables en las industrias de la construcción, textil, ornamental, alimentaria, entre otras. Los productos hechos a base de bambú han cobrado importancia rápidamente en los últimos años. Es un recurso fácilmente renovable y su cultivo tiene beneficios para el medio ambiente. A diferencia de las maderas comúnmente empleadas en la construcción cuyos ciclos productivos se prolongan por arriba de quince años, para su comercialización se requiere de una maduración de entre tres y ocho años variando entre especies y el uso al que serán destinadas. Los bosques de bambúes producen cinco veces más materia vegetal que los bosques comunes de coníferas. En resumen, el bambú es una planta con un gran potencial y su industrialización aporta grandes beneficios.

Principalmente en Sudamérica y Asia meridional se ha experimentado la construcción de estructuras ligeras librando grandes claros logrados gracias a las cualidades mecánicas de la *Guadua Angustifolia*. Se estima que mil millones de personas viven en casas construidas con bambú. Las construcciones tradicionales con bambú pueden encontrarse en China, India, Japón, Colombia, Perú, Brasil, Centroamérica y México, entre otros, sus orígenes se remontan a épocas remotas.





Los bambúes pueden clasificarse en dos tipos: los que crecen en matas muy densas “paquimorfos” (imagen arriba) y aquellos cuyos rizomas corren horizontales y subterráneos “leptomorfos” (imagen enmedio) esparcidos uniformemente en el terreno. La selección de los tallos es indispensable, solo se debe cosechar las cañas maduras, las jóvenes deben dejarse en su sitio para proveer a la planta de alimento, es importante no cortar muchas cañas pues esto puede dañar a la planta. En promedio los bambúes llegan a su madurez cultivable a partir de los 3 años de vida, sin embargo, puede dejarse más tiempo a que su caña crezca más alto y más robusta.

Para su propagación, es común hacer uso del material vegetativo puesto que las semillas son difíciles de conseguir por lo que se acude al rizoma o a las secciones de cañas. Es común generar abonos en las plantaciones, en el caso de Huatusco, se cultivan lombrices *Eisenia Foetida* conocida como roja californiana a las que se alimenta con cáscara de café produciendo un abono que nutre la tierra de los bosques de bambúes (imagen abajo).

La cosecha debe realizarse en temporada de sequía, preferentemente a finales de ésta pues las cañas tienen menos humedad, reduciendo la probabilidad de enmohecimiento y putrefacción, esto favorece también al transporte ya que el peso se reduce. En temporada de lluvias, los tallos presentan el mayor crecimiento. Algunas culturas aseguran que las cañas sufren menos el ataque de insectos si estas se cortan después de luna llena, aunque esto no está comprobado, en ocasiones el conocimiento empírico es muy acertado. El ataque de carcoma no está relacionado con la humedad, se asocia principalmente a la concentración de almidón en las cañas.

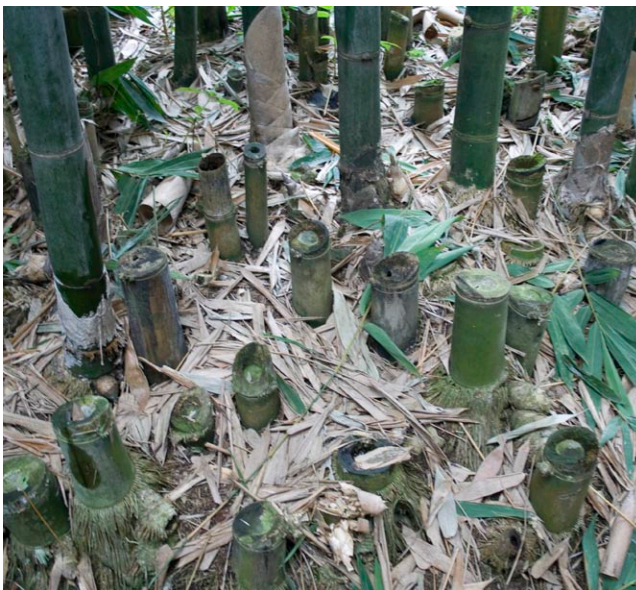


Es recomendable que en las plantaciones se coseche en grupos de dos personas, una cortando y la otra sosteniendo el tallo, esto para evitar fisuras al caer la caña. Las herramientas más comunes en la tala son sierras, hachas y machetes, en plantaciones mayores se recomienda el uso de una sierra eléctrica. Los tallos se cortan en piezas de entre tres metros y seis metros, dependiendo el uso destinado y se van bajando gradualmente.

Los bambúes de tipo paquimorfos se presentan en matas, los tallos más maduros se encuentran al centro por lo que se debe hacer una entrada hacia este cortando tallos jóvenes pero evitando extenderse por el exterior (imagen abajo). Deben cortarse entre veinte y treinta centímetros arriba del nivel del terreno para no dañar las raíces, justo arriba de un nudo para evitar almacenamiento de agua y la subsecuente pudrición.

En el caso de las especies leptomorfos, deben cortarse igualmente, justo arriba de un nudo y a nivel del terreno ya que las raíces se protegen bajo tierra.

Algunas dificultades en la cosecha son los accesos, la mano de obra usualmente no contempla la siguiente cosecha, devastando zonas cercanas a los puntos de acopio y desatendiendo áreas más alejadas. Es importante cosechar de manera ordenada, en cantidades moderadas y uniformemente en toda la plantación. Se debe considerar que las paredes de las cañas frescas son vulnerables.



La metodología de transporte es usualmente manual, alrededor de diez piezas de bambú de entre cuatro y seis metros de largo se acarrean en hombros o sobre la cabeza hasta los caminos donde se ubican carretas o camiones o en su caso, trenes o balsas.

## COSECHA



Se debe tomar en cuenta que las pilas de cañas cosechadas representan un peso muy ligero respecto a su volumen. Por lo tanto, es preferible usar el bambú local para evitar el transporte en largas distancias, lo más económico es obtener el bambú de plantaciones locales y con fáciles accesos.



El almacenamiento requiere de cuidados particulares. El suelo debe estar limpio y libre de cualquier tipo de termitas. El bambú debe almacenarse bajo techo para protegerlo de la lluvia y separado del piso por lo menos veinte o treinta centímetros. Tener una buena ventilación y hacer visitas periódicas es recomendable. En posición vertical, las cañas frescas tardan cuatro semanas en secar y ocho semanas en posición horizontal.



En resumen, la cosecha del bambú debe considerar ciertas premisas, es importante la selección de los tallos, la temporada de cosecha, la metodología y logística para abordar las plantaciones, tener presente las dificultades que el transporte puede presentar así como el almacenamiento en las bodegas.

## TRATAMIENTO



Los métodos de preservación del bambú para su inmunización ante el ataque de insectos como el comején, carcoma y otros xilófagos, la humedad o la intemperie, son muchos. En nuestro caso se utilizó el método de boucherie, que se realiza por medio de la inyección de un conservador a través de mangueras a una presión de 0.20 psi el mismo día de la cosecha y una vez terminado el tratamiento se deja secar en vertical para que termine de drenar la savia vegetal logrando que la caña quede deshidratada y se impregne la solución salina. Asimismo se realizó un lavado para eliminar residuos de las paredes.



La solución salina que se inyectó para la preservación del bambú se denomina Pentaborato cuyos componentes son los siguientes:

- 100 litros de agua
- 2 kg de ácido bórico - 2%
- 2 kg de bórax - 2%
- 500 g sulfato de cobre - 0.5%

**E**n México existen treinta y seis especies nativas de bambú y con el tiempo se han incorporado nuevas especies. Su cultivo se encuentra principalmente en la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre del Sur y en la Península de Yucatán. Actualmente se cuenta con un registro muy afortunado de las especies nativas que existen en nuestro país.

Géneros y especies de bambúes nativos de México

*Aulonemia*

*A. clarkiae* Davidse & R.Pohl

*A. Fulgor* Soderstrom

*A. Laxa* (Maekawa) McClure

*Arthrostylidium*

*A. Excelsum* Griseb

*Guadua*

*G. aculeata*

*G. amplexifolia* J.S. Presl

*G. longifolia* (forum) R. Pohl

*G. paniculada* Munro

*G. velutina* Londoño & L. Clark

*Chusquea*

*C.aperta* L. Clark

*C.bilimeki* Fournier

*C.circinata* Soderstrom & C.Calderón

*C. foliosa* L. Clark

*C.galeottiana* Ruprecht ex Munro

*C.glauca* L. Clark

*C.lanceolata* A. Hitchcock

*C.liebmanni* Fournier

*C.longifolia* Swallen

*C.muelleri* Munro

*C.nelsonii* Scribner & J.G.Smith

*C.repens* L.Clark & Londoño

*C.repens* L.Clark & Londoño

*C. repens* ssp. *Repens*

*C.repens* ssp. *Oaxacacensis* L.Clark &Londoño

*C.perotensis* L.Clark, Cortés & Cházaro

*C.pittieri* Hackel

*C.simpliciflora* Munro

*C.sulcata* Swallen

*Merostachys*

*M.sp.*



## EL BAMBÚ EN MÉXICO

### Olmeca

*O.acuminata* (munro) C.Calderón & Soderstrom

*O.acuminata* ssp.*acuminata*

*O.acuminata* ssp. *Aztecorum* R.Guzmán, Anaya & Santana

*O.fimbriata* Soderstrom

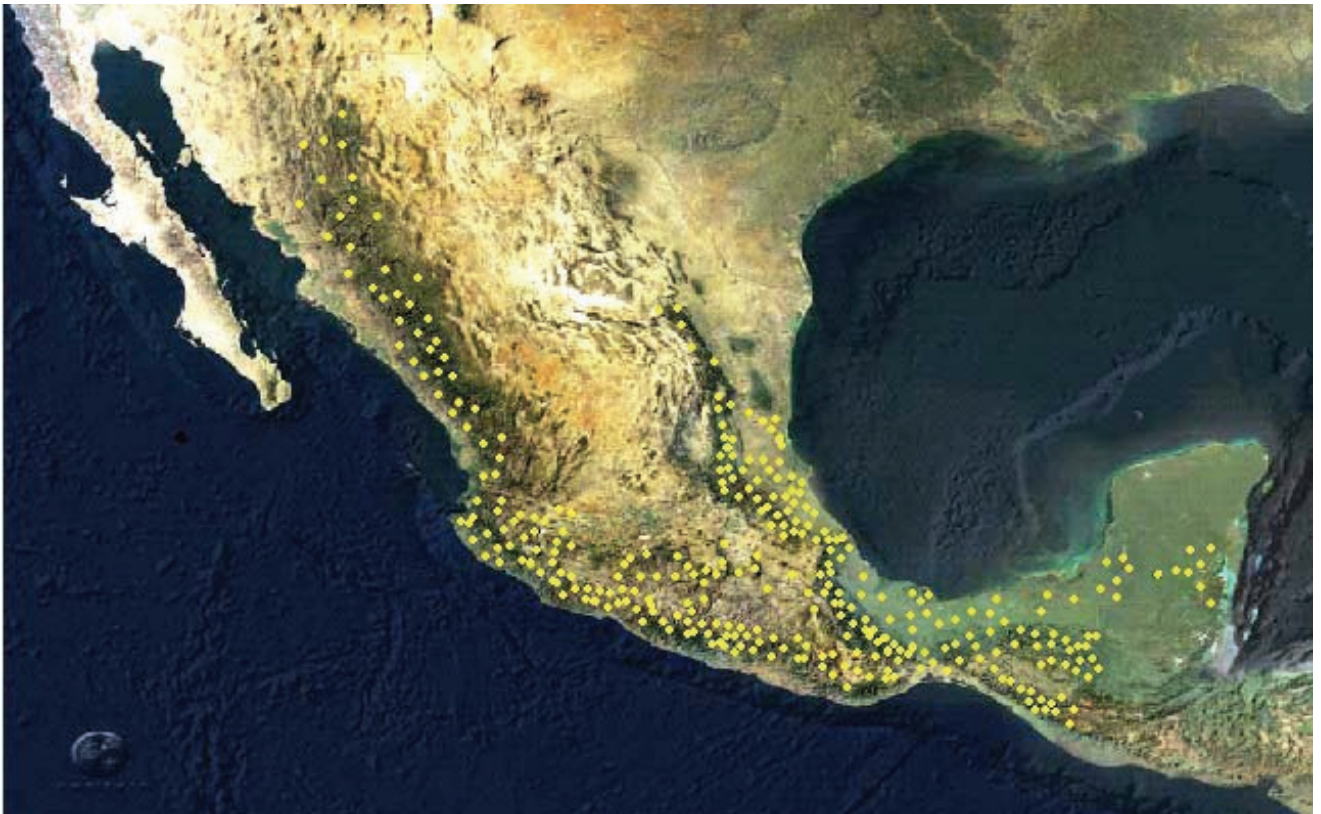
### Rhipidocladum

*R.bartletti* (McClure) McClure

*R.martinezii* Davidse & R. Pohl

*R.pitieri* (Hackel) McClure

*R.racemiflorum* (Steudel) McClure



Es notable que la presencia de cinco especies del género *Guadua*, conocidas en Oaxaca como jimbas, cuyas dimensiones son favorables para la construcción. Se caracterizan por tener los nudos más cercanos, espinas en los nudos de tallos y ramas así como un cambio perceptible de color cercano a estos.

El género *Chusquea* es el más diverso del mundo, en México hay 17 especies presentes principalmente en Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Jalisco.

Hay cuatro especies del género *Rhipidocladum* que se distribuyen desde Tamaulipas hasta la frontera con Guatemala.

La *O.acuminata* es la especie más utilizada por las poblaciones rurales de México, con sus tallos se construye el “bajareque”, mezcla de tallos de esta especie con lodo y zacate que sirve como material para las paredes de viviendas tradicionales, principalmente en los estados de Jalisco y Veracruz.

Para esta sección, es importante identificar las partes de una caña de bambú. En primer lugar, debemos considerar que usualmente, las especies de bambúes son huecas por lo que definiremos este hueco como la cavidad. Se habla de la pared como la materia sólida de la caña. Las cavidades están divididas entre sí por diafragmas que pueden identificarse por el exterior de la caña como nudos de donde surgen las ramas. La sección de la caña entre dos nudos es un entrenudo.

Las cañas de bambú son cónicas, disminuyendo su diámetro desde la base hacia la parte más alta por lo que es preciso distinguir entre la altura total de una caña, que se puede entender como la altura total de la planta, y la longitud utilizable, que en ocasiones son secciones de la caña donde el diámetro de la base y el de la punta no varían sustancialmente. Esto puede variar dependiendo el uso al que se destina el material. El espesor de la pared en los puntos de corte es también un factor importante así como la distancia entre nudos.

Para efectos que atañen a la construcción y al cálculo estructural, es importante identificar la rectitud de la caña, las propiedades mecánicas, la durabilidad natural y la preservación y la longitud utilizable.





El bambú presenta grandes ventajas estructurales ante otros materiales, su composición física presenta un crecimiento vegetal recto a lo largo de los tallos en la parte de los entrenudos y en espiral en el nudo y diafragma por lo que las tensiones se encuentran distribuidas uniformemente a lo largo de su longitud, la superficie externa es dura y limpia. El hecho de ser hueco lo hace relativamente fuerte y rígido por lo que puede ser cortado y dividido con herramientas y tecnologías simples y pegado fácilmente con colas. Las estructuras construidas con este material se comportan muy bien ante terremotos, tormentas y vientos fuertes.

El bambú puede cultivarse entre pequeñas comunidades o incluso a la escala de una familia teniendo un regreso de capital muy rápido.

Por su parte el bambú presenta dificultades constructivas. Se puede entender como un tubo ovalado y cuyas paredes varían en espesores por lo que las uniones

resultan difíciles de estandarizar, la forma conoidal y la distancia variante entre nudos puede resultar una molestia en la construcción. La pared exterior no contiene corteza, esto sumado a un alto contenido de sílice, entorpecen las orillas de las herramientas y disminuye la capacidad de adhesión del material.

Su durabilidad natural es incierta por lo que requiere conservación, que en muchos casos comprende métodos complejos, el contacto con el suelo lo debilita o contamina aunque en suelos secos puede durar más tiempo, evitando siempre las termitas. Su vulnerabilidad al fuego es evidente.

La estandarización de las cañas en bruto es prácticamente imposible, por su carácter irregular y la variación de dimensiones. Solamente en las uniones se puede pretender una estandarización exitosa. Actualmente los procesos industrializados se han concentrado en laminados y contrachapados cuyas aplicaciones para diseño industrial son infinitas así como vigas con secciones rectangulares compuestas de fibras de bambú prensadas a altas presiones que pretenden solucionar el problema de las uniones y eventualmente sustituir a las maderas duras.

En México el bambú es un recurso abundante. Aunado a esto, se han importado otras especies para su cultivo e industrialización como las guaduas colombianas o bambúes asiáticas, algunas de estas son más robustas y resistentes que las especies nativas y sus cualidades físico mecánicas son más aptas para trabajos estructurales.

Las construcciones tradicionales con bambú pueden encontrarse principalmente en Asia meridional, Japón y Sudamérica y sus orígenes se remontan a épocas remotas.

Actualmente desde China hasta Perú y Brasil se construyen a partir de diversas especies de bambúes escuelas, hospitales, invernaderos, viviendas emergentes, puentes peatonales y de vehículos ligeros, centros comunitarios entre otros.



La construcción de andamios que envuelven torres de cientos de metros de altura, templos en restauración y otras edificaciones representa en Asia uno de los usos más difundidos del bambú. En Estados Unidos y Australia hay un importante interés por la promoción del material en la construcción de vivienda.



Existen ejemplos de construcciones de bambú en Japón donde se aprecian estructuras más pequeñas que las anteriores sin embargo, su uso es muy vasto en elementos constructivos como ventanazas, celosías, duelas, así como en la fabricación de mobiliario.

## CONSTRUCCIONES DE BAMBÚ EN EL MUNDO



El proyecto de una escuela en Bangladesh construida por los propios maestros y alumnos a partir de una estructura de bambú y muros de barro es un ejemplo admirable de arquitectura contemporánea. Obra de Anna Heringer y Eike Roswag.



Por su abundancia la guadua ha sido un material imprescindible en Colombia, el conocimiento del material y la experiencia de su uso en la construcción son dignos de estudio, ejemplo de esto son los edificios de Simón Vélez, Jorg Stamm, Rafael Rojas, Jorge Arcila, Marcelo Villegas, entre otros.



El bar WNW del despacho Vo. Trang Nghia en Vietnam es otro ejemplo de un riquísimo proyecto contemporáneo construido con bambú, su estructura habla de una geometría que le permite funcionar por su propia forma.

## CONSTRUCCIONES DE BAMBÚ EN EL MUNDO



Residente en Hawaii, David Sands, al frente de su empresa Bamboo Techonologies, coordina la construcción de casas de bambú en Vietnam para ser embarcadas y ensambladas en cualquier parte del mundo.



En Bali, Indonesia Jörg Stamm diseñó y construyó el pabellón principal (imagen enmedio) y el puente (imagen abajo) de la escuela *Greenschool*, ambas estructuras son ejemplo de grandes claros logrados gracias a las propiedades mecánicas del bambú.



En México el uso del bambú para la edificación comienza a tener impacto en el quehacer de los constructores, arquitectos e ingenieros.

Ejemplo de esto es el auditorio del Parque Ecológico Jaguarundi en Veracruz cuya techumbre son cuatro paraboloides hiperbólicos construidos con bambú y apoyados sobre cuatro columnas de concreto. Proyecto del colectivo Puerto en colaboración con Fundeguadua.



El despacho Ojtat a cargo del arquitecto Ricardo Leyva ha logrado interesantes propuestas en Puebla apostando a la arquitectura sostenible y a tecnologías ecológicas.



Por su parte la empresa veracruzana Bambuver A.C. promueve su cultivo, capacita a los constructores, ha proyectado y construido cubiertas y viviendas de bambú, ha convocado a simposios internacionales y está en la búsqueda de nuevas tecnologías para la construcción.

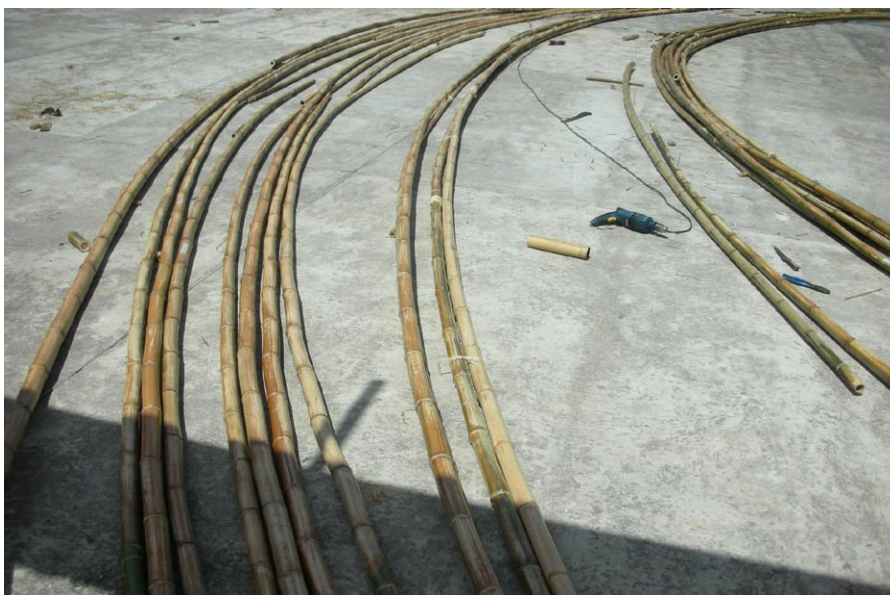


En Huatulco Carlos Herrera y Jorge Herrera junto con Simón Vélez construyeron la “Paloca” unión de las palabras palapa (mexicana) y maloca (amazónica).

“Al sur de México, en los estados de Tabasco y Chiapas, el empresario Alfonso Romo, sembró más de 1000 hectáreas de Guadua Angustifolia., llevando las plántulas de guadua y al agrónomo especialista en su reproducción, Homilson Cruz, desde Colombia. El cultivo individual más grande de Colombia no sobrepasa las 100 hectárea. Esto da la dimensión del potencial mexicano con este recurso. Esto da la dimensión del potencial mexicano con este recurso. Esta es, también, la primera estructura en este país, construida con guadua importada de Colombia.” Villegas Marcelo.

En el diseño industrial es pertinente mencionar la tesis sobre bicicletas de bambú construidas por el D.I. Diego Cárdenas del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial de la UNAM.





La elección de la especie de bambú que se emplearía para construir los arcos del pabellón se determinó por las propiedades de maleabilidad que facilitan el curvado del mismo mediante la aplicación de calor con soplete. La sugerencia fue propuesta por la empresa veracruzana Bambuver A.C. dedicada al cultivo de diversas especies de bambúes y a la construcción con las mismas. El anteproyecto se envió a la empresa para su consideración e inmediatamente se propuso el bambú *Phyllostachys Bambusoides* conocido en Japón y ahora también mundialmente como *Madake*.

El género *Phyllostachys* comprende bambúes de climas templados pero la mayoría son resistentes a las heladas, crecen también en climas semitropicales por lo que es cultivable en muchos sitios alrededor del mundo. La mayoría de las especies requieren mucho sol, por tener un rizoma leptomorfo, se propaga de manera muy agresiva.



PHYLLOSTACHYS BAMBUSOIDES  
TAXONOMÍA Y DESCRIPCIÓN

Siebold, Phillipp Franz (Balthasar) von  
(1796-1866)

Publicación: Abh. Akad. Muench. iii. II.  
745., t. 5. f. 3. 1843

Año: 1843

Área de interés: Spermatophytes

Reino: Plantae

División: Angiospermae

Clase: Monocotyledoneae

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Gramineae o Poaceae

Género: Bambuseae

Subgénero: Shibataeinae

Especie: Phyllostachys Bambusoides

Grupo: Leptomorfo o Monopodial

Nombre científico: Phyllostachys  
Bambusoides

Nombre vulgar: Madake

Nombre japonés: Madake

Nombre en México: Bambú Madake

Nombre inglés: Japanese timber bamboo

Altura máxima: 23 m

Diámetro máximo: 15 cm

Temperatura mínima de cultivo: -15°C

Exposición a la luz solar: máxima  
exposición

Sistema de Rizoma: Leptomorfo

Phyllostachys viene de phyllon, que significa hoja y stachys, de punta o pico. Las cañas tienen la tendencia a hacer zigzag de nodo a nodo y se distinguen por una pronunciada hendidura arriba de cada nodo soporte de una rama. Por esta característica, es uno de las especies de bambúes más fáciles de identificar. Las ramas abren de arriba hacia abajo, generalmente en pares casi iguales en cada nodo, con una tercera rama entre las dos. En general, la vaina cae rápidamente.

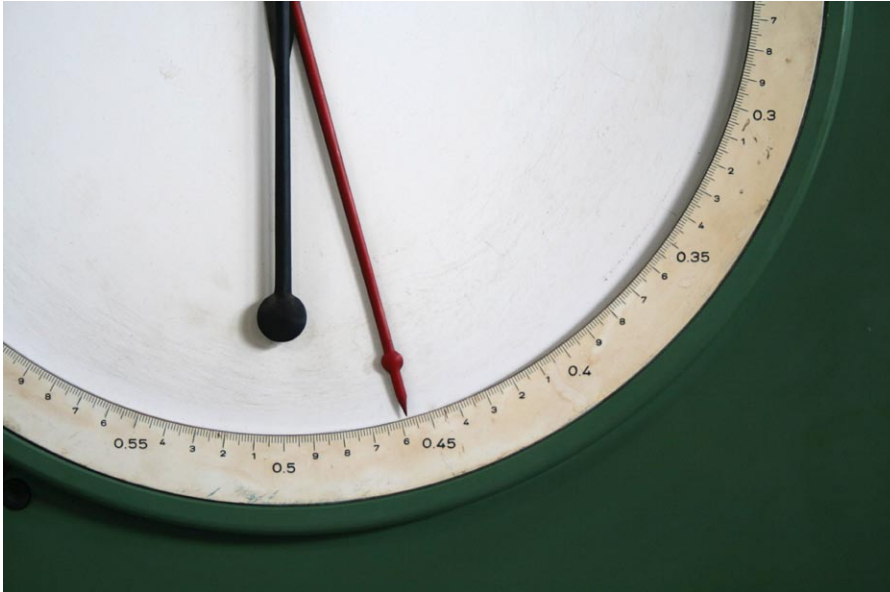
El género incluye muchas especies con excelentes propiedades técnicas y muy resistentes de importancia para la economía humana. En China, este género es la fuente principal de pulpa para papel, una fuente mayoritaria para la construcción y las artesanías y una fuente importante de brotes comestibles.

## LA ESPECIE

*Phyllostachys Bambusoides* es la especie de bambú más cultivada en Japón y es un símbolo cultural de este país, también se cultiva en China, el sur de Estados Unidos, Australia y México, entre otros países, para fines industriales y ornamentales. Su caña crece recta y ancha, con una pared robusta, en estado virgen tiene un aspecto verde brillante. Este bambú crece en ciclos anuales, las cañas nuevas emergen en la primavera tardía a una velocidad que alcanza los 100 cm por día. La vida promedio es de 20 años, más del doble que la mayoría de las demás especies pertenecientes al género de los *Phyllostachys*. Estas características le han dado un gran prestigio en el campo de la construcción. Los brotes son comestibles, aunque tiene un sabor amargo si se consume crudo por lo que usualmente se hierve. Esta especie tiene la característica de presentar un intervalo de floración cercano a los 120 años, por lo que permanece durante 119 años en estado vegetativo, es el periodo de florecimiento más largo de todas las especies de bambúes. En 1970 tuvo lugar una floración masiva principalmente en Estados Unidos. Muchos carrizales bien establecidos murieron como consecuencia de esta floración. Este evento ha dejado perplejos a los botánicos y aún no se establece una teoría definitiva de la causa. En México tuvo floración en 1999.

La especie *Phyllostachys Bambusoides* es invasiva y tiene el potencial de propagarse con rapidez si no se controla. Con el tiempo, las cañas crecen altas y gruesas, en su género es la de mayor longevidad. Su cultivo favorece la conservación y crecimiento de la flora, la contención de laderas y por ende la prevención de inundaciones. La manera más segura y controlada aunque muy demandante de conocer la edad de las cañas, es marcándolas cada año con un color asignado a ese año, a una misma altura desde el suelo, 1.50 m por ejemplo, preferentemente después de que los nuevos brotes se han desarrollado. El bambú *Phyllostachys Bambusoides* es ideal para la industria de la construcción, su caña es muy espesa en sus paredes, particularmente recta y muy resistente, en Asia, los andamios hechos de bambú son, en ocasiones, capaces de permanecer ante las ráfagas de viento de los tifones que suelen vencer los andamios de acero. Con sus tallos se construyen muebles, instrumentos, herramientas, soportes para otras plantas, etc.





Una vez determinada la especie que se usaría para la estructura del pabellón, se solicitó a la empresa que participaría en la construcción que enviase muestras del material previamente sometidas a un tratamiento de preservación para el análisis de sus propiedades mecánicas programado en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM para el 2 de julio de 2009.

Las muestras incluyeron cañas rectas de 60 mm de diámetro exterior, 50 mm de diámetro interior y 240 cm de largo así como un arco seccionado en partes de dimensiones semejantes, todos de la especie *Phyllostachys Bambusoides*. Asimismo, se recibieron muestras de *Guadua Angustifolia* para eventuales pruebas.

## PRUEBAS MECÁNICAS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES



La inspección mecánica y de resistencia obtenida por medio de ensayos de laboratorio aplicados a tres muestras de bambú con el objeto de obtener promedios, requirió de los siguientes datos cuyos resultados se expresan a continuación.

Esfuerzo de Tensión:  
475.33 kg/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo de Compresión:  
567.00 kg/cm<sup>2</sup>



Esfuerzo de Cortante:  
200 kg/cm<sup>2</sup>

Módulo de Elasticidad:  
80,000

Módulo de Poisson: 0.4

Módulo de Densidad:  
0.62 g/cm<sup>3</sup>

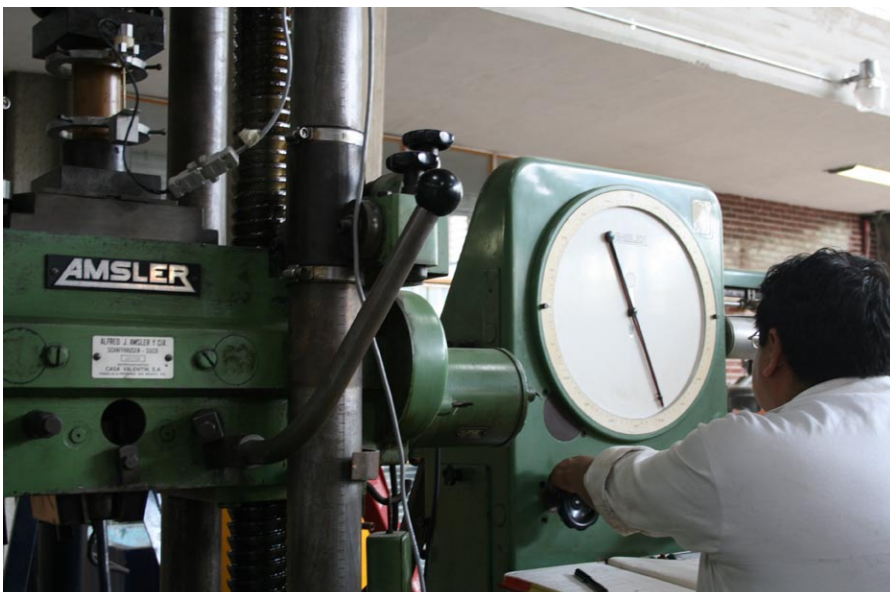


## PRUEBAS MECÁNICAS EN EL LABORATORIO DE MATERIALES



El laboratorio cuenta con una maquina universal para el estudio de propiedades mecánicas de los materiales.

Máquina universal  
AMSLER  
Alfred J. Amsler y CIA.  
Schaffhausen Suiza  
imp. Casa Valentin SA.



Los esfuerzos aplicados por esta máquina a los materiales son registradas de manera digital por un sensor LVDT (Transductor de Variación Lineal de Voltage) por sus siglas en inglés y enviados al programa OSOPAC. Este programa es un sistema operativo de adquisición y procesamiento de datos.

En principio, el pabellón debía cumplir con un carácter totalmente efímero de tal suerte que, una vez retirado del sitio, éste no dejase ningún cambio perceptible en la imagen del Campus Central de Ciudad Universitaria, declarado patrimonio cultural de la humanidad por la UNESCO el pasado julio de 2007. La cual dice lo siguiente:

“El Campus Central de Ciudad Universitaria guarda testimonio de la modernización del México post-revolucionario en el marco de ideales universales y valores relacionados con el acceso a la educación, el mejoramiento de la calidad de vida, la educación intelectual y física integral y la integración entre urbanismo, arquitectura y las bellas artes. Es un trabajo colectivo donde más de sesenta arquitectos, ingenieros y artistas trabajaron juntos para crear los espacios y las facilidades aptas para contribuir en el progreso de la humanidad a través de la educación. El urbanismo y la arquitectura del Campus Central de la UNAM constituye un ejemplo sobresaliente de la aplicación de los principios del modernismo del siglo XX combinados con características que provienen de tradiciones prehispánicas mexicanas. El conjunto se ha convertido en uno de los iconos más significativos de urbanismo y arquitectura moderna en Latinoamérica, reconocido a nivel internacional”.

Decisión - 31COM 8B.52 - Nominación de propiedades naturales, mixtas y culturales a la lista de patrimonio de la humanidad - Campus Central de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

La construcción de cualquier edificación dentro de Ciudad Universitaria es producto de un profundo análisis por parte del Subcomité de Preservación, Mantenimiento y Desarrollo del Patrimonio Inmobiliario del Campus Central de Ciudad Universitaria, órgano regulador de las obras, restauraciones e intervenciones que en este se desarrollan y representante de la Universidad ante la UNESCO. En el caso del pabellón, hubo que realizar ante dicho órgano una presentación corroborando que éste sería temporal, reversible y reutilizable.

La propia estructura de bambú pudo haber tenido como apoyo únicamente las bases de acero y descansar libremente sobre el terreno ya que el peso propio no excede las siete toneladas por lo que cada base estaría soportando menos de dos toneladas por carga muerta sin embargo, el hecho de que una membrana plástica, de la que más adelante se describen las características, cubriese todo el cascarón y cuyas reacciones al viento podrían representar cargas importantes por succión, llevó a la necesidad de planear anclajes en cada base.

## SISTEMA DE ANCLAJE



Gracias al apoyo brindado por el doctor Enrique Santoyo Villa que con su enorme experiencia en el estudio de mecánica de suelos, geotecnia y restitución de suelos para cimentaciones, entre otros y con su generosa aportación al proyecto del pabellón con la donación de los anclajes de cimentación a la Universidad, se logró hacer en cada esquina del pabellón, en una ubicación previamente determinada, la perforación del terreno con un rotomartillo de cuatro pulgadas de diámetro a diez metros de profundidad para dar lugar a una varilla de  $1\frac{1}{4}$ " pulgada de diámetro colocada al centro de cada perforación, la cual sería colada posteriormente con concreto de  $f'c$  200  $kg/cm^2$  inyectado a una presión de 3 - 4 psi. en los cinco metros más cercanos al fondo, a manera de bulbo, y en los siguientes cinco metros con concreto de  $f'c$  200  $kg/cm^2$  colado naturalmente. Esto permite que los cinco metros superiores (la mitad superior del anclaje) pueda tener elongaciones por tracción pero que los primeros cinco metros (la mitad inferior) presenten mayor resistencia a la deformación. Las puntas superiores de las varillas se mandaron tornar, previamente a su colocación, para que tuviesen un cabezal con cuerda al que se atornillarían las tuercas de presión para fijar los apoyos metálicos. Estos cabezales quedaron casi al ras del terreno por lo que se fabricaron ex profeso cuatro coples a manera de extensión a partir de una tuerca y un redondo con cuerda soldados entre sí.

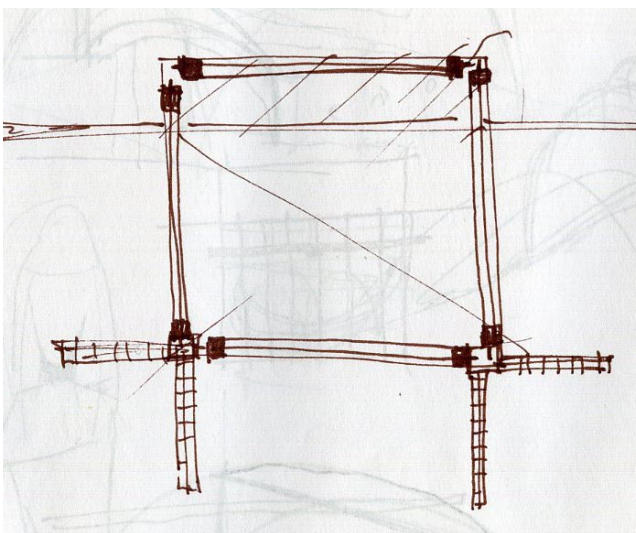
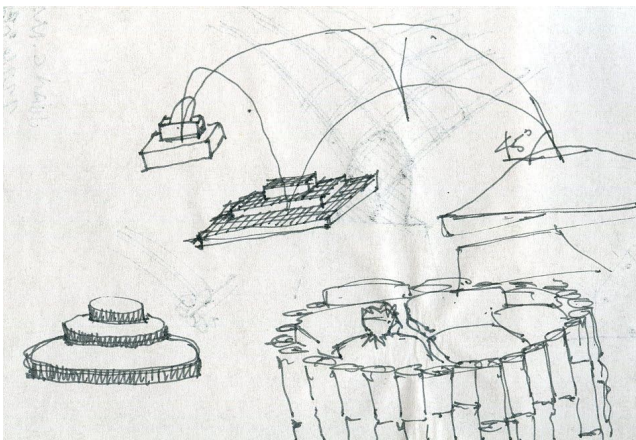
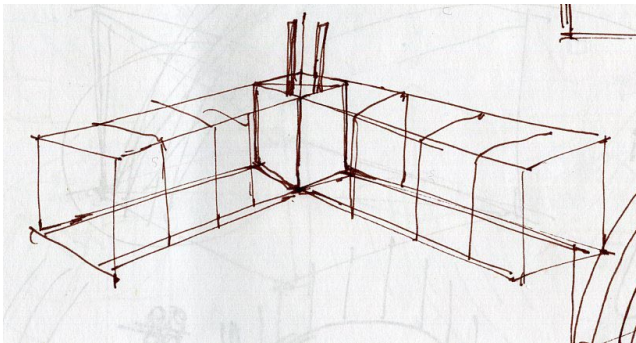
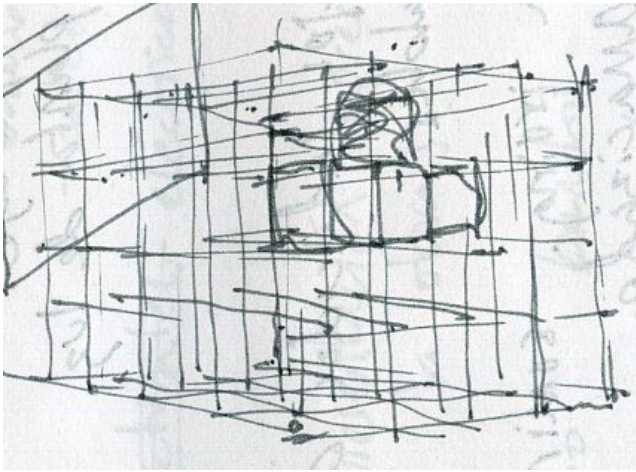






El sistema de anclaje antes descrito tuvo como principal función contrarrestar los esfuerzos generados por la succión del viento. Para efectos de una eventual granizada, se tomaron parámetros de carga accidental para granizo acumulado por metro cuadrado donde, para las techumbres con pendientes menores a  $15^\circ$  se debe agregar  $100 \text{ kg/m}^2$  como carga accidental, las techumbres con pendientes entre  $15^\circ$  y  $30^\circ$ ,  $75 \text{ kg/m}^2$  y entre  $30^\circ$  y  $45^\circ$  de pendiente,  $50 \text{ kg/m}^2$ . Esto dio como resultado la zonificación de la cubierta en tres secciones y el aumento del peso propio por carga muerta de cerca de siete toneladas, a un peso por carga accidental de cerca de 30 toneladas. Esto se vería reflejado en cargas verticales en cada esquina de cerca de ocho toneladas, pero al ser tangentes a la curvatura del cascarón, esto es, con una inclinación de  $30^\circ$ , se aumentan a dieciséis toneladas en esa dirección. Para evitar esfuerzos de coceo entre los apoyos metálicos y el suelo, fue necesario construir cuatro dados de concreto de  $120 \text{ cm} \times 120 \text{ cm}$  de base x  $90 \text{ cm}$  de profundidad en el caso de las bases del terreno "A" y de  $140 \text{ cm}$  de profundidad para las bases del terreno "B". El concreto utilizado fue de  $f'c 180 \text{ kg/cm}^2$  colado "in situ" sobre parrillas con varillas de  $\frac{1}{2}$ " pulgada @  $20$  centímetros.

Para aseverar el carácter reversible del pabellón una vez que este se retire, se tomaron dos determinantes, el dado de concreto para la base suroeste quedaría integrado a los pasillos existentes



Los apoyos sobre los que descansaría el CRT habían de seguir un proceso de diseño muy complejo. Concebido a partir de una estructura que trabajaría por su propia forma, la unión entre ésta y el suelo debía hablar de unas bases ligeras que se apoyasen libremente sobre el suelo y que obedecieran a una economía en los materiales. Fue así como se diseñaron las bases del pabellón.

En un inicio, se propuso que las bases se apoyasen sobre el suelo superficialmente sin necesidad de construir una cimentación. Para esto se plantearon conceptos entre las que destacaron los siguientes:

H<sub>2</sub>O en botellas de PET: la propuesta consistía en armar cuatro estanterías construidas con marcos de ángulos de acero donde podrían almacenarse botellas o garrafones de PET de un tamaño manejable que al apilarlas, representasen una cimentación importante para la estructura. Esto resultaría muy práctico para efectos del llenado de los recipientes, su transporte y su colocación.

H<sub>2</sub>O en tinas de acero: se consideraba fabricar grandes tinas con lámina de acero cuyo peso podría regularse por la cantidad de agua vertida al interior.

arena en macetones de PVC: haciendo referencia a propuestas recientes de macetas hechas con llantas de caucho o se pensó implementar un sistema semejante pero usando como relleno arena.

arena en tinas de acero: dado que el agua podría corroer en un periodo corto de tiempo las tinas de acero, otra idea planteaba generar el peso con arena.

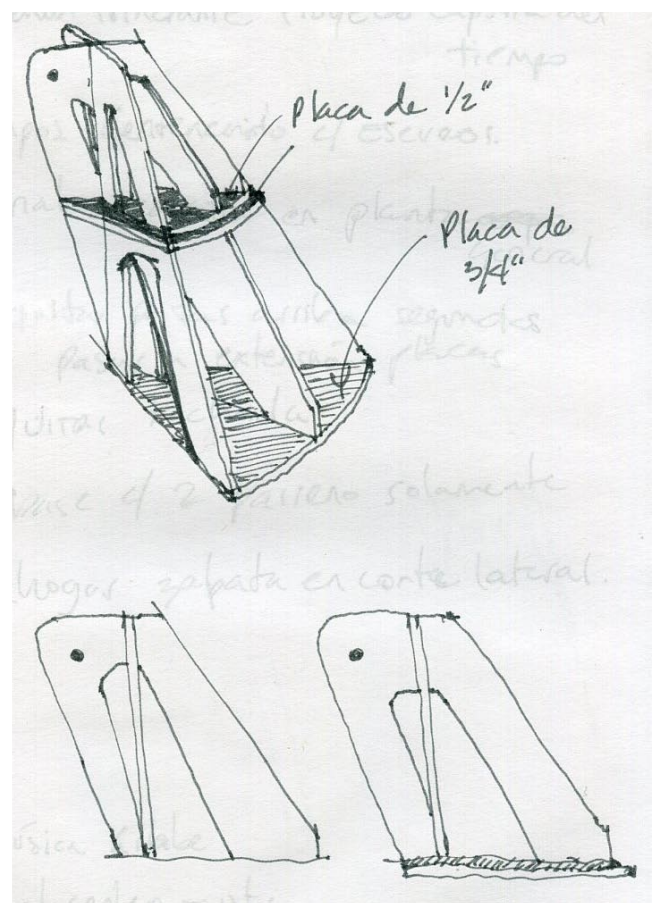
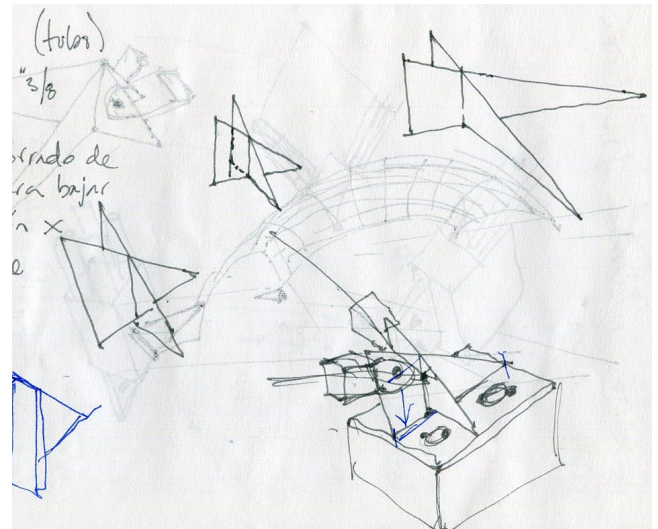
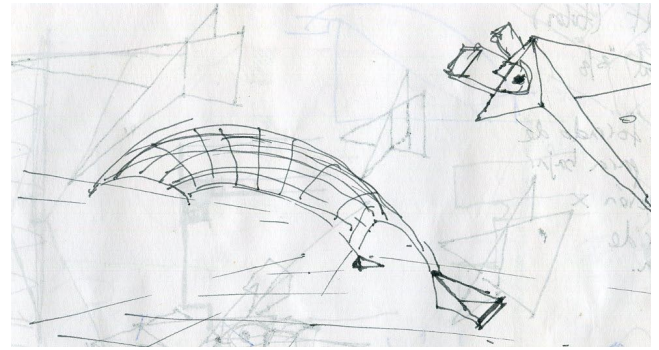
placas de acero apiladas sobre base de acero: esta idea fue interesante ya que proponía el aumento de peso en las bases por medio de placas que se irían apilando una sobre otra de manera horizontal. El transporte y la colocación resultaban una ventaja considerable.

Con los avances del proyecto y observando que la succión por viento era el elemento más importante a considerar, las propuestas anteriores no resultaban viables por lo que se procedió a otra propuesta.

Los apoyos responden directamente a la geometría del CRT. Tres aspectos principales de esta geometría son los que determinaron el diseño de las bases: la primera es que el pabellón estaría apoyado en cuatro bases, una en cada esquina del CRT, la segunda, que cada esquina recibiría dos ejes de arcos de bambúes que tendrían un ángulo de pendiente diferente uno de otro y que en planta trazarian dos ejes perpendiculares entre sí, y por último que la mayor fuerza de coceo ejercida en cada apoyo por el pabellón sería tangente a la curvatura dibujada sobre la sección de cada esquina.

Se definieron entonces cuatro bases que se apoyarían sobre el terreno natural, dos sobre el terreno A y dos sobre el terreno B con un desnivel de 2.16 m.

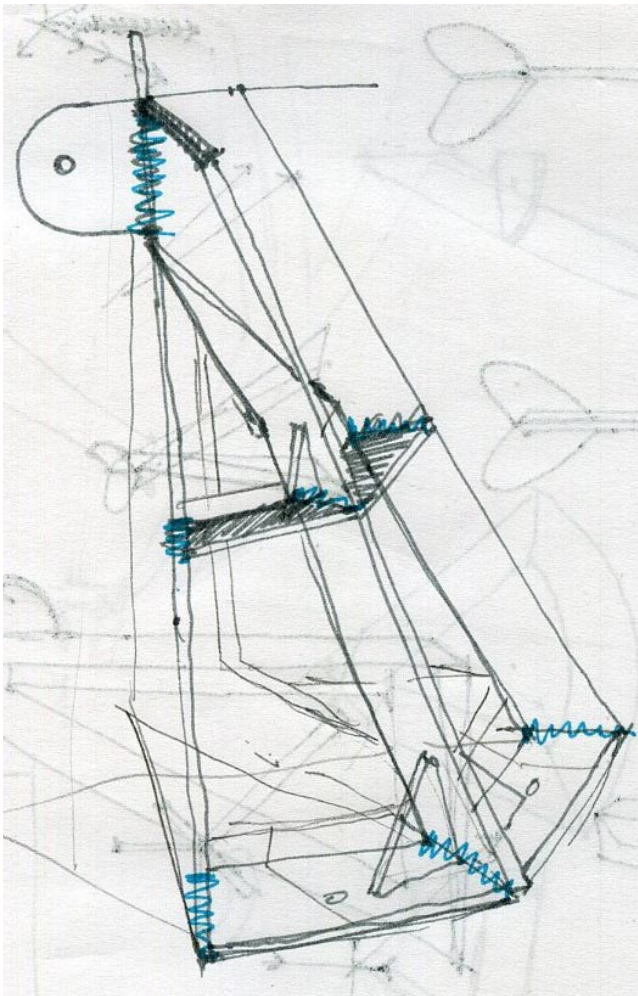
Para facilitar el manejo de una retícula cuadrículada se decidió solucionar los apoyos por medio de placas de  $\frac{1}{2}$ " de acero en vertical a  $90^\circ$  una de otra, estas están traslapadas con el objeto de hacer una cruz en planta de la cual, un cuadrante funciona para las uniones a los arcos y el otro descende al suelo en diagonal para apoyarse sobre una placa horizontal donde descansa la estructura.



## BASES DE ACERO



A estas placas se anexan, para recibir los arcos con pendientes variables, unas rótulas giratorias a un eje horizontal fijo en la placa con el objetivo de tener un ajuste a los ángulos de cada pendiente. A su vez, estas rótulas dan soporte a los esfuerzos de compresión de cada arco mediante placas a las que se soldaron tubos de acero de 3" de diámetro que reciben las puntas de los arcos. Previamente las puntas de los arcos se encamisaron dentro de vasos de acero hechos con tubos de 2 1/2" de diámetro, 15 cm de profundidad y base circular de 1/8" de espesor. La unión física del acero con el bambú se realizó por medio de un acero plástico marca Devcon D-10-100 de secado lento, la presentación de este material es en dos latas; una con una pasta de aspecto oscuro metálico y la otra con un catalizador blanco, al mezclarlos y lograr una sustancia homogénea, se aplica sobre las superficies a pegar. Asimismo la punta de los bambúes se lijó para remover la capa exterior que por su alto contenido de sílice y su textura lisa, tiene un bajo nivel de adhesión. Esta solución evitó el uso de pernos que podrían debilitar la sección del bambú.



Dado que los mayores esfuerzos se encuentra cercanos a la tangente de la curvatura dibujada sobre la sección de cada esquina del CRT, se agregó una tercera placa vertical soldada a 45° sobre las dos placas en cruz, esta pieza está trabajando a un mayor porcentaje puesto que el perfil de su diagonal es prácticamente paralelo a la tangente antes mencionada.

# BASES DE ACERO



## ARCOS DOBLES



En un principio se planteó el uso de hilo cambray o ixtle como elemento de amarre para los nodos y las uniones en las esquinas. De esta manera se proponía duplicar los arcos para que en cada nodo se generase un espacio entre cuatro arcos donde se ubicarían los pernos, libres y sin perforar el material, sin embargo, la necesidad de desarrollar un proyecto que estuviese sustentado por cálculo estructural en todos sus elementos requirió que en todas las uniones se usaran pernos metálicos. Esto no eliminó la decisión de construir cada eje del CRT con dos arcos de bambúes que estarían separados 8 cm a ejes ya que aumentar la sección de trabajo de 10 cm<sup>2</sup> a 20 cm<sup>2</sup> en promedio ayudó a que la estructura trabajase de una mejor manera.

## UNIÓN LONGITUDINAL - BAMBÚ DENDROCALAMUS STRICTUS



Las uniones longitudinales de los arcos se realizaron mediante niples de tramos de bambú *Dendrocalamus Strictus*, originaria de la India y cultivada en Yucatán QuintanaRooyGuerrero, presenta una caña sólida sin oquedades lo que permitió colocar pernos de acero de  $\frac{1}{4}$ ", cuatro en cada unión, dos en cada una de las puntas a unir, colocados alternadamente en "x" con un ángulo de  $120^\circ$  entre si para evitar que quedasen puntas o elementos en el canto superior de los bambúes y que pudiesen desgastar la membrana plástica que más adelante se describe.



Los arcos dobles están separados 8 cm a ejes, y unidos por espárragos de  $\frac{3}{8}$ " de acero galvanizado, dos en cada nodo ubicados diagonalmente en todo el cascarón salvo en los bordes donde se colocaron cuatro espárragos del mismo calibre. Por su parte, los arcos perimetrales se reforzaron con espárragos de alta resistencia "B7" de  $\frac{3}{8}$ " grado 5 con una resistencia de 6 ton/cm<sup>2</sup>.





El CRT trabaja estructuralmente por su propia forma, sin embargo, conservar su geometría depende de los arcos más cercanos a los bordes, si se logra que los bordes se mantengan en su posición sin presentar desplazamientos, entonces la geometría será indeformable. Dicho esto, se estableció la tarea de reforzar los bordes, primero mediante la ubicación de un par de arcos en los primeros tres ejes de borde que corren adicionales, por debajo de los ya existentes, con esto, se obtendrían nodos en los bordes donde convergen ocho arcos de bambúes, se planteó inmovilizar éstos mediante diagonales de cable de acero descritos en el siguiente subtítulo.



Los cascarones reticulados cuyo objetivo no comprende cargas verticales adicionales a su superficie, uniformemente repartidas como lo representaría una losa o viga horizontal, se componen de anticatenarias. Como ya hemos mencionado, las curvas anticatenarias del CRT se encuentran en el plano vertical, considerado esto, los arcos de bordes, perpendiculares entre si también requieren de una rigidez adicional a su propia forma puesto que son los que reciben las cargas de toda la superficie.

Comprendido esto, se planteó fortalecer los primeros dos entre ejes de cada borde mediante la colocación de cables de acero galvanizado de  $\frac{1}{4}$ " de pulgada que corriesen, entre los nodos de estos bordes en "zig-zag" en un sentido y de vuelta para generar unas "X" entre cada espacio de la retícula. Este sistema representó dificultades en obra. En un inicio, se determinó controlar el trabajo de los cables colocando opresores a cada diez entre ejes sin embargo, durante la construcción, al retirar los puntales de

## TENSORES DE BORDES



la estructura, los cables cedieron y el cascarón sufrió una deformación considerable por lo que hubo que volver a apuntalarlo y asegurar que no volviera a perder su geometría. De esta manera, el segundo intento debía ser mucho más cuidadoso por lo que se decidió colocar los opresores en cada vuelta del cable, esto para garantizar que la dimensión de cada

diagonal se controlaría con mucho mayor precisión reduciendo las posibilidades de desplazamientos.

## TENSORES DE SEGURIDAD

Aún con esta última solución, la seguridad estructural del pabellón no se limitó a ello y fue oportuno colocar dos cables que correrían diagonalmente de ida y vuelta entre las bases ubicadas sobre el terreno “B” y el primer tercio del borde sur (borde más vulnerable), más próximo a cada base. Asimismo, se colocaron cuatro cables diagonales, entre los tercios más cercanos a cada esquina con el objetivo de asegurar la perpendicularidad de estas, otros cuatro cables, paralelos a los bordes dentro de los tercios medios de cada borde, estos últimos ocho cables también corridos ida y vuelta. Sumados a lo anterior, cuatro cables sencillos al centro de la estructura corridos entre bordes opuestos a manera de cruz y finalmente dos cables sencillos, entre esquinas opuestas por arriba de la estructura como apoyos. La solicitud de los rollos se estandarizó al uso de cable de 1/4” de pulgada.

## MEMBRANA PLÁSTICA



Determinada la geometría estructural, estaba implícito que el pabellón requería de una piel que protegiera el evento de la lluvia, el granizo, el viento y los rayos del sol, por lo que se consideró colocar una membrana plástica sobre el CRT y fijarla a este en sus bordes. El uso de una estructura de esta naturaleza fue determinante para el cálculo estructural puesto que el CRT no trabajaría solamente bajo esfuerzos de su propio peso sino que junto con la membrana reaccionaría a esfuerzos de compresión por efectos de lluvia, viento y principalmente acumulación de granizo y a su vez a esfuerzos de tracción ejercidos por la succión del viento considerando las normas técnicas complementarias para el diseño por viento del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente en 2010 donde se establecen velocidades regionales por zonificación eólica. En nuestro caso, se consideraron ráfagas de viento de 30 km/hr.

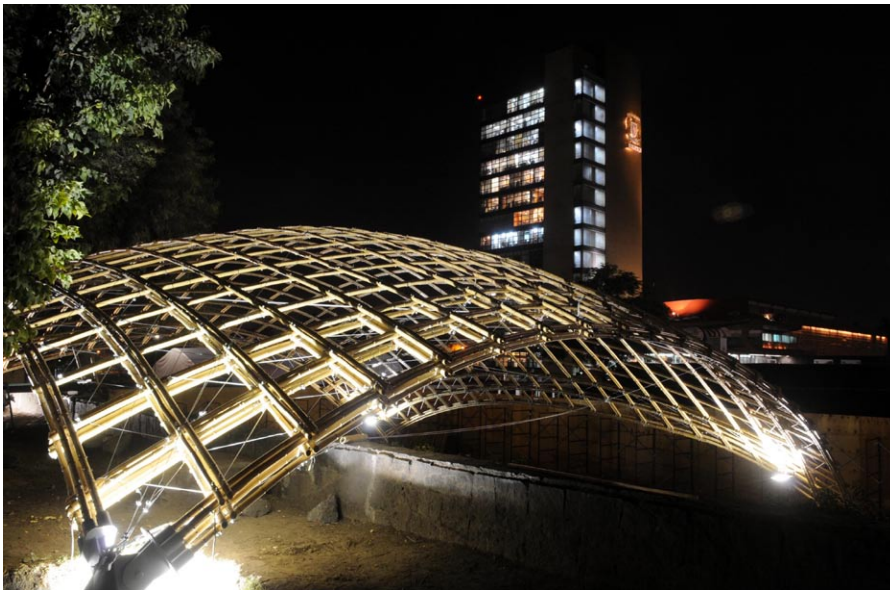
Las membranas plásticas utilizadas generalmente en velarias, tenso estructuras o como cubiertas se componen por una fibra entretejida de poliéster recubierta con PVC por ambas caras. En el mercado nacional existen numerosas opciones en cuanto a membranas plásticas se refiere, para su elección en este proyecto hubo varios factores a considerar. Primero, que los materiales empleados fueran de la mejor calidad posible para efectos de durabilidad, segundo que los presupuestos asignados a cada partida fuesen proporcionales a la cotización global del proyecto, es decir, que el CRT construido con bambú representara la partida de mayor importancia y los demás elementos fuesen complementarios, tercero, que los materiales garantizaran un mínimo de vida de 2 (dos) años y por último que la membrana tuviese los tratamientos básicos para la conservación de un buen estado durante su vida útil. De esta manera, se eligió una membrana plástica nacional Carplex Plus de 17 onzas que cuenta con tratamiento anti hongos, retardante a la flama, protección contra rayos U.V. y una garantía limitada de 3 años expedida por el proveedor.

La fabricación de la membrana implicó desarrollar las plantillas a cada dos ejes del CRT con un ancho promedio de 1.70 m que permitiera cortar manualmente las secciones de membrana a partir de un patrón escala 1:1 en papel. El termo sellado o soldadura se realizó por medio de aire caliente a una temperatura promedio de 600°C monitoreado con maquinaria digital.

Existen aplicaciones de varios colores en estas membranas como champagne, gris, amarillo, etc., así como colores claros traslúcidos en los que las mallas son perceptibles y permiten cierta transparencia que es de gran utilidad en invernaderos, sin embargo, las membranas nacionales con estas características no están garantizadas por más de un año y no cuentan con protección a los rayos ultravioleta. Por estos motivos sumados a que el blanco es el único color que tiene una capa interior que bloquea los rayos solares para su propia protección, así como un aditivo al PVC llamado “cold crack” que permite que la membrana trabaje adecuadamente a temperaturas por debajo de 0°C sin presentar agrietamientos, se consideró en blanco sin ahondar en la selección de otro color.



Para conservar la membrana limpia y con un buen aspecto, es recomendable lavarla esporádicamente sin desmontarla con agua a poca presión, preferiblemente sin jabón o, si así lo requiere, usar un jabón con PH neutro especial para membranas.



Finalmente, partiendo de que el pabellón albergaría una exposición referente a la Cápsula del Tiempo y que éste podría ser objeto de reunión, actividades culturales o recreativas, se tomó la decisión de iluminar por la noche el espacio contenido por medio de cuatro luminarias con lámparas de 400 Watts de aditivos metálicos. Estos se ubicarían en cada una de las esquinas dirigidos hacia arriba con el objeto de obtener una iluminación indirecta y a una altura por arriba de la media de una persona para evitar deslumbrar a los asistentes.

La instalación eléctrica se compondría de cables de uso rudo de 3 x 10 conectados al circuito del campus, cuyo sistema de encendido y apagado es automatizado, la acometida eléctrica llegaría a la base metálica de la esquina noreste donde se conectaría la primer lámpara y de ésta saldrían dos cables separados para la conexión de las otras tres lámparas, uno directamente hacia la base en la esquina sureste y el otro hacia la esquina suroeste pasando por la esquina noroeste. La colocación de los cables correría por arriba de los arcos de bambúes de los segundos ejes (de los bordes hacia adentro), quedando ocultos a la vista entre éstos y la membrana plástica.

CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

La culminación de la construcción del pabellón se llevó a cabo el sábado 13 de noviembre de 2010 y albergó el evento de la colocación de la Cápsula del Tiempo llevado a cabo el entrante martes 16 de noviembre.

La construcción con bambú no es algo nuevo, las arquitecturas vernáculas de tradiciones prehispánicas se remontan a épocas remotas. Siendo un material con propiedades constructivas muy generosas, que por su rápida regeneración, ligereza, fáciles transporte y manipulación mediante tecnologías transmitidas por generaciones, ha sido mucho más benéfico y utilizado que las maderas de troncos gruesos, más pesadas y difíciles de trabajar. Sin embargo, la arquitectura contemporánea no contempla cabalmente el bambú como material para la construcción por falta de tecnología que permita equiparar sus cualidades a las ya conocidas cualidades de los materiales convencionales como el acero, el concreto y los polímeros.

Diagnosticar la eficiencia y durabilidad de las cualidades mecánicas del bambú, su inmunidad ante los insectos por medio de conservadores, su vulnerabilidad ante la intemperie, el perfeccionamiento, control de calidad y estandarización de las conexiones, el desarrollo de la tecnología y el registro de la durabilidad del bambú como armado de refuerzo en sustituto del acero para elementos de concreto armado, así como el familiarizar y dar confianza al usuario en general en términos de seguridad estructural y resistencia son algunas de las tareas principales que atañen a los entusiastas en su promoción.

El proyecto del pabellón es para nosotros un aliciente para continuar con la investigación de materiales alternativos aplicados al campo de la construcción, en especial en las cualidades mecánicas que brinda el bambú y su potencial en la promoción de las economías locales a través de su cultivo, su industrialización y su aplicación en el diseño y la construcción.



## BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

## BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

J.A. JANSSEN Jules, Building with Bamboo A handbook, Practical Action Publishing Ltd.

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ Agustín, Análisis del Otate (Bambusa Vulgaris) como material estructural, Tesis para obtener la Maestría en Arquitectura - Tecnología, Ciudad Universitaria, 1996

VILLEGAS Marcelo, “Guadua Arquitectura y Diseño”, Villegas Asociados S.A., Colombia, 2003

CAMPOS NEMAN Luis E., GEODÉSICAS Trazo Básico, Universidad Iberoamericana, 1a edición 1982, 1a reimpresión 1995, México

Gitterschalen, IL 10, Institute für Leichtfläche, Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 1974

Multihalle Mannheim, IL 13, Institute für Leichtfläche, Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 1978

Entwerfen mit Bambus, IL 31, Wohnen unter Bambusschalen, Institute für Leichtfläche, Karl Krämer Verlag Stuttgart 1985

Bamboo Structural Design Registro del comité ISO/TC 165/ N 313 21.11.2001  
Número de referencia del documento ISO/DIS 22-156 Identificación del comité ISO/TC 165/WG 9

CORTÉS RODRÍGUEZ, G.R. 2000. Los bambúes nativos de México. CONABIO. Biodiversitas 30:12-15

HIDALGO LÓPEZ Oscar, Manual de Construcción con Bambú, Estudios Técnicos Colombianos, Universidad Nacional de Colombia, Centro de Investigación de Bambú y Madera CIBAM, Bogotá, Colombia, 1981.

BROWN Azby, Just Enough, Lessons in living green from traditional Japan, Kodansha International Ltd., 2009

Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal

Catálogo CAMESA

[whc.unesco.org/en/decisions/1354](http://whc.unesco.org/en/decisions/1354)

[www.completebamboo.com](http://www.completebamboo.com)

[epic.kew.org](http://epic.kew.org) Electronic Plant Information Centre (ePIC)

[www.guaduabamboo.com/bamboo-dientification/bamboo-genera/phylostachys/](http://www.guaduabamboo.com/bamboo-dientification/bamboo-genera/phylostachys/)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Poaceae>

[www.bambumex.org](http://www.bambumex.org)

[www.proholz.at/zuschnitt/19/gitterschale-mannheim.htm](http://www.proholz.at/zuschnitt/19/gitterschale-mannheim.htm)

<http://kkaa.co.jp/works/lucien-pellat-finet-shinsaibashi/>

[www.bamboocycles.com/](http://www.bamboocycles.com/)

[www.americanbamboo.org/](http://www.americanbamboo.org/)

[www.bambooweb.info](http://www.bambooweb.info)

[www.greenschool.org/](http://www.greenschool.org/)

[www.bambooliving.com/](http://www.bambooliving.com/)

[www.ojtat.org/](http://www.ojtat.org/)

[www.bambus.de](http://www.bambus.de)

[www.colectivoespacial.com](http://www.colectivoespacial.com)

Gaceta del Centenario

Suplemento Especial Gaceta de la Cápsula del Tiempo