



17 de octubre de 2019

**H. Consejo Divisional
Ciencias y Artes para el Diseño
Presente**

La Comisión encargada de la revisión, registro y seguimiento de los proyectos, programas y grupos de investigación, así como de proponer la creación, modificación, seguimiento y supresión de áreas de investigación, para su trámite ante el órgano colegiado correspondiente, da por recibido el primer reporte del Proyecto de Investigación N-442 titulado "Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental y cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas. Caso de estudio Gridshell con bambú", la responsable es la Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves que presenta el Departamento de Procesos y Técnicas de Realización.

Los siguientes miembros estuvieron presentes en la reunión y se manifestaron a favor del dictamen: Mtro. Víctor Manuel Collantes Vázquez; Dr. Fernando Rafael Minaya Hernández, Mtra. Ruth Alicia Fernández Moreno y Dr. Isaac Acosta Fuentes.

**Atentamente
Casa abierta al tiempo**



Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas
Coordinador de la Comisión

11 de octubre, 2019.

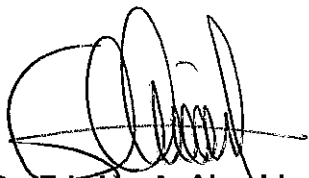
PT/JEFATURA/CYAD/112/2019

Mtro. Salvador U. Islas Barajas
Secretario Académico
Ciencias y Artes para el Diseño
Presente

En respuesta a su oficio SACD/CYAD/460/19 y en atención a las observaciones de la *Comisión encargada de la revisión, registro y Seguimiento de los proyectos, programas y Grupos de investigación, así como de proponer la creación, modificación, seguimiento y supresión de Áreas de investigación, para su trámite ante el órgano Colegiado correspondiente* anexo envío las correcciones sugeridas al primer reporte del Proyecto de Investigación **N-442 Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental y cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas. Caso de estudio Gridshell con bambú**, bajo responsabilidad de la Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves registrado en el programa de investigación "P-059 Sistemas de Estructuras Ligeras" del Grupo de Estructuras Ligeras.

Sin más por el momento, reciba usted un cordial saludo.

Atentamente
Casa abierta al tiempo



Dr. Edwing A. Almeida Calderón
Encargado del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización



11 de octubre, 2019.

Dr. Edwing Antonio Almeida Calderón
Encargado del Departamento de Procesos y
Técnicas de Realización
P r e s e n t e

Aprovecho el medio para entregar la respuesta a las observaciones realizadas por la *Comisión encargada de la revisión, registro y Seguimiento de los proyectos, programas y Grupos de investigación, así como de proponer la creación, modificación, seguimiento y supresión de Áreas de investigación, para su trámite ante el órgano Colegiado correspondiente*, al primer reporte de proyecto de investigación **N-442 “Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental en cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas. Caso de estudio Gridshell con bambú”**, registrado en el programa de investigación P-059 Sistemas de Estructuras ligeras del Grupo de Estructuras Ligeras, asimismo le solicito tenga la amabilidad de turnarlo a la oficina técnica del Consejo Divisional para continuar con el trámite correspondiente.

Sin más por el momento quedo a sus órdenes para cualquier aclaración

Atentamente,
Casa abierta al tiempo



Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves
Profesora – Investigadora
Grupo de Investigación Estructuras Ligeras
Departamento de Procesos y Técnicas de Realización

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN P-059 SISTEMAS DE ESTRUCTURAS LIGERAS.

RESPUESTA A LAS OBSERVACIONES DEL 1ER. REPORTE DE INVESTIGACIÓN
2019

Proyecto #N-442 Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental en cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas. Caso de estudio Gridshell con bambú.

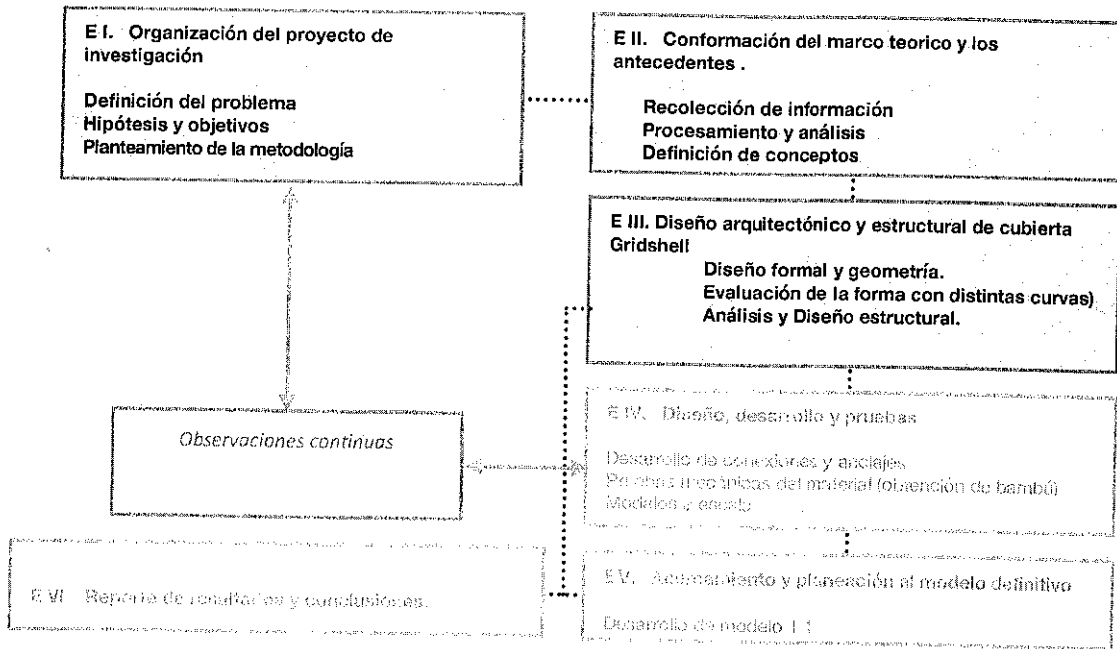
MTRA. DOLORES YOLANDA NERI ACEVES (26562)
Responsable del proyecto
No. Económico 26562
Departamento de Procesos y Técnicas de Realización
Diciembre 2018

D.I. GUILLERMO DE JESÚS MARTÍNEZ PÉREZ (27839)
DR. LUIS ALFONSO PENICHE CAMACHO (6972)
MTRO. CARLOS GARCÍA MALO FLORES (3226)
D.I. AARÓN ILLESCAS SERRANO (27317)

El presente documento sintetiza los avances del proyecto de investigación que actualmente lleva a la fecha 1 año de desarrollo y, de acuerdo con las metas y objetivos planteados en un inicio así como con los ajustes a la calendarización de actividades debidos a la reciente huelga. Se han anexado tablas de trabajo por trimestre para hacerlo más claro con respecto al calendario planteado en el protocolo (VER ANEXO:

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN), se encuentra actualmente finalizando la ETAPA III: EVALUACIÓN DE LAS CURVAS (30% grado de avance respecto al general).

Sinopsis de trabajo



Cabe mencionar que de acuerdo con la calendarización de actividades el proyecto debería tener un porcentaje mayor de avance, sin embargo no se logró debido a que se tuvo una espera por material que al final no fue aprobada en el primer periodo por el departamento, no se hizo ajuste al calendario debido a que continúa ese desarrollo sin interferir con la calendarización actual.

De tal forma, como resultados al 2019, se han realizado:

- *Desarrollo del protocolo de investigación, recopilación y generación de datos para sustentar la fundamentación teórica y metodológica del proyecto. (10%)*
- *Integración del estado del arte. (10%)*
- *Avance del Diseño arquitectónico de cubierta GridShell. (10%)*

(VER A CONTINUACIÓN: **ORGANIZACIÓN DE TRABAJO**)

Organización de trabajo 2018.

- **Actividad:** Definición del protocolo y propuesta de investigación.

Participantes: Mtra. Yolanda Neri Aceves, D.I. Guillermo de Jesús Martínez Pérez, Mtro. Carlos García Malo Flores, Dr. Luis Alfonso Peniche Camacho, D.I. Aarón Illescas Serrano.

Periodo: Febrero-marzo

Avance o resultados: Protocolo definitivo de la Investigación.

- **Actividad:** Se realizó presupuesto de bambú para la primera etapa

Participantes: Mtra. Yolanda Neri Aceves

Periodo: Marzo-Abril

Avance o resultados: No se aprobó el presupuesto.

- **Actividad:** Recolección de datos para generar una sustentación teórica y metodológica para ser usada, conforme vaya avanzando el proyecto.

Participantes: Mtro. Carlos García Malo Flores, Dr. Luis Alfonso Peniche Camacho, Mtra. Yolanda Neri Aceves

Periodo: Mayo-Julio

Avance o resultados: Marco teórico de referencia. **10%**

Actividad: -----

Participantes: -----

Periodo: Agosto

Avance o resultados: -----

- **Actividad:** Recolección de datos para generar una sustentación teórica y metodológica para ser usada, conforme vaya avanzando el proyecto.

Participantes: Mtro. Carlos García Malo Flores, Mtra. Yolanda Neri Aceves

Periodo: Septiembre-October

Avance o resultados: Marco teórico de referencia **30%**.

- **Actividad:** Evaluación de la forma con distintas curvas para la definición de la cubierta.

Participantes: Mtra. Yolanda Neri Aceves

Periodo: Octubre-Noviembre

Avance o resultados: Se determinó que tipo de geometría se empleará para el desarrollo de la cubierta.

- **Actividad:** Elaboración de informe anual de actividades del proyecto.

Participantes: D.I. Guillermo de Jesús Martínez Pérez, Mtro. Carlos García Malo Flores, Dr. Luis Alfonso Peniche Camacho, D.I. Aarón Illescas Serrano, Mtra. Yolanda Neri Aceves.

Periodo: Diciembre

Avance o resultados: Entrega del informe anual de actividades del proyecto.

Productos de trabajo generado hasta el momento.

Avance de la información.

- Introducción
- Antecedentes
- Marco teórico conceptual
- Análisis estructural simple para evaluar las curvas que conforman la geometría de la cubierta y determinación de la óptima para el sistema.

Como antecedente al proyecto de investigación, hubo participación en diferentes eventos de Cyad investiga donde se dio a conocer las características principales que se deben considerar para el uso de las cubiertas reticuladas y sus ventajas en los proyectos de arquitectura. Esto derivó en la propuesta y desarrollo del protocolo del proyecto.

- **Actividad:** Participación dentro del evento Cyad investiga en 2016. Cubierta sustentable de doble curvatura, reticulada y eficiente estructuralmente. Caso de estudio: Gridshell con bambú.

Participantes: Mtra. Yolanda Neri Aceves, Mtra. María Teresa Bernal, D.I. Guillermo de Jesús Martínez, Arq. Ana Karen Gutiérrez, D.I. Aarón Illescas Serrano, Mtro. Ernesto Noriega Estrada, Mtra. Susana García Lory.

Periodo: 04 al 15 de julio 2016

Resultados: Antecedentes.

- **Actividad:** Participación dentro del evento Cyad investiga en 2017. Optimización de cubierta reticular de doble curvatura reticulada de bambú.

Participantes: Mtra. Yolanda Neri Aceves, Mtro. Carlos García Malo Flores, Dr. Luis Alfonso Peniche Camacho, D.I. Guillermo de Jesús Martínez, Arq. Ana Karen Gutiérrez, D.I. Aarón Illescas Serrano, Mtro. Ernesto Noriega Estrada, Mtra. Susana García Lory.

Periodo: 03 al 14 de julio 2017

Resultados: Antecedentes.

**ANEXO
PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
UNIDAD AZCAPOTZALCO
DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO**

SOLICITUD DE REGISTRO ANTE CONSEJO DIVISIONAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Febrero 2018

TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental en cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas. Caso de estudio Gridshell con bambú.

NOMBRE DEL DEPARTAMENTO

Departamento de Procesos y Técnicas de Realización.

GRUPO O ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Sistemas de estructuras ligeras

RESPONSABLE DEL PROYECTO

Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves
No. Eco. 26562
Profesor Asociado "D" Medio tiempo

MIEMBROS DEL PERSONAL ACADÉMICO PARTICIPANTES DEL PROYECTO

D.I. Guillermo de Jesús Martínez Pérez
No. Eco. 27839
Profesor Asociado "A" Tiempo completo

D.I. Dr. Luis Alfonso Peniche Camacho
No. Eco. 6972
Profesor Titular "C" Tiempo completo

Mtro. Carlos García Malo Flores
No. Eco. 3226
Profesor Titular "C" Tiempo completo

D.I. Aarón Illescas Serrano
No. Eco. 27317
Técnico Académico Titular "D" Tiempo Completo

RESUMEN

El trabajo de investigación por presentar es un trabajo multidisciplinar que conjunta las habilidades y experiencias de un conjunto de docentes de la división de CyAD, los cuales tenemos como objetivo llevar a cabo un trabajo enfocado en la realización de cubiertas ligeras de forma activa, buscando la geometría y los materiales más óptimos para su realización.

Las cubiertas propuestas en México por lo regular trabajan por esfuerzos a flexión utilizando materiales como el concreto, acero. Madera de pino, sin embargo se debe explorar y experimentar en otros materiales que puedan ejercer por forma esfuerzos axiales y que además de ser eficientes sean sustentables.

Los métodos y procesos que se desarrollen para la realización del presente proyecto consolidarán el trabajo de los integrantes del laboratorio.

JUSTIFICACIÓN

Nuestra propuesta de investigación pretende estudiar las cubiertas de malla reticular, evaluando la eficiencia del comportamiento mecánico, así como la factibilidad económica y funcionalidad estructural para claros sin apoyos intermedios considerando como material de construcción el bambú.

Utilizaremos bambú para conocer sus alcances tanto, en su desempeño en la rama constructiva así como la factibilidad económica. Mostrando así, las complicaciones o facilidades que éste tendría haciendo uso de tecnologías de prefabricación y materiales biodegradables.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se pretende desarrollar un proyecto arquitectónico integral, sobre la construcción del bambú tomando en cuenta los aspectos ambientales, industriales y estructurales de dicho recurso, ofreciendo conceptos multidisciplinarios para su gestión.

Se llevará a cabo un estudio sobre las características, las técnicas y el proceso constructivo del bambú para su posible factibilidad en el caso de estudio planteado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar mediante análisis estructural la eficiencia de las distintas curvas existentes, circunferencia, catenaria y parábola, cual es la más óptima para desarrollar este tipo de sistema.
2. Experimentar con diversas conexiones para el bambú, se buscará desarrollar la más óptima y como sería la transmisión de cargas al subsuelo, esto significa el desarrollo de una cimentación o algún tipo de anclaje para que esta estructura se puede desmontar y llevar a otro lado.
3. Se evaluará la eficiencia económica mediante la comparación de una estructura de misma forma, una de bambú y otra de acero, para así observar cual es la más conveniente.
4. Se evaluará su desempeño en la construcción mediante la comparación de una estructura de acero y la de bambú, cuales son los tiempos en los que se ejecutarían ambas.
5. Realización de prototipo (maqueta) ó modelo tridimensional que nos permita observar el proceso constructivo y evaluar el comportamiento estructural.

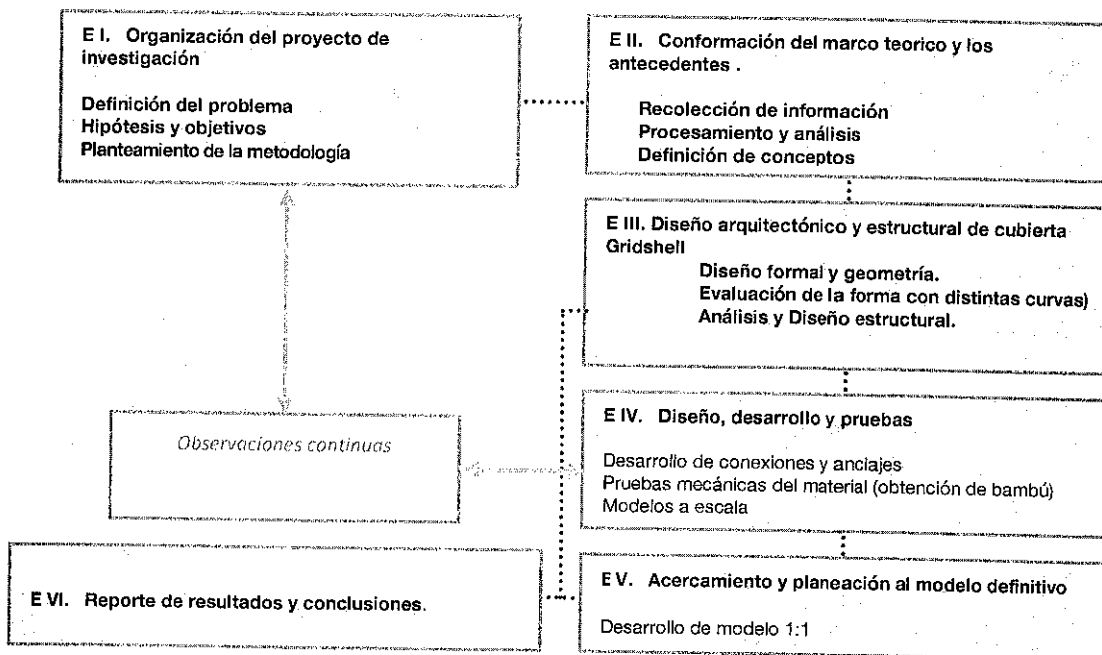
METAS

- Para poder evaluar y comparar se desarrollará un pabellón para exposiciones temporales para el campus de la UAM Azcapotzalco. Se trabajará sobre un proyecto arquitectónico el cual sólo impactará en la cubierta.
- Generación de modelo 3D.
- Realización de maquetas estudio.
- Realización de prototipo.
- Publicaciones de los resultados.

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

- Determinación material, análisis y estudio mecánico.
- Comenzar y avanzar la investigación con análogos, propuesta inicial, propuesta formal, propuesta estructural y constructiva, y presupuesto.
- Se realiza el modelo tridimensional (maqueta).
- Publicaciones congreso IASS.

PLAN DE TRABAJO



<http://www.tue.nl/en/university/departments/builDenvironment/research/units/structural-design/education/final-thesis/projects/isd/optimization-form-and-grid-gridshell/>
<http://matsysdesign.com/2012/04/13/sg2012-gridshell/>
<http://gridshell-comalle.blogspot.mx/p/estructura.html>
<http://shells.princeton.edu/Mann1.html>

-Manual de construcción con bambú, Hidalgo López, Oscar, Construcción rural.

-“Ensayos experimentales de armaduras planas de bambú bajo cargas verticales”, Chávez Mejía Erick Francisco, UAM Azcapotzalco, 2013.

-The modernization of bamboo in the industrial context, pg. 99,chapter 4, Universitat Duisburg-Essen, Xiaobing Yu, 2007. <http://d-nb.info/987409050/34>

-<http://conciencia-sustentable.abilia.mx/arquitectura-en-bambu-la-obra-de-simon-velez/>

-<http://bambus.rwth-aachen.de/eng/reports/i131/gd.html>

**ANEXO 2
AVANCE DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
UNIDAD AZCAPOTZALCO
DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN #N-442

JULIO 2018

TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental en cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas. Caso de estudio Gridshell con bambú.

NOMBRE DEL DEPARTAMENTO

Departamento de Procesos y Técnicas de Realización.

GRUPO O ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Sistemas de estructuras ligeras

RESPONSABLE DEL PROYECTO

Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves
No. Eco. 26562
Profesor Asociado "D" Medio tiempo

MIEMBROS DEL PERSONAL ACADÉMICO PARTICIPANTES DEL PROYECTO

D.I. Guillermo de Jesús Martínez Pérez
No. Eco. 27839
Profesor Asociado "A" Tiempo completo

D.I. Dr. Luis Alfonso Peniche Camacho
No. Eco. 6972
Profesor Titular "C" Tiempo completo

Mtro. Carlos García Malo Flores
No. Eco. 3226
Profesor Titular "C" Tiempo completo

D.I. Aarón Illescas Serrano
No. Eco. 27317
Técnico Académico Titular "D" Tiempo Completo

Introducción.

Actualmente en la UAM-Azcapotzalco se tienen contemplados diversos eventos que necesitan de espacios efímeros para el desarrollo de actividades frecuentes o de exposiciones al aire libre, que requieren ser cubiertos, debido al clima tan cambiante en la Ciudad de México donde existen variadas épocas de lluvia y una incidencia solar importante.

El principal inconveniente que tienen las cubiertas en México, principalmente es que su costo es elevado o no son de buena calidad y los sistemas constructivos poseen un alto impacto ambiental.

Se pretende cubrir con el proyecto un espacio arquitectónico de dimensiones considerables con el fin de lograr un pabellón de exposiciones temporal que pueda eventualmente crecer y pueda ser una solución viable tanto económica como social.

Una estructura es eficiente si trabaja con esfuerzos axiales, para lograrlo en el diseño se debe buscar una geometría óptima y elegir el material adecuado para que mecánicamente trabaje por forma y como consecuencia los esfuerzos se reducen.

Los gridshell son estructuras ligeras y sus principales ventajas son: que libran grandes claros con el menor material. Se considerará importante evaluar una estructura de éste tipo con barras de bambú (*bambusa olhamii*), debido a que es un material poco probado y es deseable verificar que tiene un buen comportamiento estructural y sísmico, además por ser un material de bajo impacto ambiental.

En el laboratorio de cubiertas ligeras de la unidad se ha incursionado en el estudio de modelos semejantes a la cubierta reticulada, como el proyecto para zoológico de Chapultepec dirigida por el Arq. Francisco Montero López.

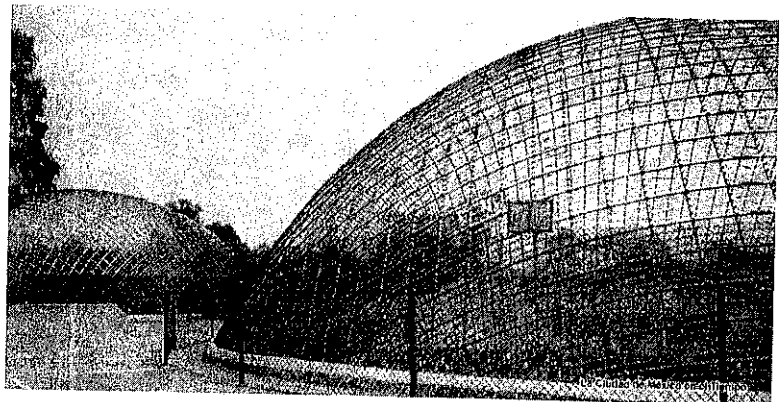


Fig. 1 Jaulas en el zoológico de Chapultepec.

Para los alumnos en la carrera de arquitectura sería de gran importancia porque tendrían más elementos para el desarrollo de propuestas innovadoras.

Objetivo general.

El objetivo de la investigación de estructuras gridshells en el laboratorio de cubiertas ligeras es evaluar la eficiencia de los cascarones reticulares por forma, así como la eficiencia económica y su funcionalidad estructural para grandes claros empleando como material de construcción el bambú, para esto se desarrollaran prototipos y sus conexiones.

Objetivos específicos.

- 1.- Determinar mediante análisis estructural la eficiencia de las distintas curvas existentes, circunferencia, catenaria y parábola, cual es la más óptima para desarrollar este tipo de sistema.
- 2.- Experimentar con diversas conexiones para el bambú, se buscará desarrollar la más óptima y como sería la transmisión de cargas al subsuelo, esto significa el desarrollo de una cimentación o algún tipo de anclaje para que esta estructura se puede desmontar y llevar a otro lado.
- 3.- Se evaluará la eficiencia económica mediante la comparación de una estructura de misma forma, una de bambú y otra de acero, para así observar cual es la más conveniente.
- 4.- Se evaluará su desempeño en la construcción mediante la comparación de una estructura de acero y la de bambú, cuales son los tiempos en los que se ejecutarían ambas.
- 5.- Realización de prototipo (maqueta) ó modelo tridimensional que nos permita observar el proceso constructivo y evaluar el comportamiento estructural.

ANTECEDENTES

El ingeniero ruso Vladimir Shukhov fue uno de los pioneros en desarrollar este tipo de estructuras a finales del siglo XIX, construyó torres de gran altura generadas con

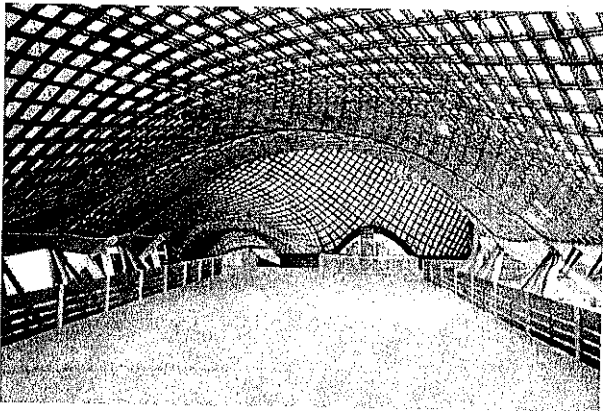
líneas rectas entrecruzadas, que formaban hiperboloides de revolución. En 1920 Walther Bauersfeld realizó el primer domo geodésico como cimbra para un planetario en Alemania, y subsecuentemente Buckminster Fuller comenzó a popularizar esta forma en los años 50's.

El gridshell es una estructura en la que le caparazón ó cascarón (shell) se une a la de una retícula (grid). La estructura se prepara en plano tejiendo los elementos que la componen y forzándolos a asumir su posición final. Los tableros se entrecruzan formando mallas cuadradas planas, que luego se deforman y flexionan para dar origen a mallas romboidales. La estructura arquitectónica adquiere su forma definitiva con la colocación de refuerzos diagonales constituidos por otros elementos de madera o por cables de acero.

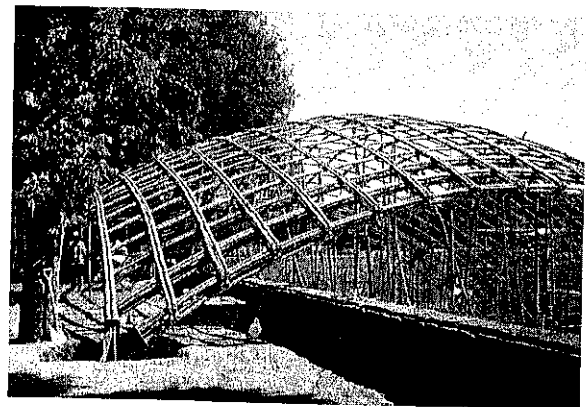
Hay un número infinito de desplantes posibles para la generación de la malla (grid) reticular de forma libre. Algunos de los más comunes son variaciones del rectángulo pero también triángulos, estrellas, óvalos y otras formas posibles. El primer ejemplo de gridshell se tuvo en el Multihalle de Mannheim diseñado por Frei Otto y terminado en 1975. En Italia se han realizado alrededor de ocho gridshell y la particularidad de la estructura de Selinunte está en que por primera vez se ha empleado madera de pino con nuevos sistemas de nudo.

El sistema tipo gridshell permite la construcción de formas curvas geoméricamente complejas basándose en la capacidad de deformación elástica de los materiales y la rigidez de sus elementos de conexión. El gridshell posee la característica de ser auto soportante siempre y cuando la forma esté limitada a cúpulas puras.

Una de las instituciones pioneras en particular el grupo de investigación conformado por profesores y estudiantes de las facultades de Arquitectura y de Ingeniería de la UNAM, cuyo objetivo es promover y difundir el uso del bambú como un material estructural sustentable y confiable.



Multihalle de Mannheim, Cubierta de madera. Frei Otto. (Alemania)



UNAM, Cubierta de bambú, Bambuver A.C. (México, DF.)

Una de las especies más explorada en el ámbito de la construcción es la guadua angustifolia. La guadua, es el bambú gigante de América, es una planta de rápido crecimiento, y condiciones de sostenibilidad, versatilidad, liviandad, resistencia, flexibilidad, fácil manejo, sus características han convertido, a esta gramínea, en protagonista de la evolución de la cultura americana, en donde México presenta 39 especies leñosas.

Marco teorico.

Sobre el Bambú

Comparado con un árbol, los bambúes en general, son de rápido crecimiento y de mayor productividad. Por lo general, el ciclo de crecimiento de un bambú constituye una tercera parte del ciclo de un árbol de rápido crecimiento, y su productividad por hectárea es dos veces la del árbol. Además, los bambúes emergen del suelo con su diámetro establecido sin presentar incrementos en el diámetro con el tiempo como sucede con los árboles. El diámetro máximo reportado para guadua es de 25 cm y el promedio de 9 a 13 cm.

El bambú es un recurso natural que no se puede estandarizar.

El comportamiento del bambú puede variar mucho con respecto a la especie, al sitio donde crece, a la edad, al contenido de humedad y a la parte del culmo o de la sección que uno este utilizando.

Se necesita un buen mantenimiento para la durabilidad.

El bambú es una buena opción como un material de construcción por sus propiedades físicas.

Es un material que permite aligerar el peso a la construcción y es un factor muy importante para construcciones sismo resistentes.

Sus fibras exteriores la hacen muy resistente a fuerzas axiales.

La relación entre peso - carga máxima y su forma tubular apto para fuerzas axiales lo convierten en un material adecuado para estructuras espaciales en donde trabajan solamente dichas fuerzas axiales.

El rápido crecimiento del bambú lo hace económicamente muy competitivo.

+ En el contexto ecológico el uso del bambú juega un papel muy importante.

El bambú es un recurso renovable y sostenible.

Su rápido crecimiento y la alta densidad de culmos por área significa una productividad muy importante de la tierra y una biomasa considerable.

El bambú se utiliza como planta de reforestación.

Si el bambú lograra reemplazar la madera o el acero en algunas construcciones, la tala de la selva tropical se disminuiría por una demanda que cambiaría.

Inconvenientes propios del bambú

La resistencia a fuerzas perpendiculares a las fibras (cortante) es muy baja lo que significa que el bambú tiene tendencia de rajarse fácilmente paralelo a las fibras.

Una construcción de bambú necesita una protección por diseño que asegura que el bambú no recibe directamente ni humedad, ni rayos directos del sol.

El bambú no es un material ignífugo y como es vacío se quema rápido. Todavía no se establece una técnica totalmente confiable de inmunización contra hongos.

Construyendo con Bambú

Normalmente solo la mitad o la tercera parte del largo total de un bambú pueden ser utilizadas elementos de soporte para la estructura. Como la mayoría de especies, los nodos son rígidos y es posible doblarlos. Cuando se usa el bambú en su total longitud, la flexión de sus extremos llega a ser complicado debido al pequeño diámetro y grosor del culmo.



Gridshell con bambú

En las estructuras gridshell, el principio de construcción está basado en la idea de barras delgadas, separadas y entrelazadas que forman una estructura de soporte de carga usando los arcos como forma principal.

Se debe de tomar en consideración los siguientes puntos ante el uso del bambú y una Gridshell

- Determinar el efecto de irregularidades en los culmos del bambú debido a su forma y al comportamiento de flexión del gridshell.
- Desarrollo y prueba de los detalles constructivos a el material como son las uniones, la extremidad del culmo, el diseño del borde o límite, el ajuste de la retícula al límite, alternativas de modificar la forma, etc.
- Adaptar las formas y uniones a los requerimientos del gridshell.
- Determinar la capacidad de flexión de dichas estructuras así como su separación.

- Desarrollo y prueba de una posible cubierta.

✓ Experimentos

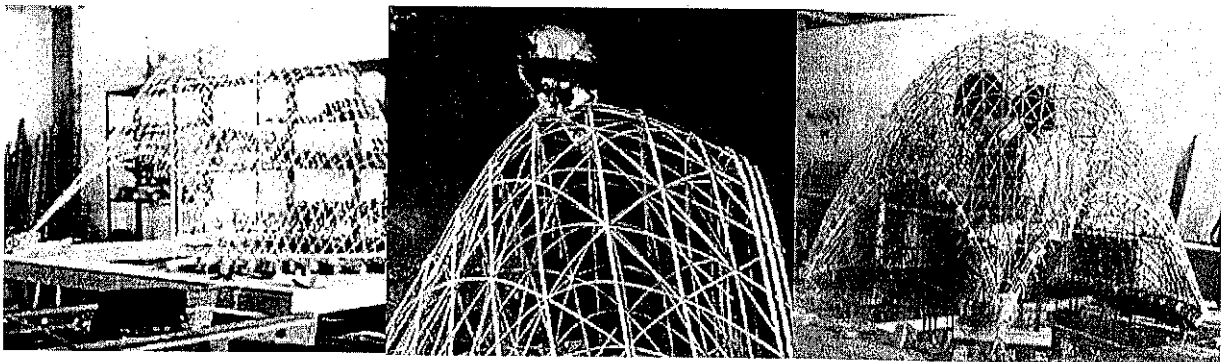
Experimento 1- Con la primera construcción experimental (1/8 de la sección de 7.5m) los posibles problemas de dicha estructura fueron examinados y mientras se trabajaron los extremos y nodos eficazmente, la deformación fue la menor en superficie: 122 N/m²

Experimento 2- En noviembre de 1981 la estructura experimental fue alterada, la sección de la retícula más pequeña fue cubierta diagonalmente por una retícula secundaria. Las pruebas de carga mostraron que la capacidad de carga de esta

Experimento 3- Construir un modelo de una gridshell con secciones de 9m y escala 1:5. Los resultados de la carga demostró que el gridshell con una retícula secundaria en diagonal puede soportar una carga de 250/330 N/m²

✓ Resultados

- 1- Dividir el bambú es un material rentable para la construcción de un gridshell
- 2- Las irregularidades de las secciones, que son inherentes en el material, no es problema alguno.
- 3- La forma o tolerancias de las dimensiones ocasionadas por las irregularidades podrían reducirse con una selección apropiada de las barras en la retícula.
- 4- La unión de los elementos estructurales desarrollados por las técnicas tradicionales de amarre han sido exitosos.
- 5- La armoniosa curvatura de las barras no es distribuida por las uniones.
- 6- Con grandes Gridshells la retícula debe ser preparada con anterioridad para facilitar su ensamble y forma final.
- 7- El límite máximo de los culmos de bambú es alrededor de 10m. Este límite es probablemente dependiente de las especies de bambú utilizados.



Bambú en la arquitectura

- CUBIERTA DE BAMBÚ POR SHIGERU BAN

Shigeru Ban es famoso por sus innovadores experimentos de materiales en la arquitectura y diseño de mobiliario. Ha intentado usar materiales como tubos de cartón, papel y bambú para la construcción y diseño que comúnmente no deberían ser usados en la arquitectura. La primera vez que intentó usar tubos de papel en construcción fue en 1986 cuando diseñó una exhibición sobre Alvar Aalto. Debido a su bajo presupuesto tuvo que dejar la madera como material de diseño, esto le dio una oportunidad para usar tubos de papel. Los materiales no convencionales mostraron un gran potencial no solo para la construcción, al igual por la estética de la forma y la ligereza del espacio, su eficiencia en la construcción además de ser 100% reciclables.

Ban ha tratado el bambú natural como material de construcción en sus comienzos, aunque se rindió debido a la irregularidad de sus dimensiones y difíciles uniones. Ésta fue una de sus razones por las cuales cambió al tubo de papel, un material industrial reciclable. Tiene la estructura similar al tubo de bambú pero puede ser fabricado industrialmente con las mismas dimensiones y características. Pueden ser trabajados con diferentes métodos como el perforado, pegado y puede ser fácilmente unido con otros componentes de construcción como tornillos. En sus trabajos como la casa de papel en 1995 y el Pabellón Japonés en el 2000, utilizó tubos de papel como principal material de construcción

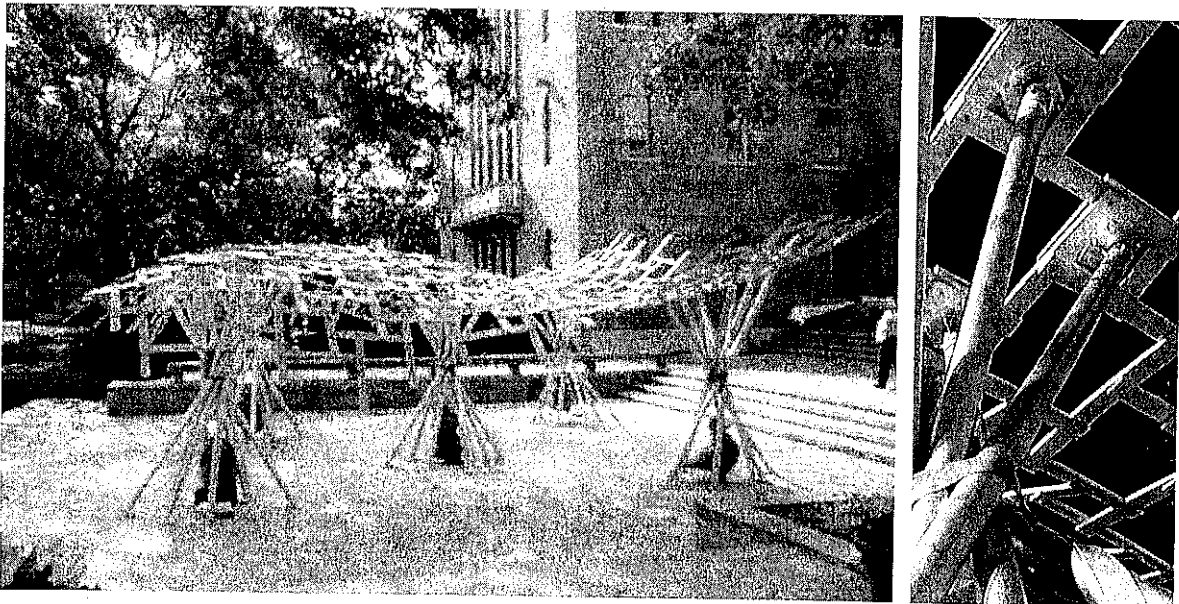


Figure 4- 22 Bamboo Roof at Rice University in Houston, USA, 2002/03, Shigeru Ban Architects (ref. Shigeru Ban Architects)

Aunque el bambú no está fuera de sus opciones como material de construcción en sus diseños, ha elegido productos prefabricados de bambú como bambú laminado. Ban ha demostrado su habilidad hacia el uso de materiales no convencionales en la construcción, con el bambú laminado diseño la cubierta para la Galería Rice en la Universidad de Rice, Houston, USA 2003, el bambú laminado es comúnmente usado para el piso por los productores.

Pero el bambú laminado para el suelo no es límite. Comparado con pisos de madera la única ventaja es la dura superficie del material. La flexibilidad, ligereza y resistencia no tienen forma de mostrar su utilidad. Esto ha sido cambiado por el experimento de Ban utilizando bambú para construcción de cubierta. En su diseño el bambú laminado usado en construcción debe soportar el peso de la cubierta además de otras cargas del viento y nieve. Además de tener una belleza especial en el material y construcción. Debido a las características mecánicas del bambú laminado, Ban no ha tenido que enfrentar problemas que el tubo natural del bambú tiene. La estructura de cubierta s soportada por columnas que están compuestas por poleas de acero. La idea de usar poleas de acero como columnas de soporte para la cubierta se remonta originalmente de la antigua China donde los granjeros hacían cultivaban y hacían crecer los culmos de bambú (McQuaid 2005)¹

- AEROPUERTO MADRID-BARAJAS

El aeropuerto de Madrid Barajas fue un proyecto competido internacionalmente iniciado por AENA en 1996 para construir un nuevo aeropuerto con capacidad de 65-70 millones de pasajeros anuales en 1.2 millones de m² de área construida. El equipo de Richard Rogers Partnership (RRP), Estudio Lamela y dos compañías ingenieras ganaron el proyecto por la simplicidad, adaptabilidad y flexibilidad de su concepto.

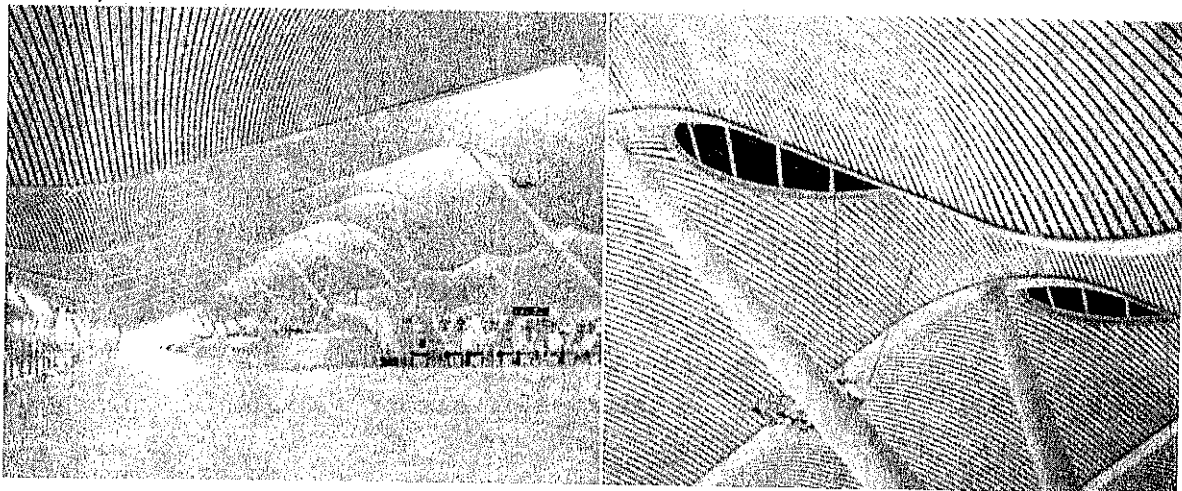


Figure 4- 23 Bamboo Roofs in the Madrid Barajas Airport by Richard Rogers Partnership and Estudio Lamela, 2006 (ref. Amparo Garrido and Richard Bryant/arcaid.co.uk)

¹ - Este proyecto contribuyó como prototipo para el pabellón permanente en "Forest Park, St. Louis" que sigue en desarrollo, donde el bambú puede ser reconocido en gran escala por el público como un moderno material de construcción con una estética especial (Ban 2002).

El bambú como material de construcción no es solo importante para la estructura sino además por la definición del espacio y la atmósfera. El diseño de RRP se concentra en la experiencia de los pasajeros en el aeropuerto, en crear una atmósfera pacífica y ayudar a los pasajeros a acceder fácil y eficaz.

La cubierta ondulada no es solo una forma de expresión sino de definición del espacio. Las tiras de bambú laminado encajan perfectamente en la construcción orgánica, es elástico, ligero y de gran resistencia de carga.

Uno de los factores del concepto más importantes es el concepto de luz especial. Maximizar el uso de luz natural por series diseñadas como "cañones" para atraer luz natural a los más bajos niveles del proyecto. Los "cañones" son columnas espectacularmente altas que cuando el pasajero desciende tiene el impacto de un espacio impresionante. Debido a la intensidad del color y la textura del bambú le otorga al interior del aeropuerto una atmósfera de calidez y luminosidad.

Junto con los "cañones" la cubierta de bambú ondulada crea espectaculares ritmos de luz. El director de Richard Rogers Partnership, Simon Smithson, considera estos especiales ritmos de luz como una forma de amortiguar la percepción del aeropuerto porque permiten a los viajeros hacerse una pausa en un túnel de luz natural (Grossman 2006).

Generación de la forma.

La superficie es generada por rotación, esto quiere decir que se debe girar una línea inclinada (generatriz) alrededor de un eje contenido en el plano de dos circunferencias, en este caso, ambas de mismo diámetro.

- **Primer Paso** - Tenemos una línea inclinada (generatriz) y el eje de rotación que forma las dos circunferencias.

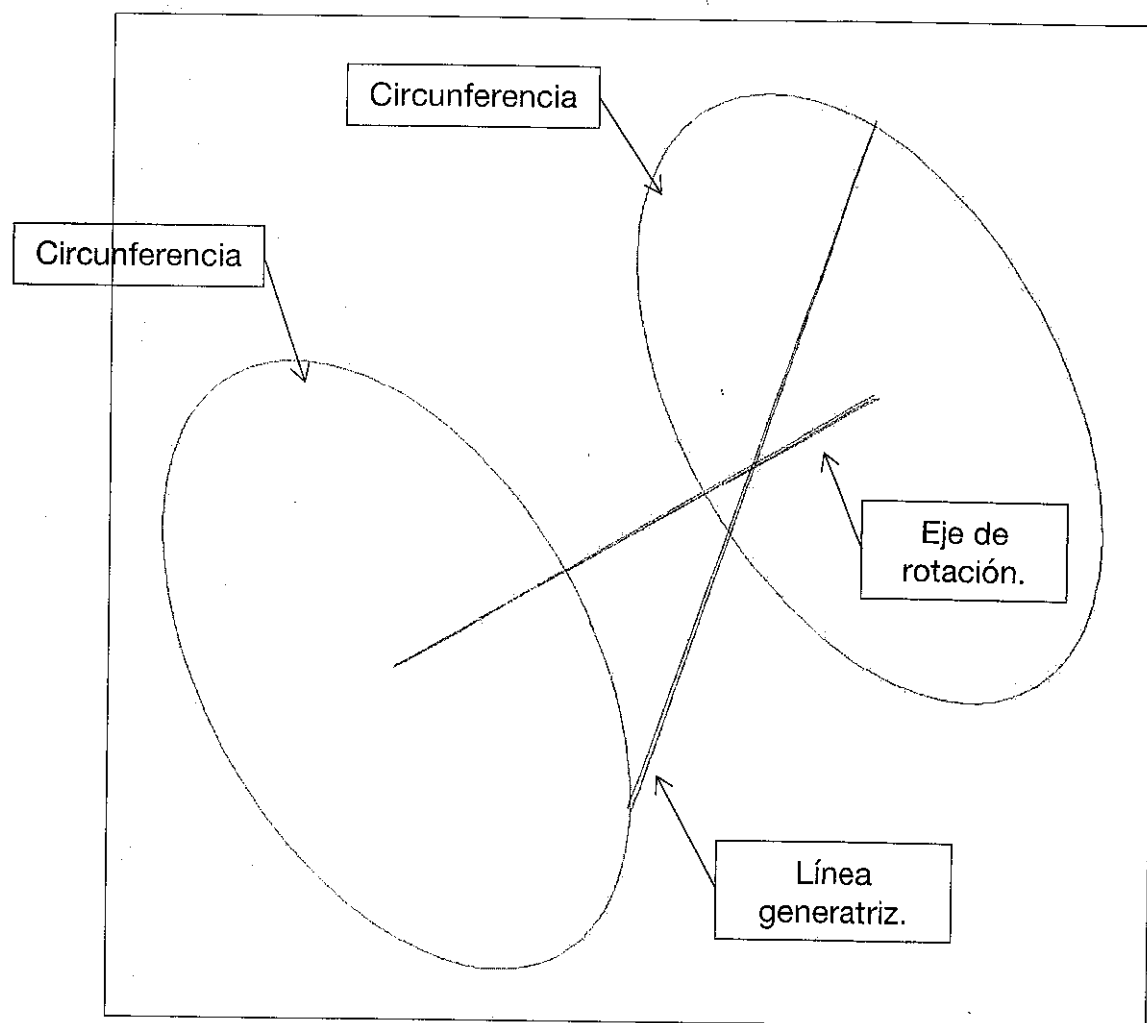


Ilustración 1- 1er paso para generación de la superficie.

- **Segundo paso** – Al hacer rotar la generatriz se forma un hiperboloide.

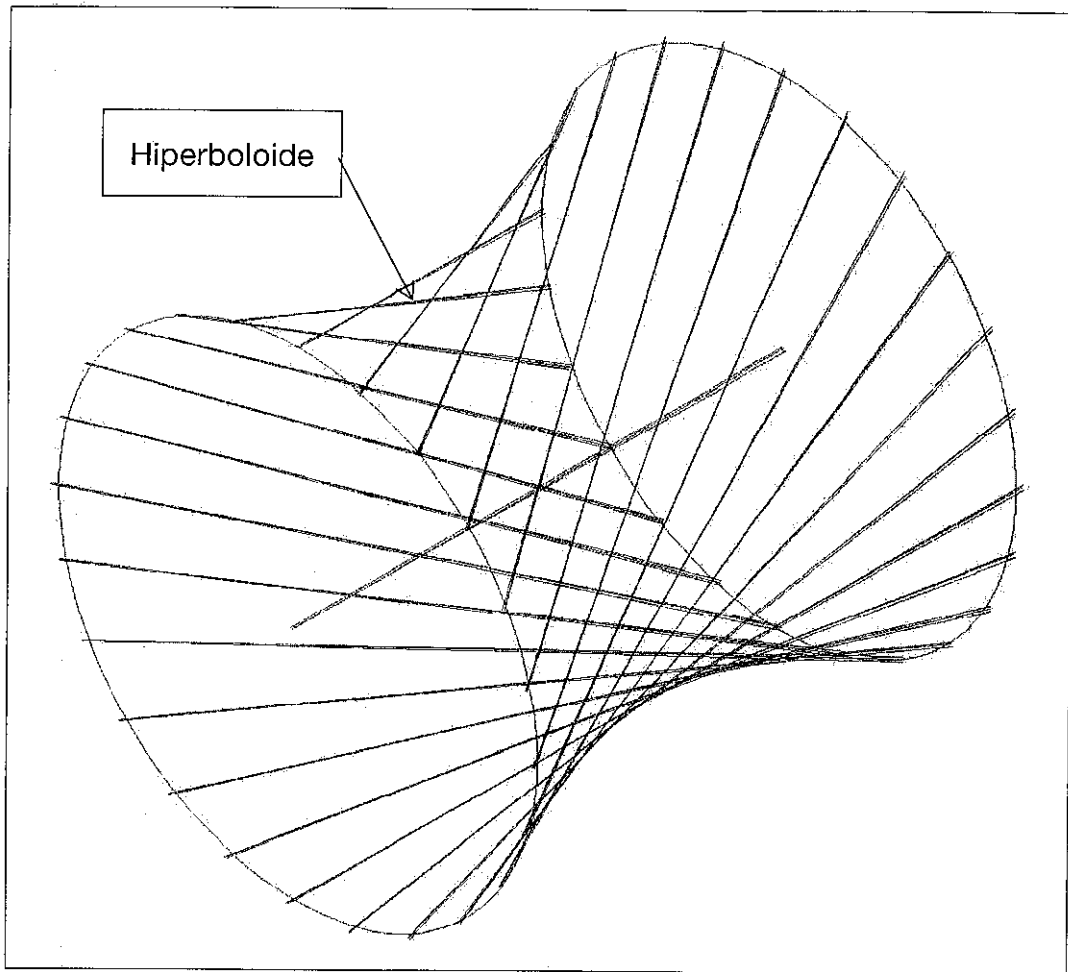


Ilustración 2 - 2do paso, se genera un hiperboloide.

- **Tercer paso** – Para complementar el hiperboloide repetimos el mismo procedimiento, pero ahora del lado contrario para complementar el hiperboloide.

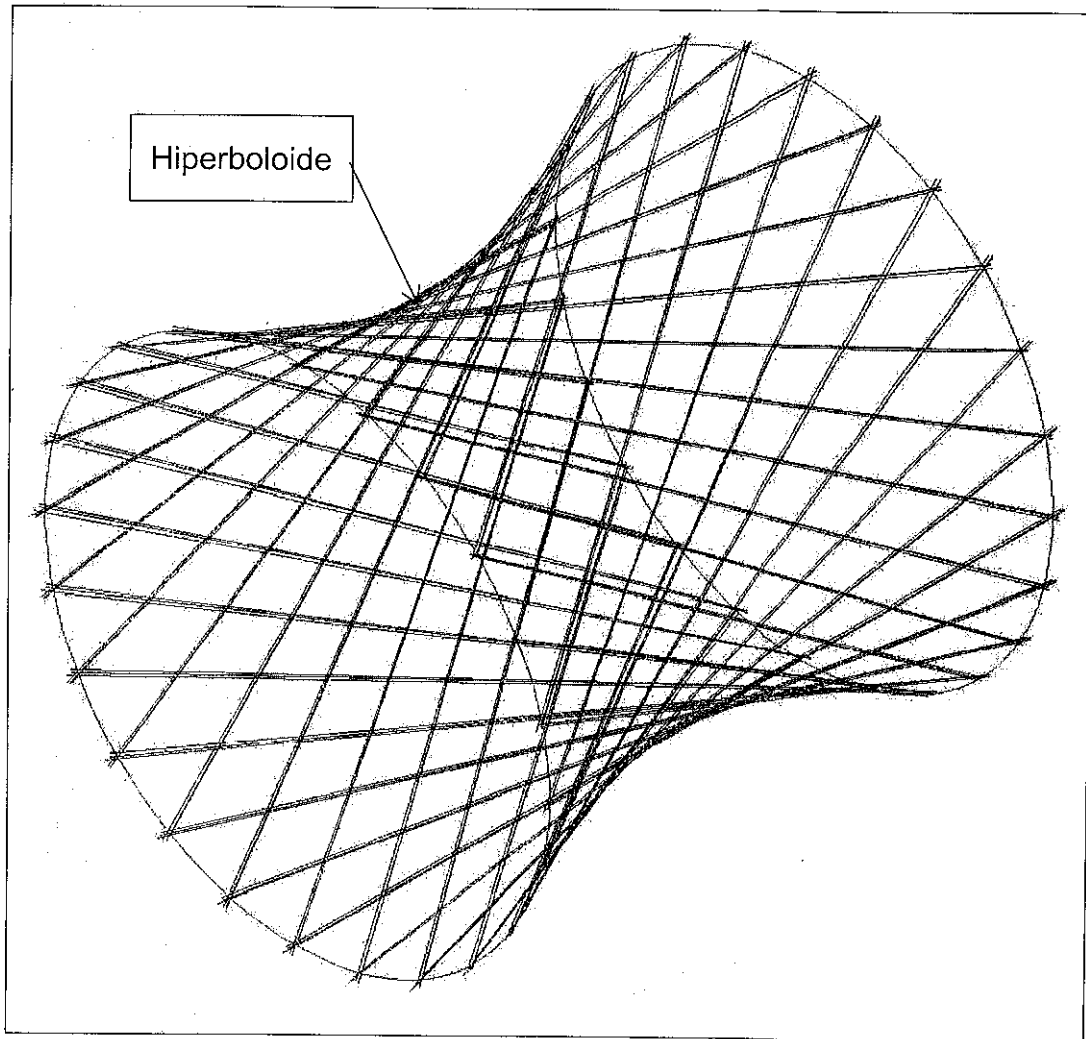


Ilustración 3 - 3er paso, complementa del hiperboloide.

- **Cuarto paso** – Seccionamos el hiperboloide, mediante un corte por un plano. Este plano es formado por mitad de las circunferencias

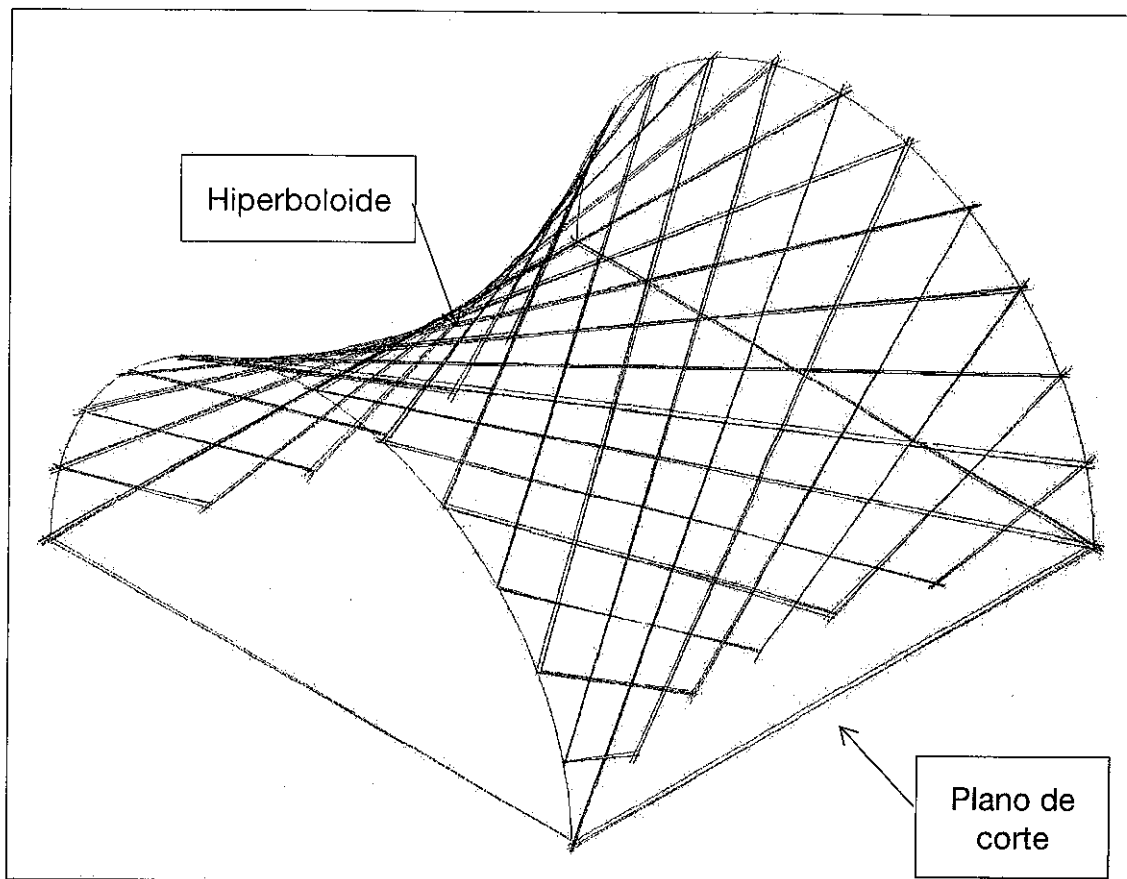


Ilustración 4 - 4to paso, corte por un plano.

La superficie generada se muestra a continuación.

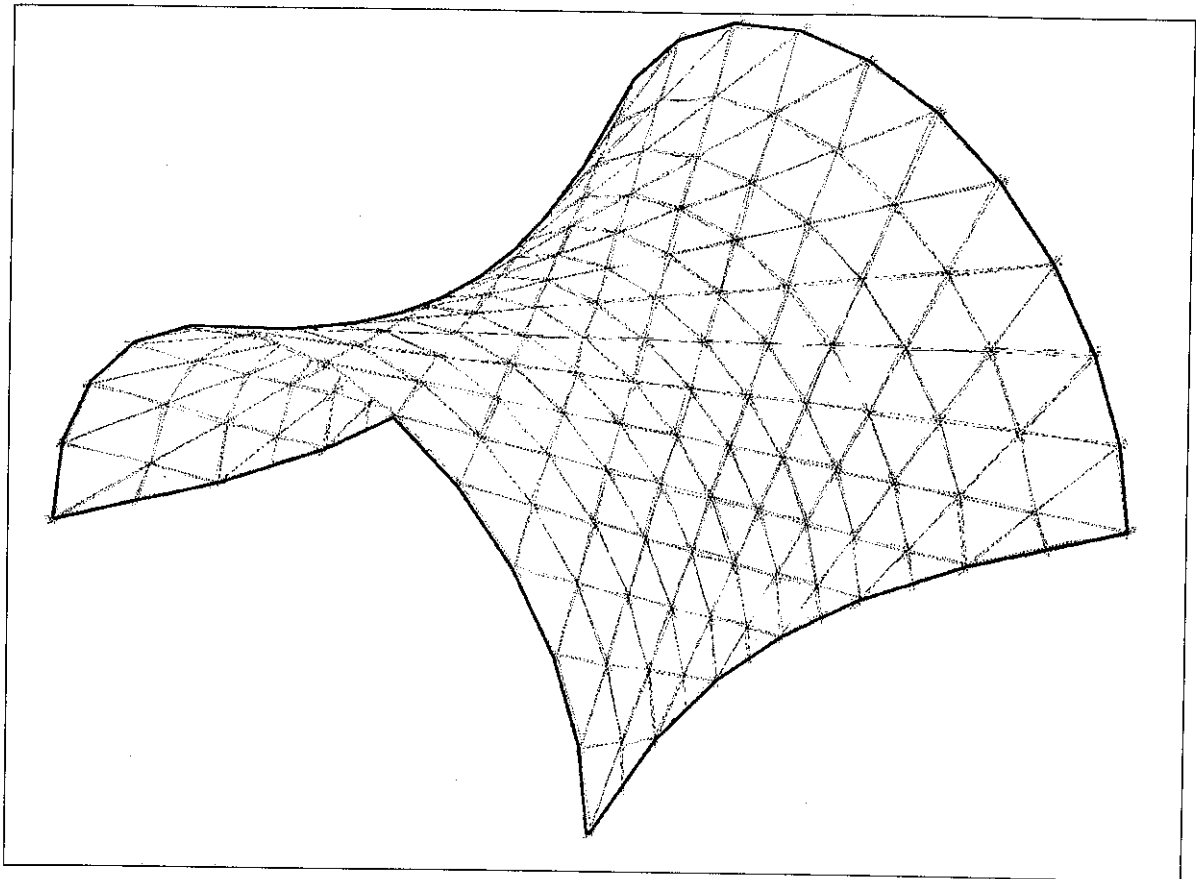


Ilustración 5 - Superficie generada.

Posteriormente y una vez obteniéndola la superficie podemos determinar cómo será la estructura del gridshell (cascarón reticular), el cual estará formado por:

- Dos arcos principales donde llegaran las barras,
- Las barras que forman la superficie.

El cascaron reticular o gridshell quedaría como a continuación se muestra.

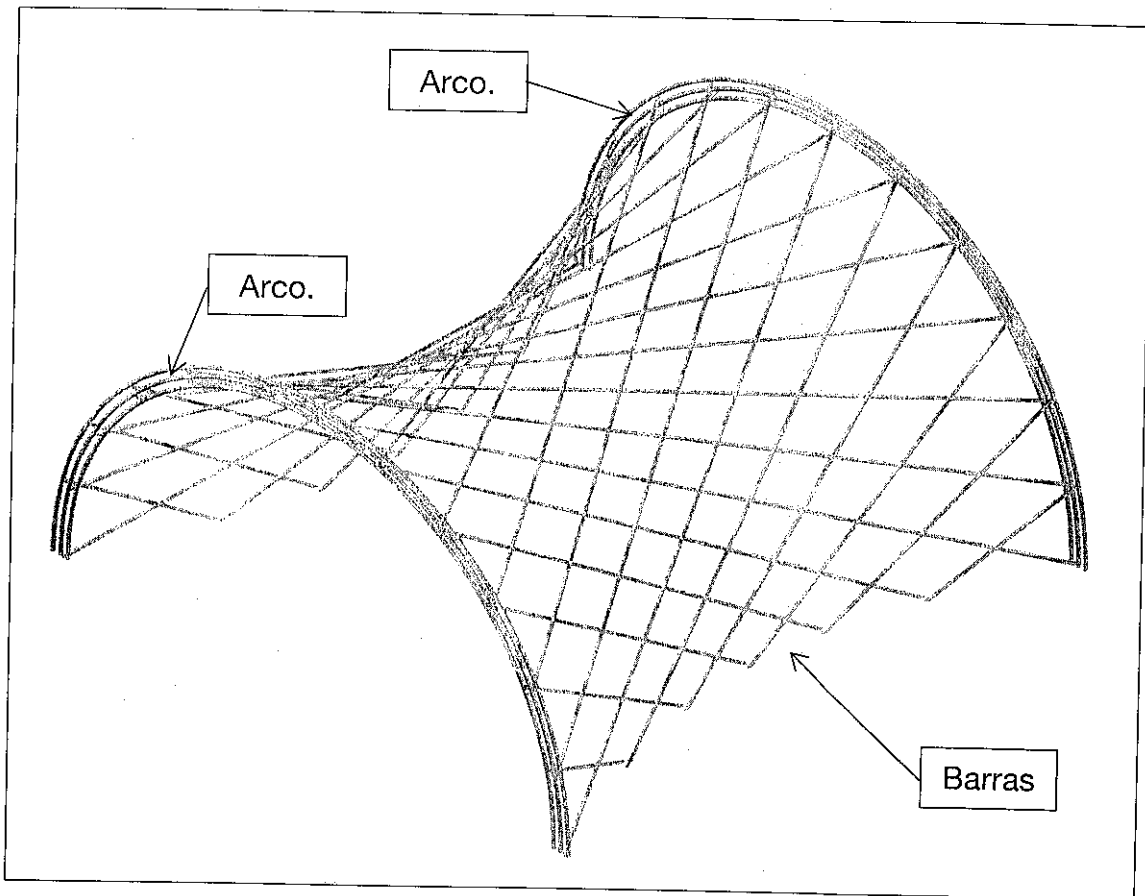


Ilustración 6 - Estructura de la cubierta.

Análisis de las curvas.

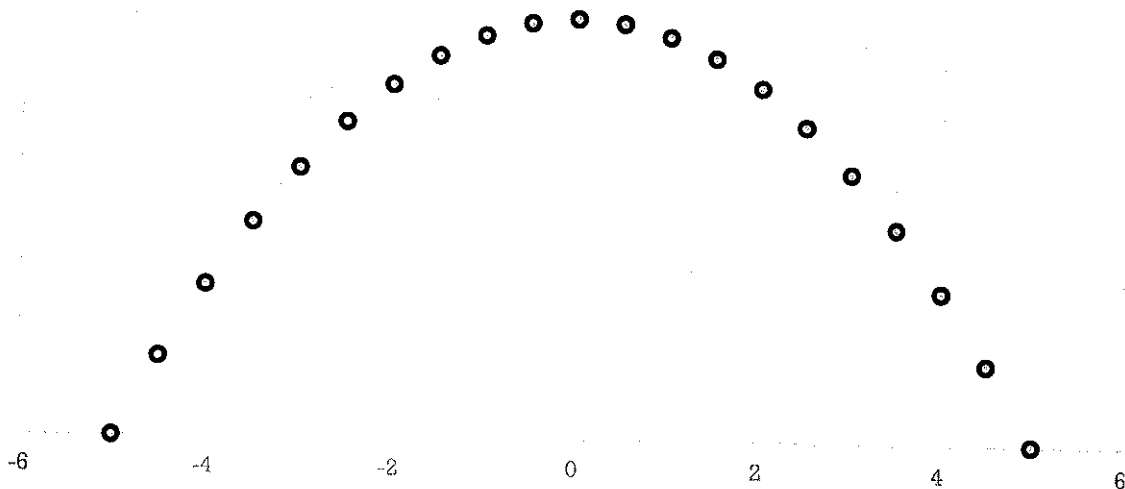
1.- Análisis parábola.

1.1.- Tabla de esfuerzos de la parábola.

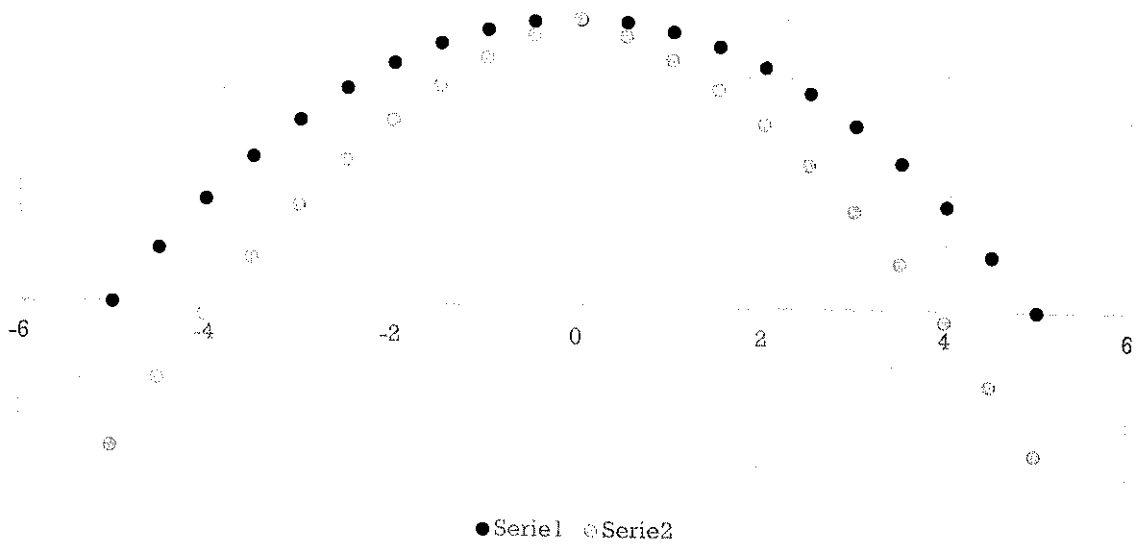
Punto	Distancia m	V= kg	Area kg/m ²	M kg m	Y _A m	Y _M m	e= m	e _r = m	M _{finales} kg m
0	5	-25.00	-11.88	-62.50	0.00	-5.00	-5.00	-7.50	93.75
1	4.50	-22.50	-10.63	-50.63	0.95	-4.05	-3.10	-5.60	70.00
2	4.00	-20.00	-9.38	-40.00	1.80	-3.20	-1.40	-3.90	48.75
3	3.50	-17.50	-8.13	-30.63	2.55	-2.45	0.10	-2.40	30.00
4	3.00	-15.00	-6.88	-22.50	3.20	-1.80	1.40	-1.10	13.75
5	2.50	-12.50	-5.63	-15.63	3.75	-1.25	2.50	0.00	0.00
6	2.00	-10.00	-4.38	-10.00	4.20	-0.80	3.40	0.90	-11.25
7	1.50	-7.50	-3.13	-5.63	4.55	-0.45	4.10	1.60	-20.00
8	1.00	-5.00	-1.88	-2.50	4.80	-0.20	4.60	2.10	-26.25
9	0.50	-2.50	-0.63	-0.63	4.95	-0.05	4.90	2.40	-30.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	2.50	-31.25
11	-0.50	2.50	0.63	0.63	4.95	0.05	4.90	-2.40	-30.00
12	-1.00	5.00	1.88	2.50	4.80	0.20	4.60	-2.10	-26.25
13	-1.50	7.50	3.13	5.63	4.55	0.45	4.10	-1.60	-20.00
14	-2.00	10.00	4.38	10.00	4.20	0.80	3.40	-0.90	-11.25
15	-2.50	12.50	5.63	15.63	3.75	1.25	2.50	0.00	0.00
16	-3.00	15.00	6.88	22.50	3.20	1.80	1.40	1.10	13.75
17	-3.50	17.50	8.13	30.63	2.55	2.45	0.10	2.40	30.00
18	-4.00	20.00	9.38	40.00	1.80	3.20	-1.40	3.90	48.75
19	-4.50	22.50	10.63	50.63	0.95	4.05	-3.10	5.60	70.00
20	-5.00	25.00	11.88	62.50	0.00	5.00	-5.00	7.50	93.75
V_(max)		-25.00	M_(max)=		-62.50		M_(max)=		-93.75

1.2.- Gráficas de esfuerzos de la parábola.

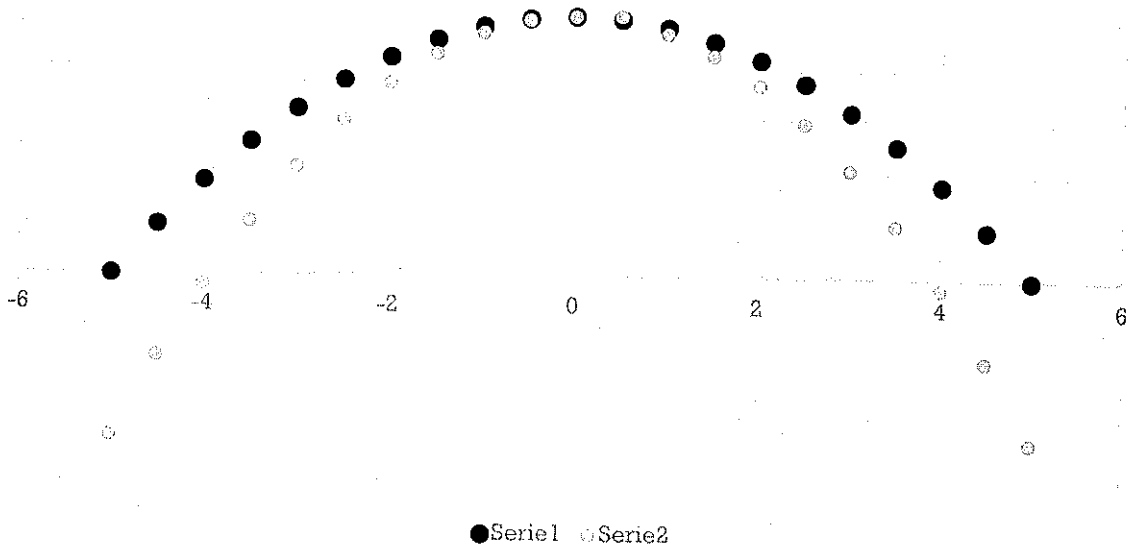
Geometría Parábola.



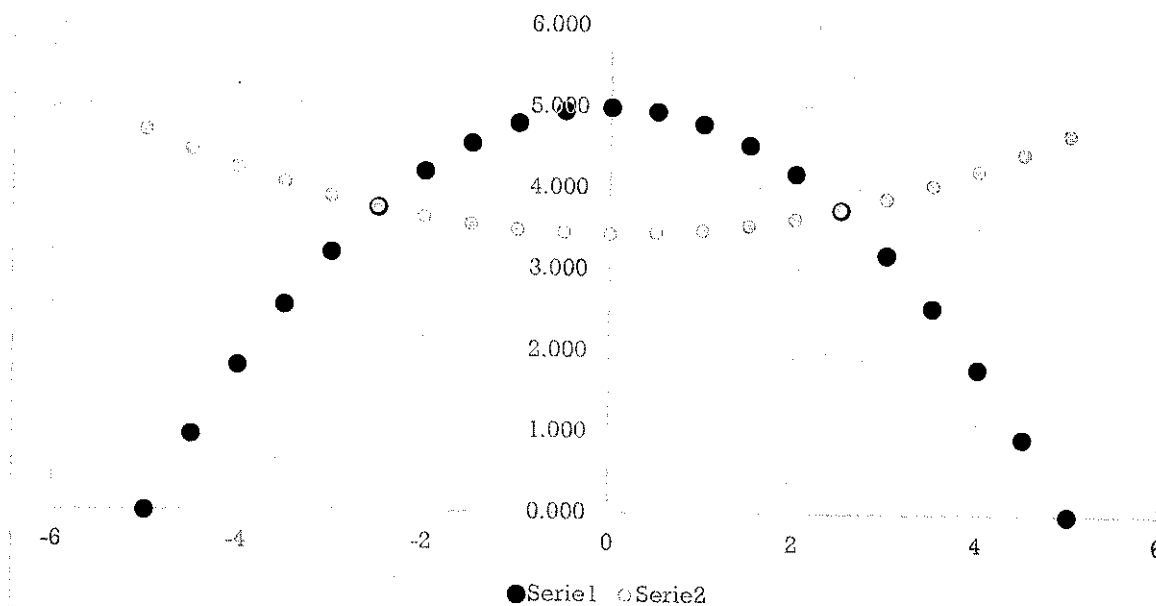
Cortantes Parábola.



Momentos Parábola.



Momentos finales Parábola.



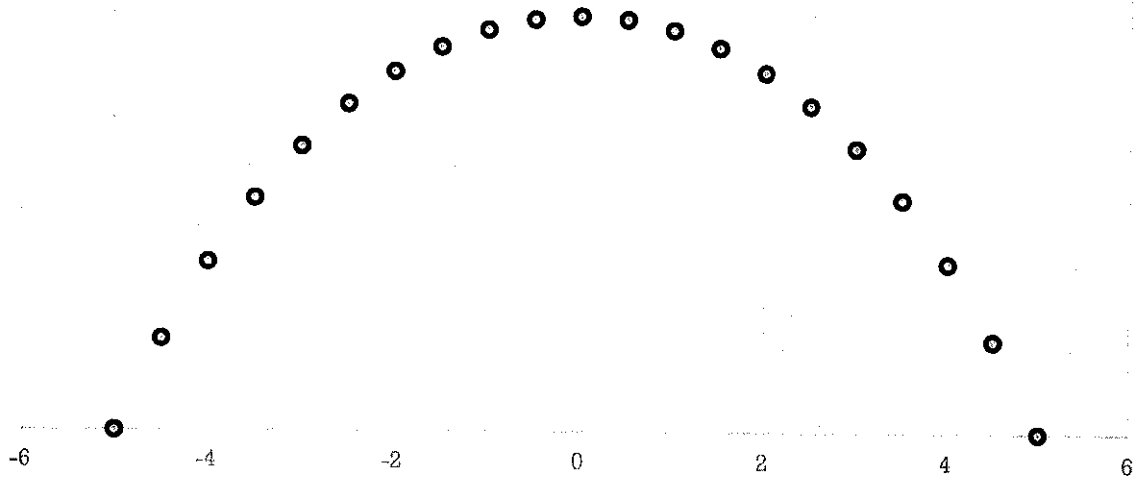
2.- Análisis de la catenaria.

2.1- Tabla de esfuerzos de la catenaria.

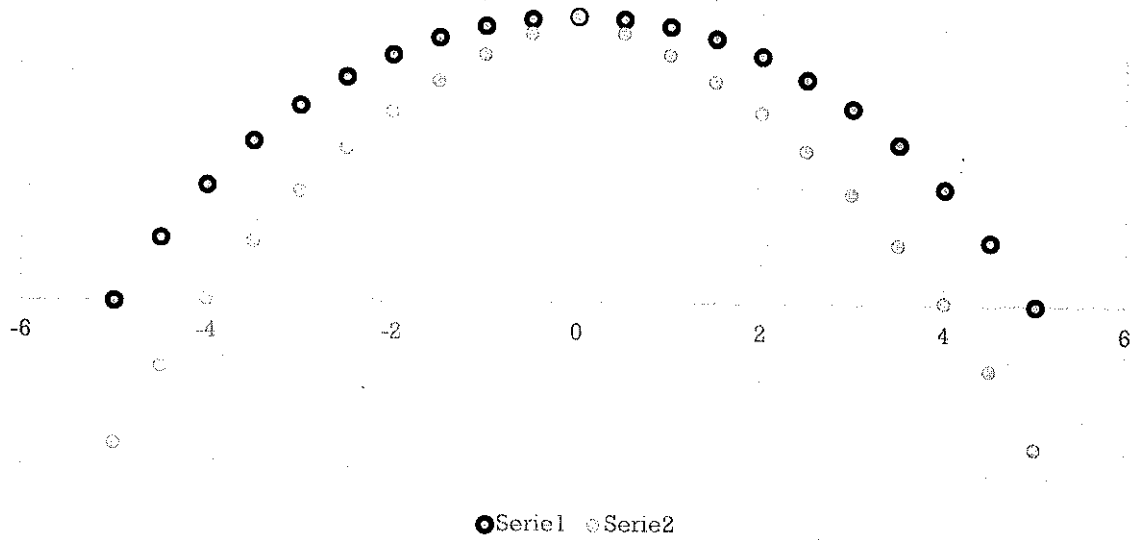
Punto	Distancia m	V= kg	Area kg/m ²	M kg m	Y _A m	Y _M m	e= m	e _r = m	M _{finales} kg m
0	5	25.00	11.88	62.50	8.09	-5.00	13.09	-6.55	81.83
1	4.50	22.50	10.63	50.63	6.99	-4.05	11.04	-4.49	56.11
2	4.00	20.00	9.38	40.00	6.06	-3.20	9.26	-2.71	33.92
3	3.50	17.50	8.13	30.63	5.29	-2.45	7.74	-1.20	14.96
4	3.00	15.00	6.88	22.50	4.67	-1.80	6.47	0.08	-1.01
5	2.50	12.50	5.63	15.63	4.16	-1.25	5.41	1.14	-14.21
6	2.00	10.00	4.38	10.00	3.76	-0.80	4.56	1.98	-24.79
7	1.50	7.50	3.13	5.63	3.46	-0.45	3.91	2.63	-32.90
8	1.00	5.00	1.88	2.50	3.26	-0.20	3.46	3.09	-38.62
9	0.50	2.50	0.63	0.63	3.13	-0.05	3.18	3.36	-42.03
10	0.00	0.00	0.00	0.00	3.09	0.00	3.09	3.45	-43.16
11	-0.50	-2.50	-0.63	-0.63	3.13	0.05	3.18	3.36	-42.03
12	-1.00	-5.00	-1.88	-2.50	3.26	0.20	3.46	3.09	-38.62
13	-1.50	-7.50	-3.13	-5.63	3.46	0.45	3.91	2.63	-32.90
14	-2.00	-10.00	-4.38	-10.00	3.76	0.80	4.56	1.98	-24.79
15	-2.50	-12.50	-5.63	-15.63	4.16	1.25	5.41	1.14	-14.21
16	-3.00	-15.00	-6.88	-22.50	4.67	1.80	6.47	0.08	-1.01
17	-3.50	-17.50	-8.13	-30.63	5.29	2.45	7.74	-1.20	14.96
18	-4.00	-20.00	-9.38	-40.00	6.06	3.20	9.26	-2.71	33.92
19	-4.50	-22.50	-10.63	-50.63	6.99	4.05	11.04	-4.49	56.11
20	-5.00	-25.00	-11.88	-62.50	8.09	5.00	13.09	-6.55	81.83
	V_(max)	-25.00	M_(max)	-62.50				M_(max)	-81.83

2.2.- Gráfica de esfuerzos de la catenaria.

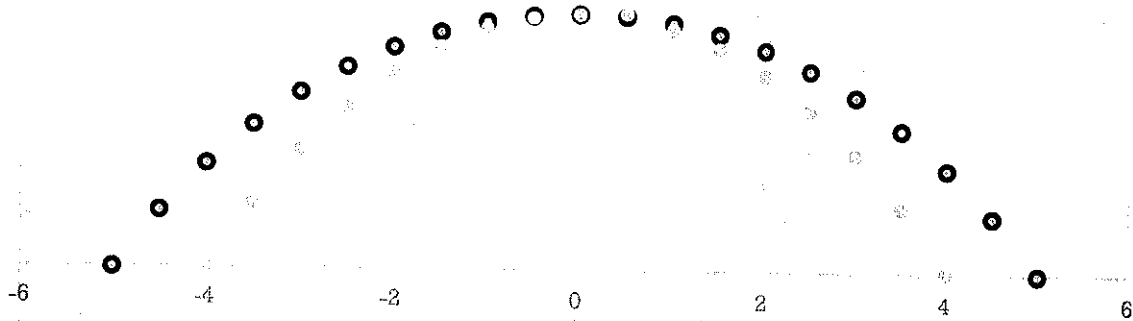
Geometría Catenaria.



Cortantes catenaria.



Momentos catenaria.



● Serie1 ○ Serie2

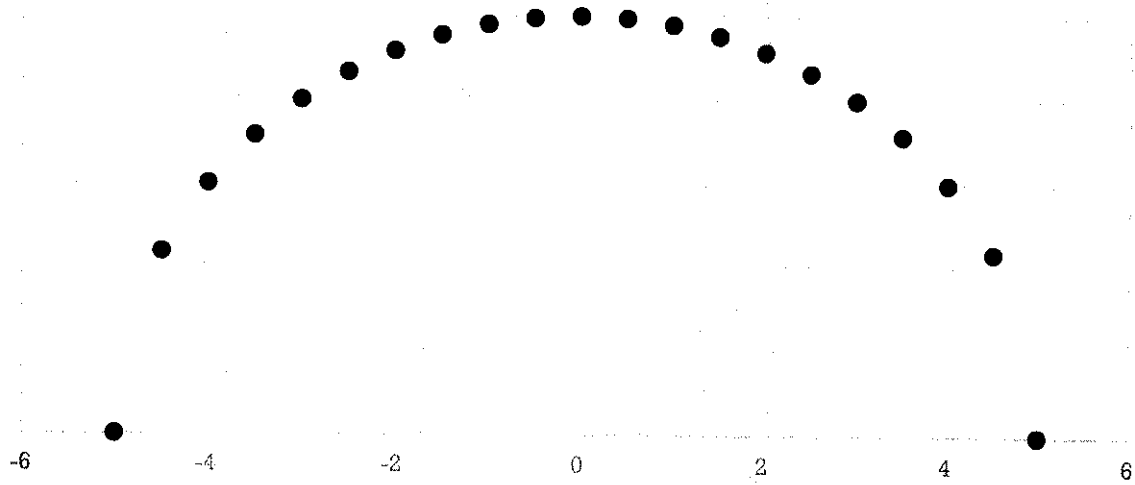
3.- Análisis del arco circular.

3.1.- Tabla de esfuerzos del arco circular.

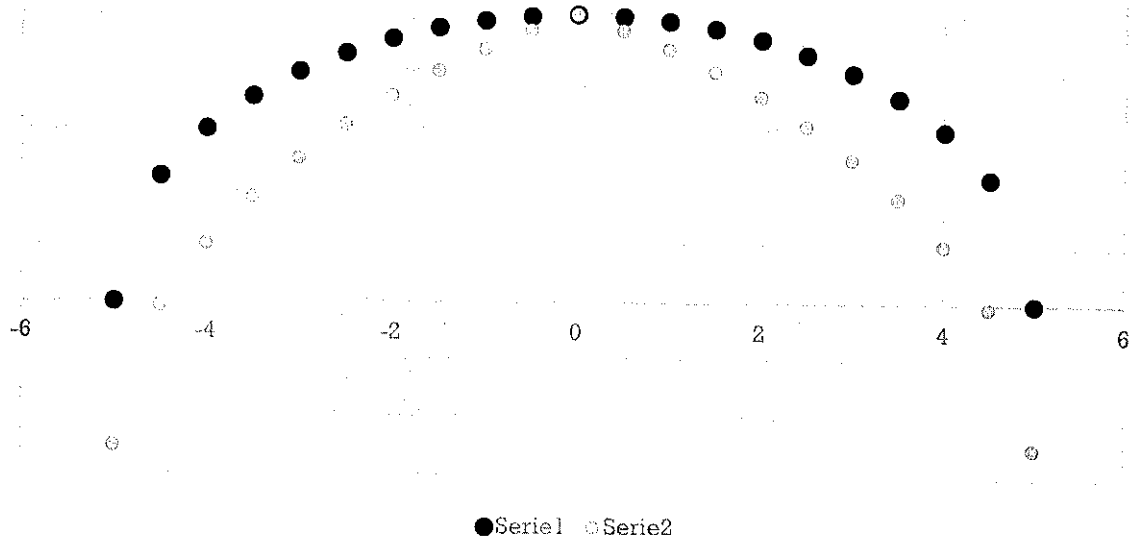
Punto	Distancia m	V= kg	Area kg/m ²	M kg m	Y _A m	Y _M m	e= m	e _f = m	M _{finales} kg m
0	5	-25.00	-11.88	-62.50	0.00	-5.00	-5.00	-7.50	93.75
1	4.50	-22.50	-10.63	-50.63	2.18	-4.05	-1.87	-4.37	54.63
2	4.00	-20.00	-9.38	-40.00	3.00	-3.20	-0.20	-2.70	33.75
3	3.50	-17.50	-8.13	-30.63	3.57	-2.45	1.12	-1.38	17.24
4	3.00	-15.00	-6.88	-22.50	4.00	-1.80	2.20	-0.30	3.75
5	2.50	-12.50	-5.63	-15.63	4.33	-1.25	3.08	0.58	-7.25
6	2.00	-10.00	-4.38	-10.00	4.58	-0.80	3.78	1.28	-16.03
7	1.50	-7.50	-3.13	-5.63	4.77	-0.45	4.32	1.82	-22.75
8	1.00	-5.00	-1.88	-2.50	4.90	-0.20	4.70	2.20	-27.49
9	0.50	-2.50	-0.63	-0.63	4.97	-0.05	4.92	2.42	-30.31
10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	2.50	-31.25
11	-0.50	2.50	0.63	0.63	4.97	0.05	4.92	-2.42	-30.31
12	-1.00	5.00	1.88	2.50	4.90	0.20	4.70	-2.20	-27.49
13	-1.50	7.50	3.13	5.63	4.77	0.45	4.32	-1.82	-22.75
14	-2.00	10.00	4.38	10.00	4.58	0.80	3.78	-1.28	-16.03
15	-2.50	12.50	5.63	15.63	4.33	1.25	3.08	-0.58	-7.25
16	-3.00	15.00	6.88	22.50	4.00	1.80	2.20	0.30	3.75
17	-3.50	17.50	8.13	30.63	3.57	2.45	1.12	1.38	17.24
18	-4.00	20.00	9.38	40.00	3.00	3.20	-0.20	2.70	33.75
19	-4.50	22.50	10.63	50.63	2.18	4.05	-1.87	4.37	54.63
20	-5.00	25.00	11.88	62.50	0.00	5.00	-5.00	7.50	93.75
	V _(max)	-25.00	M _(max) =	-62.50				M _(max) =	-93.75

3.2.- Gráfica de esfuerzos del arco circular.

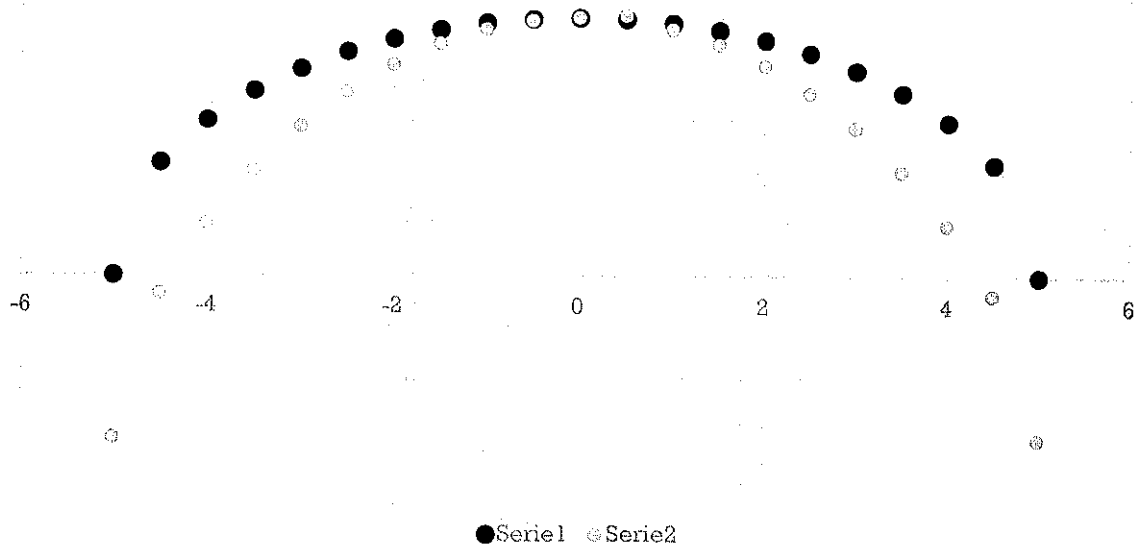
Geometría arco circular.



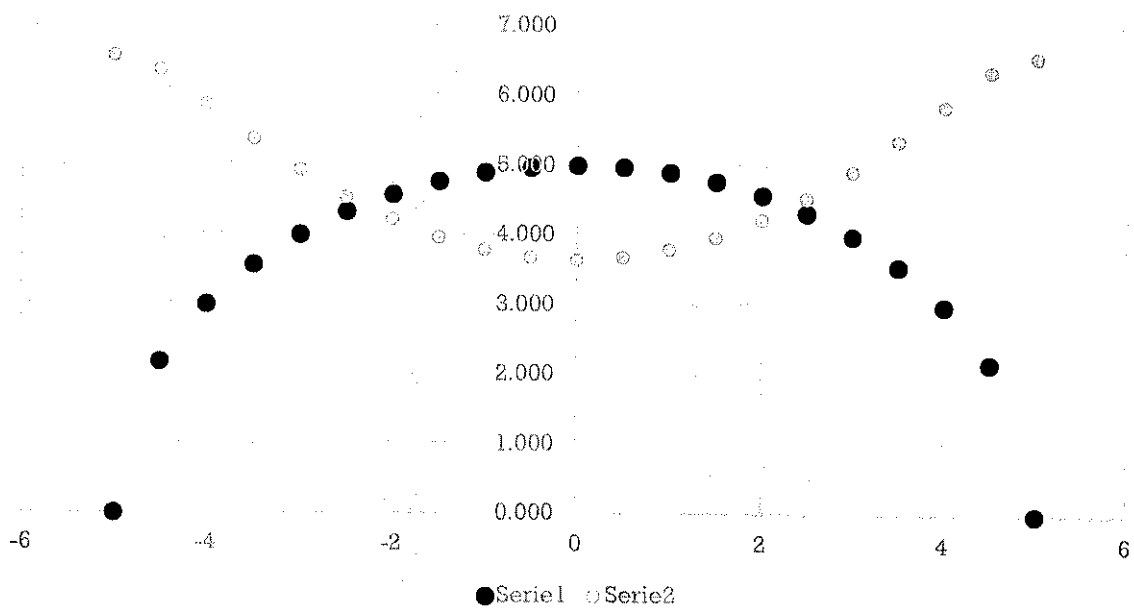
Cortantes arco circular.



Momentos arco circular.



Momentos finales arco circular.



Conclusiones sobre las curvas evaluadas:

Con los datos obtenidos en el cálculo de los elementos mecánicos internos para los diferentes tipos de curvas se evalúa el comportamiento de las curvas donde:

- En la catenaria se reducen los momentos finales en los empotramientos.
- En la parábola y en arco circular los momentos son iguales.
- La geometría de la catenaria respecto a los momentos en el empotre sería la mas eficiente debido a que los reduce.
- Por facilidad constructiva es más fácil trabajar y rolar arcos de circunferencia.

Con base en los resultados se optó por revisar en el programa STAAD PRO los desplazamientos de los distintos arcos.

5.- Análisis STAAD PRO.

5.1.- Desplazamientos parábola.

Desplazamientos parábola.				
Nodos	Desplazamiento horizontal. (mm)	Desplazamientos verticales. (mm)	Desplazamientos horizontales. (mm)	Resultante. (mm)
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.062	-0.065	0.000	0.090
3	-0.162	-0.151	0.000	0.222
4	-0.215	-0.211	0.000	0.302
5	-0.211	-0.228	0.000	0.311
6	-0.167	-0.207	0.000	0.266
7	-0.110	-0.160	0.000	0.194
8	-0.059	-0.103	0.000	0.119
9	-0.025	-0.052	0.000	0.058
10	-0.007	-0.017	0.000	0.018
11	0.000	-0.004	0.000	0.004
12	0.007	-0.017	0.000	0.018
13	0.025	-0.052	0.000	0.058
14	0.059	-0.103	0.000	0.119
15	0.110	-0.160	0.000	0.194
16	0.167	-0.207	0.000	0.266
17	0.211	-0.228	0.000	0.311
18	0.215	-0.211	0.000	0.302
19	0.162	-0.151	0.000	0.222
20	0.062	-0.065	0.000	0.090
21	0.000	0.000	0.000	0.000
Máximos desplazamientos	0.215	0.228	0.000	0.311

5.2.- Desplazamientos catenaria.

Desplazamientos catenaria.				
Nodos	Desplazamiento horizontal. (mm)	Desplazamientos verticales. (mm)	Desplazamientos horizontales. (mm)	Resultante. (mm)
1	0	0	0	0
2	0.861	0.353	0	0.931
3	1.858	0.863	0	2.049
4	2.179	1.048	0	2.418
5	1.912	0.815	0	2.079
6	1.363	0.253	0	1.386
7	0.793	-0.481	0	0.927
8	0.355	-1.231	0	1.281
9	0.101	-1.863	0	1.866
10	0.006	-2.28	0	2.28
11	0	-2.426	0	2.426
12	-0.006	-2.28	0	2.28
13	-0.101	-1.863	0	1.866
14	-0.355	-1.231	0	1.281
15	-0.793	-0.481	0	0.927
16	-1.363	0.253	0	1.386
17	-1.912	0.815	0	2.079
18	-2.179	1.048	0	2.418
19	-1.858	0.863	0	2.049
20	-0.861	0.353	0	0.931
21	0	0	0	0
Máximos desplazamientos	2.179	2.426	0.000	2.426

5.3- Desplazamientos arco circular.

Desplazamientos arco circulo.				
Nodos	Desplazamiento horizontal. (mm)	Desplazamientos verticales. (mm)	Desplazamientos horizontales. (mm)	Resultante. (mm)
1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.000	10.915	2.445	0.000	11.186
3.000	12.148	3.168	0.000	12.555
4.000	10.184	1.425	0.000	10.283
5.000	7.343	-1.904	0.000	7.586
6.000	4.638	-6.021	0.000	7.600
7.000	2.509	-10.259	0.000	10.561
8.000	1.084	-14.088	0.000	14.130
9.000	0.312	-17.106	0.000	17.109
10.000	0.026	-19.028	0.000	19.028
11.000	0.000	-19.687	0.000	19.687
12.000	-0.026	-19.028	0.000	19.028
13.000	-0.312	-17.106	0.000	17.109
14.000	-1.084	-14.088	0.000	14.130
15.000	-2.509	-10.259	0.000	10.561
16.000	-4.638	-6.021	0.000	7.600
17.000	-7.343	-1.904	0.000	7.586
18.000	-10.184	1.425	0.000	10.283
19.000	-12.148	3.168	0.000	12.555
20.000	-10.915	2.445	0.000	11.186
21.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Máximos desplazamientos	12.148	19.687	0.000	19.687

5.4.- Conclusiones de desplazamientos.

De acuerdo con los desplazamientos obtenidos en el programa STAAD PRO podemos resumir las siguientes manifestaciones:

- Se presentan mayores desplazamientos en el arco circular.
- Se presenta menores desplazamientos en la parábola.
- Se presentan mayores esfuerzos en la catenaria y en la parábola.
- Se presentan menores esfuerzos en la parábola.
- Por facilidad constructiva es más eficiente elaborar una circunferencia.
- De acuerdo a la generación de la forma se necesita la circunferencia.

Referencias

Adriaenssens S., Block, P., Veenendaal, D. and Williams, C.J.K. (2014). 'Shells for Architecture: structural form-finding and optimisation' Routledge: Taylor and Francis.

<http://www.tue.nl/en/university/departments/built-environment/research/units/structural-design/education/final-thesis/projects/isd/optimization-form-and-grid-gridshell/>

<http://matsysdesign.com/2012/04/13/sg2012-gridshell/>

<http://gridshell-comalle.blogspot.mx/p/estructura.html>

<http://shells.princeton.edu/Mann1.html>

-Manual de construcción con bambú, Hidalgo López, Oscar, Construcción rural.

-“Ensayos experimentales de armaduras planas de bambú bajo cargas verticales”, Chávez Mejía Erick Francisco, UAM Azcapotzalco, 2013.

-The modernization of bamboo in the industrial context, pg. 99,chapter 4, Universitat Duisburg-Essen, Xiaobing Yu, 2007. <http://d-nb.info/987409050/34>

-<http://conciencia-sustentable.abilia.mx/arquitectura-en-bambu-la-obra-de-simon-velez/>

-<http://bambus.rwth-aachen.de/eng/reports/il31/gd.html>



ARUSE

SACD/CYAD/460/19
12 de septiembre de 2019

Dr. Edwing Antonio Almeida Calderón
Encargado del Departamento de
Procesos y Técnicas de Realización
Presente

Asunto: Observaciones al primer reporte del Proyecto N-442.

Por este conducto, le comento que la *Comisión encargada de la revisión, registro y seguimiento de los proyectos, programas, grupos de investigación, así como de proponer la creación, modificación, seguimiento y supresión de áreas de investigación, para su trámite ante el órgano colegiado correspondiente*, realizó en enero y julio de este año las siguientes observaciones al primer reporte del Proyecto N-442 Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental y cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas, a cargo de la Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves, mismas que no han sido atendidas a la fecha:

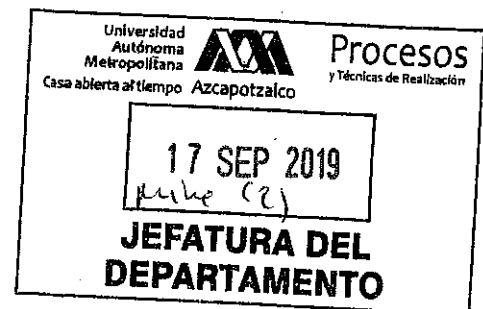
- Completar el informe dando cumplimiento a los siguientes puntos contenidos en el numeral 3.1.4.1 de los Lineamientos de Investigación.
- Resumen de la propuesta.
- Desarrollo o estado de avance, el cual deberá referirse también en términos porcentuales.

Para continuar con el trámite, le agradeceré dar respuesta y enviarla a la Oficina Técnica del Consejo Divisional.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente
Casa abierta al tiempo


Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas
Secretario



c.c.p. Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves. Profesora del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización.



SACD/CYAD/287/19

1 de julio de 2019

Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves
Profesora del Departamento de
Procesos y Técnicas de Realización
Presente

Asunto: Observaciones al primer reporte del
Proyecto N-442 Optimización de
materiales con base en la
sustentabilidad e impacto ambiental y
cubiertas reticulares de doble curvatura
de bambú para zonas templadas.

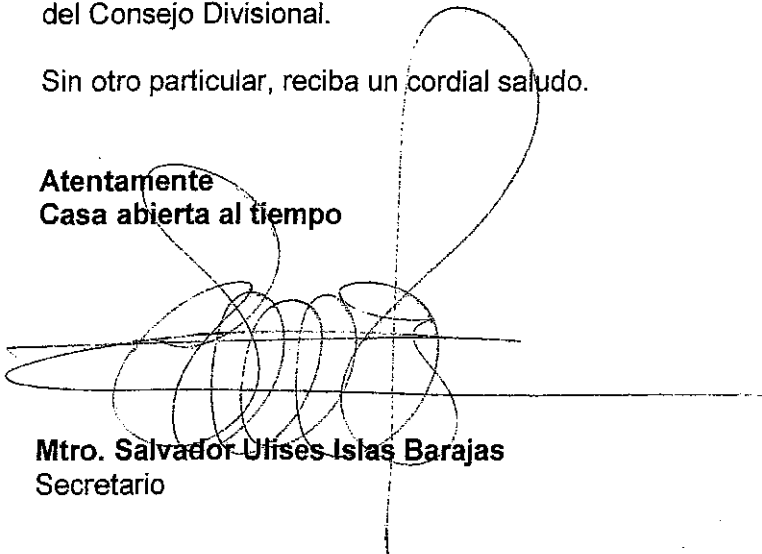
Por este conducto, le recuerdo que la *Comisión encargada de la revisión, registro y seguimiento de los proyectos, programas, grupos de investigación, así como de proponer la creación, modificación, seguimiento y supresión de áreas de investigación, para su trámite ante el órgano colegiado correspondiente*, realizó en enero de este año las siguientes observaciones al primer reporte del Proyecto N-442 Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental y cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templada:

- Completar el informe dando cumplimiento a los siguientes puntos contenidos en el numeral 3.1.4.1 de los Lineamientos de Investigación.
- Resumen de la propuesta.
- Desarrollo o estado de avance, el cual deberá referirse también en términos porcentuales.

Para continuar con el trámite, le agradeceré dar respuesta y enviarla a la Oficina Técnica del Consejo Divisional.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente
Casa abierta al tiempo



Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas
Secretario

Angeles
LINA A. GONZ. LOPEZ, 01 JUL 19 15:56

Dr. Edwing Antonio Almeida Calderón
Encargado del Departamento de
Procesos y Técnicas de Realización
Presente

Asunto: Observaciones al primer reporte del Proyecto N-442 Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental y cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas.

Por este conducto, le informo que la *Comisión encargada de la revisión, registro y seguimiento de los proyectos, programas, grupos de investigación, así como de proponer la creación, modificación, seguimiento y supresión de áreas de investigación, para su trámite ante el órgano colegiado correspondiente*, ha realizado las siguientes observaciones al primer reporte del Proyecto N-442 Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental y cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templada:

- Completar el informe dando cumplimiento a los siguientes puntos contenidos en el numeral 3.1.4.1 de los Lineamientos de Investigación.
- Resumen de la propuesta.
- Desarrollo o estado de avance, el cual deberá referirse también en términos porcentuales.

Sin otro particular, reciban un cordial saludo.

Atentamente
Casa abierta al tiempo


Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas
Secretario

c.c.p. Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves. Profesora del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización.

División de Ciencias y Artes para el Diseño
Departamento de Procesos y Técnicas de Realización

04 de diciembre, 2018.

PT/JEFATURA/CYAD/093/2018

4/12/18
[Signature]

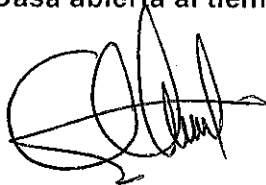
Dr. Marco V. Ferruzca Navarro
Presidente H. Consejo Divisional
Ciencias y Artes para el Diseño
P r e s e n t e.

Por este medio, solicito a usted tenga a bien presentar al H. Consejo Divisional de Ciencias y Artes para el Diseño que usted preside, el primer reporte del Proyecto de Investigación **N-442 "Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental y cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas. Caso de estudio Gridshell con bambú."**, bajo responsabilidad de la Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves.

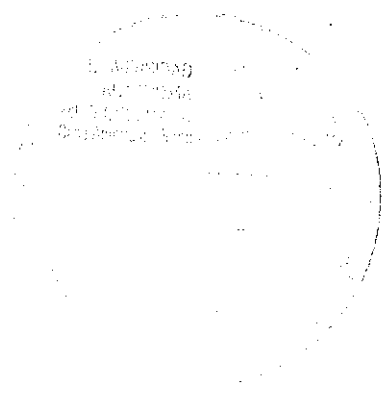
Cabe indicar que dicho proyecto forma parte del programa de investigación *P-059 Sistemas de estructuras ligeras* del Grupo de Investigación Estructuras Ligeras, de este departamento.

Sin más por el momento, reciba usted un cordial saludo.

Atentamente
Casa abierta al tiempo



Dr. Edwing A. Almeida Calderón
Encargado del Departamento de Procesos y Técnicas de Realización



Ciudad de México a 30 de noviembre del 2018

Dr. Edwing A. Almeida Calderón
Encargado del Departamento de Procesos y
Técnicas de Realización
Presente,

Por este medio hago entrega del primer reporte y avances del proyectos de investigación "*N-442 Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental en cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas temporaladas. Caso de estudio Gridshell con bambú*", bajo responsabilidad de la Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves, mismo que fue registrado ante el Consejo Divisional el 02 de febrero del 2018, como parte del programa de investigación *P-059 Sistemas de Estructuras Ligeras*.

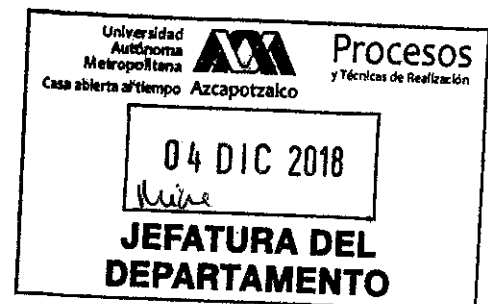
Igualmente le solicito se lleven a cabo los trámites necesarios que sea presentado ante el H. Consejo Divisional.

Sin más por el momento me despido, reciba un cordial saludo.

Atentamente,
Casa abierta al tiempo

~~Mtra. María Teresa Bernal Arciniega~~
Responsable del Grupo de Investigación de
Estructuras Ligeras

c.c.p. archivo.



Ciudad de México, a 28 de noviembre de 2018.

Mtra. María Teresa Bernal Arciniega
Responsable del Grupo de investigación Sistemas de Estructuras ligeras.
Presente

Adjunto a la presente, le hago entrega del primer reporte y avances del proyecto de investigación N-442 Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental en cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas. Caso de estudio Gridshell con bambú, mismo que fue registrado ante el consejo divisional el 02 de febrero de 2018.

Los avances que se adjuntan corresponden al 30% de la totalidad del programa, un ajuste parcial al calendario del proyecto, un resumen sintético de actividades y redacción del trabajo realizado.

Solicito atentamente ser enviados al H. Consejo divisional.

Agradezco su atención

Atentamente

Casa abierta el tiempo



Mtra. Dolores Yolanda Neri Aceves
Profesor investigador del departamento de Procesos y Técnicas de Realización
Responsable del proyecto

1er. Reporte de investigación, un avance del 30% del programa del proyecto.
Programa de investigación P-059 "Sistemas de estructuras ligeras"

Proyecto #N442 Optimización de materiales con base en la sustentabilidad e impacto ambiental y cubiertas reticulares de doble curvatura de bambú para zonas templadas.

Caso de estudio: Gridshell con bambú.

Mtra. Yolanda Neri Aceves
Responsable del proyecto
No. Económico 26562
Departamento de Procesos y Técnicas de Realización
Diciembre 2018

- **Introducción.**

El siguiente documento sintetiza los avances que ha tenido el proyecto en el periodo que abarca los trimestres 18-I, 18-P y 18-O. El informe resume la organización del plan, así como los avances en tiempos.

- **Organización del plan 2018.**

Actividad: Definición del protocolo y propuesta de investigación.

Participantes: Mtra. Yolanda Neri Aceves, D.I. Guillermo de Jesús Martínez Pérez, Mtro. Carlos García Malo Flores, Dr. Luis Alfonso Peniche Camacho, D.I. Aarón Illescas Serrano.

Periodo: Febrero-marzo

Avance o resultados: Protocolo definitivo de la Investigación.

Actividad: Se realizó presupuesto de bambú para la primera etapa

Participantes: Mtra. Yolanda Neri Aceves

Periodo: Marzo-Abril

Avance o resultados: No se aprobó el presupuesto.

Actividad: Recolección de datos para generar una sustentación teórica y metodológica para ser usada, conforme vaya avanzando el proyecto.

Participantes: Mtro. Carlos García Malo Flores, Dr. Luis Alfonso Peniche Camacho, Mtra. Yolanda Neri Aceves

Periodo: Mayo-Julio

Avance o resultados: Marco teórico de referencia. 10%

Actividad: -----

Participantes: -----

Periodo: Agosto

Avance o resultados: -----

Actividad: Recolección de datos para generar una sustentación teórica y metodológica para ser usada, conforme vaya avanzando el proyecto.

Participantes: Mtro. Carlos García Malo Flores, Mtra. Yolanda Neri Aceves

Periodo: Septiembre-Octubre

Avance o resultados: Marco teórico de referencia 30%.

Actividad: Evaluación de la forma con distintas curvas para la definición de la cubierta.

Participantes: Mtra. Yolanda Neri Aceves

Periodo: Octubre-Noviembre

Avance o resultados: Se determinó que tipo de geometría se empleará para el desarrollo de la cubierta.

Actividad: Elaboración de informe anual de actividades del proyecto.

Participantes: D.I. Guillermo de Jesús Martínez Pérez, Mtro. Carlos García Malo Flores, Dr. Luis Alfonso Peniche Camacho, D.I. Aarón Illescas Serrano, Mtra. Yolanda Neri Aceves.

Periodo: Diciembre

Avance o resultados: Entrega del informe anual de actividades del proyecto.

- **Productos de trabajo generado hasta el momento.**

Avance de la información.

- Introducción
- Antecedentes
- Marco teórico conceptual
- Análisis estructural simple para evaluar las curvas que conforman la geometría de la cubierta y determinación de la óptima para el sistema.

Como antecedente al proyecto de investigación, hubo participación en diferentes eventos de Cyad investiga donde se dio a conocer las características principales que se deben considerar para el uso de las cubiertas reticuladas y sus ventajas en los proyectos de arquitectura. Esto derivó en la propuesta y desarrollo del protocolo del proyecto.

Actividad: Participación dentro del evento Cyad investiga en 2016. Cubierta sustentable de doble curvatura, reticulada y eficiente estructuralmente. Caso de estudio: Gridshell con bambú.

Participantes: Mtra. Yolanda Neri Aceves, Mtra. María Teresa Bernal, D.I. Guillermo de Jesús Martínez, Arq. Ana Karen Gutiérrez, D.I. Aarón Illescas Serrano, Mtro. Ernesto Noriega Estrada, Mtra. Susana García Lory.

Periodo: 04 al 15 de julio 2016

Resultados: Antecedentes.

Actividad: Participación dentro del evento Cyad investiga en 2017. Optimización de cubierta reticular de doble curvatura reticulada de bambú.

Participantes: Mtra. Yolanda Neri Aceves, Mtro. Carlos García Malo Flores, Dr. Luis Alfonso Peniche Camacho, D.I. Guillermo de Jesús Martínez, Arq. Ana Karen Gutiérrez, D.I. Aarón Illescas Serrano, Mtro. Ernesto Noriega Estrada, Mtra. Susana García Lory.

Periodo: 03 al 14 de julio 2017

Resultados: Antecedentes.

- **Infografía.**



"Cubierta sustentable de doble curvatura, reticulada y eficiente estructuralmente. Caso de estudio. GridShell con Bambú"

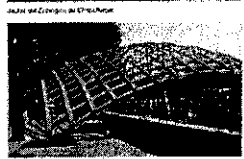
14-000

Introducción

Las GridShells son estructuras de forma curva, es decir, tienen la geometría de una esfera y se utilizan para cubrir grandes áreas con poca luz solar directa. En el caso de la cubierta de la casa de estudio, se trata de una estructura de bambú que se utiliza para cubrir una gran zona con poca luz solar directa.

Esta investigación es de gran importancia para el desarrollo de la construcción sostenible y para el desarrollo de proyectos innovadores.

Introducción
GridShells are shape-retaining light structures. It is a type of the design of these systems is important to find an optimal geometry and structure that meets the needs of the project and the site.



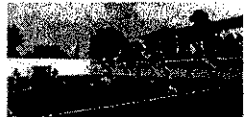
Una de las GridShells en el sitio de estudio.

Objetivo General

Evaluar la eficiencia del comportamiento mecánico en una cubierta reticulada de forma esférica, así como la capacidad estructural y sostenibilidad ambiental para ser utilizada en proyectos innovadores, considerando como material de construcción el bambú para lo cual se desarrollará la instalación de puntas especiales.

Objetivos Específicos

1. Definir la estructura de la cubierta reticulada de forma esférica que se utilizará en el proyecto.
2. Experimentar con diferentes materiales en el bambú para encontrar la mejor opción. Analizar la instalación de puntas especiales para determinar la capacidad de carga de la estructura.
3. Analizar la eficiencia estructural y constructiva de la cubierta reticulada de forma esférica con bambú en el sitio de estudio.

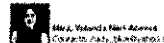


Completar la estructura de la cubierta reticulada de forma esférica.



Material de bambú utilizado en la construcción de la cubierta reticulada de forma esférica.

Universidad de la Guayana



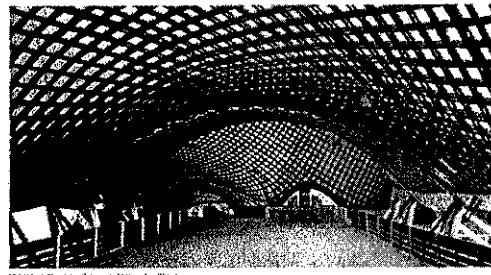
María Wilson y María Álvarez
Correos: maria.wilson@uniguayana.edu.ve

Metas

Apoyar a las personas de las comunidades en el desarrollo de proyectos de construcción sustentables y innovadores que permitan mejorar la calidad de vida y el bienestar de las comunidades, como es el caso de la casa de estudio.

Productos

El resultado de este proyecto es una cubierta reticulada de forma esférica que se utilizará en el sitio de estudio. Este producto es innovador y sostenible, ya que utiliza bambú como material de construcción.



Una de las GridShells en el sitio de estudio.

Fuentes de Información
Bibliografía: Wilson, M. y Álvarez, M. (2014). GridShells: Estructuras reticuladas de forma esférica para el desarrollo sustentable. Universidad de la Guayana, Guayana, Venezuela.
Carr, A. (2010). GridShells: Estructuras reticuladas de forma esférica para el desarrollo sustentable. Universidad de la Guayana, Guayana, Venezuela.
Carr, A. (2010). GridShells: Estructuras reticuladas de forma esférica para el desarrollo sustentable. Universidad de la Guayana, Guayana, Venezuela.

- Fuentes consultadas.
- ✓ Por temática
 - Web
 - Congresos
 - Simposio
 - Libros
 - Empresas

- **Conclusiones Parciales:**

- El avance de la parte del marco teórico del proyecto va a un 30 % y se sigue recabando más información por medio de investigación de campo, las primeras pruebas en los materiales base para los modelos de prueba (madera, aluminio, acero, bambú, entre otros materiales)
- Se ha determinado el tipo de geometría a desarrollar para la cubierta e iniciar las pruebas a escala como punto de partida (avance a un 15%)
- Se hizo el presupuesto de todos los materiales propuesto y por cuestiones administrativas no procedió en tiempo y forma, quedando el antecedente para en el año 2019 solicitar en partes los materiales por orden de prioridad a fin de contar con estos para los modelos de prueba e ir desarrollando la propuesta resultante de este mismo trabajo experimental.
- se ha ido aportando información del proyecto a asignaturas de la curricula de arquitectura, especifico a las asignaturas de Sistemas Constructivos y Estructurales, análisis Estructura y Diseño Estructural, con la generación de ejemplos y ampliar los casos de estudio a ser aplicados en estas mismas materias.

Introducción.

Actualmente en la UAM-Azcapotzalco se tienen contemplados diversos eventos que necesitan de espacios efímeros para el desarrollo de actividades frecuentes o de exposiciones al aire libre, que requieren ser cubiertos, debido al clima tan cambiante en la Ciudad de México donde existen variadas épocas de lluvia y una incidencia solar importante.

El principal inconveniente que tienen las cubiertas en México, principalmente es que su costo es elevado o no son de buena calidad y los sistemas constructivos poseen un alto impacto ambiental.

Se pretende cubrir con el proyecto un espacio arquitectónico de dimensiones considerables con el fin de lograr un pabellón de exposiciones temporal que pueda eventualmente crecer y pueda ser una solución viable tanto económica como social.

Una estructura es eficiente si trabaja con esfuerzos axiales, para lograrlo en el diseño se debe buscar una geometría óptima y elegir el material adecuado para que mecánicamente trabaje por forma y como consecuencia los esfuerzos se reducen.

Los gridshell son estructuras ligeras y sus principales ventajas son: que libran grandes claros con el menor material. Se considerará importante evaluar una estructura de éste tipo con barras de bambú (*bambusa olhamii*), debido a que es un material poco probado y es deseable verificar que tiene un buen comportamiento estructural y sísmico, además por ser un material de bajo impacto ambiental.

En el laboratorio de cubiertas ligeras de la unidad se ha incursionado en el estudio de modelos semejantes a la cubierta reticulada, como el proyecto para zoológico de Chapultepec dirigida por el Arq. Francisco Montero López.

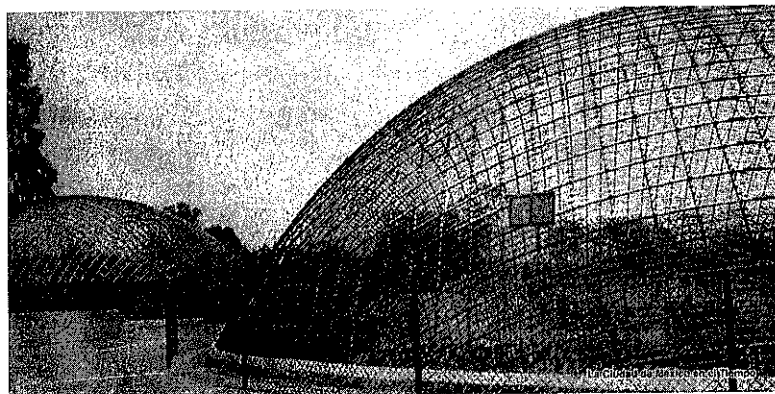


Fig. 1 Jaulas del zoológico de Chapultepec.

Para los alumnos en la carrera de arquitectura sería de gran importancia porque tendrían más elementos para el desarrollo de propuestas innovadoras.

Objetivo general.

El objetivo de la investigación de estructuras gridshells en el laboratorio de cubiertas ligeras es evaluar la eficiencia de los cascarones reticulares por forma, así como la eficiencia económica y su funcionalidad estructural para grandes claros empleando como material de construcción el bambú, para esto se desarrollaran prototipos y sus conexiones.

Objetivos específicos.

- 1.- Determinar mediante análisis estructural la eficiencia de las distintas curvas existentes, circunferencia, catenaria y parábola, cual es la más óptima para desarrollar este tipo de sistema.
- 2.- Experimentar con diversas conexiones para el bambú, se buscará desarrollar la más óptima y como sería la transmisión de cargas al subsuelo, esto significa el desarrollo de una cimentación o algún tipo de anclaje para que esta estructura se puede desmontar y llevar a otro lado.
- 3.- Se evaluará la eficiencia económica mediante la comparación de una estructura de misma forma, una de bambú y otra de acero, para así observar cual es la más conveniente.
- 4.- Se evaluará su desempeño en la construcción mediante la comparación de una estructura de acero y la de bambú, cuales son los tiempos en los que se ejecutarían ambas.
- 5.- Realización de prototipo (maqueta) ó modelo tridimensional que nos permita observar el proceso constructivo y evaluar el comportamiento estructural.

ANTECEDENTES

El ingeniero ruso Vladimir Shukhov fue uno de los pioneros en desarrollar este tipo de estructuras a finales del siglo XIX, construyó torres de gran altura generadas con líneas rectas entrecruzadas, que formaban hiperboloides de revolución. En 1920 Walther Bauersfeld realizó el primer domo geodésico como cimbra para un planetario en Alemania, y subsecuentemente Buckminster Fuller comenzó a popularizar esta forma en los años 50's.

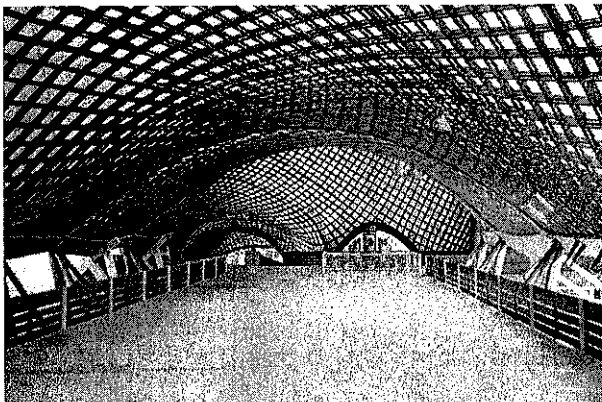
El gridshell es una estructura en la que el caparazón ó cascarón (shell) se une a la de una retícula (grid). La estructura se prepara en plano tejiendo los elementos que la componen y forzándolos a asumir su posición final. Los tableros se entrecruzan

formando mallas cuadradas planas, que luego se deforman y flexionan para dar origen a mallas romboidales. La estructura arquitectónica adquiere su forma definitiva con la colocación de refuerzos diagonales constituidos por otros elementos de madera o por cables de acero.

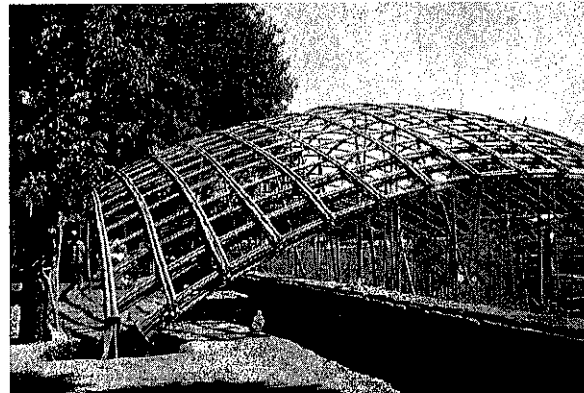
Hay un número infinito de desplantes posibles para la generación de la malla (grid) reticular de forma libre. Algunos de los más comunes son variaciones del rectángulo pero también triángulos, estrellas, óvalos y otras formas posibles. El primer ejemplo de gridshell se tuvo en el Multihalle de Mannheim diseñado por Frei Otto y terminado en 1975. En Italia se han realizado alrededor de ocho gridshell y la particularidad de la estructura de Selinunte está en que por primera vez se ha empleado madera de pino con nuevos sistemas de nudo.

El sistema tipo gridshell permite la construcción de formas curvas geoméricamente complejas basándose en la capacidad de deformación elástica de los materiales y la rigidez de sus elementos de conexión. El gridshell posee la característica de ser auto soportante siempre y cuando la forma esté limitada a cúpulas puras.

Una de las instituciones pioneras en particular el grupo de investigación conformado por profesores y estudiantes de las facultades de Arquitectura y de Ingeniería de la UNAM, cuyo objetivo es promover y difundir el uso del bambú como un material estructural sustentable y confiable.



Multihalle de Mannheim, Cubierta de madera. Frei Otto. (Alemania)



UNAM, Cubierta de bambú, Bambuver A.C. (México, DF.)

Una de las especies más explorada en el ámbito de la construcción es la guadua angustifolia. La guadua, es el bambú gigante de América, es una planta de rápido crecimiento, y condiciones de sostenibilidad, versatilidad, liviandad, resistencia, flexibilidad, fácil manejo, sus características han convertido, a esta gramínea, en protagonista de la evolución de la cultura americana, en donde México presenta 39 especies leñosas.

Marco teorico.

Sobre el Bambú

Comparado con un árbol, los bambúes en general, son de rápido crecimiento y de mayor productividad. Por lo general, el ciclo de crecimiento de un bambú constituye una tercera parte del ciclo de un árbol de rápido crecimiento, y su productividad por hectárea es dos veces la del árbol. Además, los bambúes emergen del suelo con su diámetro establecido sin presentar incrementos en el diámetro con el tiempo como sucede con los árboles. El diámetro máximo reportado para guadua es de 25 cm y el promedio de 9 a 13 cm.

El bambú es un recurso natural que no se puede estandarizar.

El comportamiento del bambú puede variar mucho con respecto a la especie, al sitio donde crece, a la edad, al contenido de humedad y a la parte del culmo o de la sección que uno este utilizando.

Se necesita un buen mantenimiento para la durabilidad.

El bambú es una buena opción como un material de construcción por sus propiedades físicas.

Es un material que permite aligerar el peso a la construcción y es un factor muy importante para construcciones sismo resistentes.

Sus fibras exteriores la hacen muy resistente a fuerzas axiales.

La relación entre peso - carga máxima y su forma tubular apto para fuerzas axiales lo convierten en un material adecuado para estructuras espaciales en donde trabajan solamente dichas fuerzas axiales.

El rápido crecimiento del bambú lo hace económicamente muy competitivo.

+ En el contexto ecológico el uso del bambú juega un papel muy importante.

El bambú es un recurso renovable y sostenible.

Su rápido crecimiento y la alta densidad de culmos por área significa una productividad muy importante de la tierra y una biomasa considerable.

El bambú se utiliza como planta de reforestación.

Si el bambú lograra reemplazar la madera o el acero en algunos construcciones, la tala de la selva tropical se disminuiría por una demanda que cambiaría.

Inconvenientes propios del bambú

La resistencia a fuerzas perpendiculares a las fibras (cortante) es muy baja lo que significa que el bambú tiene tendencia de rajarse fácilmente paralelo a las fibras.

Una construcción de bambú necesita una protección por diseño que asegura que el bambú no recibe directamente ni humedad, ni rayos directos del sol.

El bambú no es un material ignífugo y como es vacío se quema rápido. Todavía no se establece una técnica totalmente confiable de inmunización contra hongos.

Construyendo con Bambú

Normalmente solo la mitad o la tercera parte del largo total de un bambú pueden ser utilizadas elementos de soporte para la estructura. Como la mayoría de especies, los nodos son rígidos y es posible doblarlos. Cuando se usa el bambú en su total longitud, la flexión de sus extremos llega a ser complicado debido al pequeño diámetro y grosor del culmo.



Gridshell con bambú

En las estructuras gridshell, el principio de construcción está basado en la idea de barras delgadas, separadas y entrelazadas que forman una estructura de soporte de carga usando los arcos como forma principal.

Se debe de tomar en consideración los siguientes puntos ante el uso del bambú y una Gridshell

- Determinar el efecto de irregularidades en los culmos del bambú debido a su forma y al comportamiento de flexión del gridshell.
- Desarrollo y prueba de los detalles constructivos a el material como son las uniones, la extremidad del culmo, el diseño del borde o límite, el ajuste de la retícula al límite, alternativas de modificar la forma, etc.
- Adaptar las formas y uniones a los requerimientos del gridshell.
- Determinar la capacidad de flexión de dichas estructuras así como su separación.
- Desarrollo y prueba de una posible cubierta.
- ✓ Experimentos

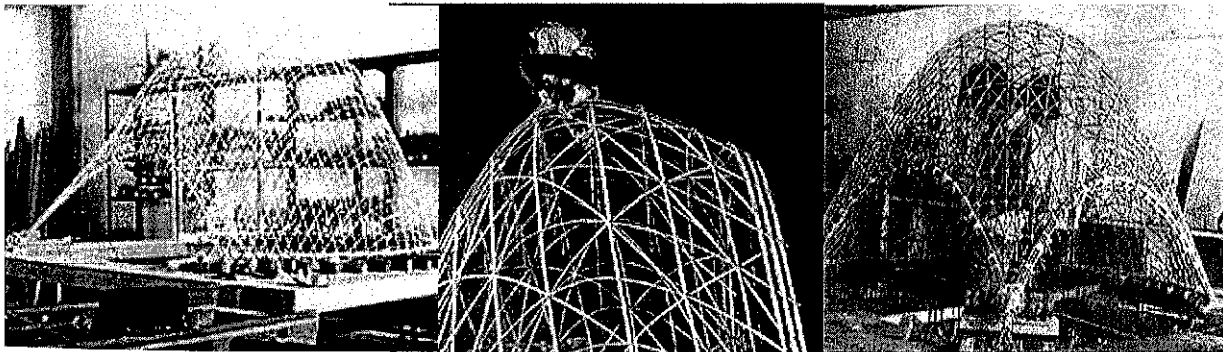
Experimento 1- Con la primera construcción experimental (1/8 de la sección de 7.5m) los posibles problemas de dicha estructura fueron examinados y mientras se trabajaron los extremos y nodos eficazmente, la deformación fue la menor en superficie: 122 N/m².

Experimento 2- En noviembre de 1981 la estructura experimental fue alterada, la sección de la retícula más pequeña fue cubierta diagonalmente por una retícula secundaria. Las pruebas de carga mostraron que la capacidad de carga de esta

Experimento 3- Construir un modelo de una gridshell con secciones de 9m y escala 1:5. Los resultados de la carga demostró que el gridshell con una retícula secundaria en diagonal puede soportar una carga de 250/330 N/m²

✓ Resultados

- 1- Dividir el bambú es un material rentable para la construcción de un gridshell
- 2- Las irregularidades de las secciones, que son inherentes en el material, no es problema alguno.
- 3- La forma o tolerancias de las dimensiones ocasionadas por las irregularidades podrían reducirse con una selección apropiada de las barras en la retícula.
- 4- La unión de los elementos estructurales desarrollados por las técnicas tradicionales de amarre han sido exitosos.
- 5- La armoniosa curvatura de las barras no es distribuida por las uniones.
- 6- Con grandes Gridshells la retícula debe ser preparada con anterioridad para facilitar su ensamble y forma final.
- 7- El límite máximo de los culmos de bambú es alrededor de 10m. Este límite es probablemente dependiente de las especies de bambú utilizados.



Bambú en la arquitectura

- CUBIERTA DE BAMBÚ POR SHIGERU BAN

Shigeru Ban es famoso por sus innovadores experimentos de materiales en la arquitectura y diseño de mobiliario. Ha intentado usar materiales como tubos de cartón, papel y bambú para la construcción y diseño que comúnmente no deberían ser usados en la arquitectura. La primera vez que intentó usar tubos de papel en construcción fue en 1986 cuando diseñó una exhibición sobre Alvar Aalto. Debido a su bajo presupuesto tuvo que dejar la madera como material de diseño, esto le dio una oportunidad para usar tubos de papel. Los materiales no convencionales mostraron un gran potencial no solo para la construcción, al igual por la estética de la forma y la ligereza del espacio, su eficiencia en la construcción además de ser 100% reciclables.

Ban ha tratado el bambú natural como material de construcción en sus comienzos, aunque se rindió debido a la irregularidad de sus dimensiones y difíciles uniones. Ésta fue una de sus razones por las cuales cambió al tubo de papel, un material industrial reciclable. Tiene la estructura similar al tubo de bambú pero puede ser fabricado industrialmente con las mismas dimensiones y características. Pueden ser trabajados con diferentes métodos como el perforado, pegado y puede ser fácilmente unido con otros componentes de construcción como tornillos. En sus trabajos como la casa de papel en 1995 y el Pabellón Japonés en el 2000, utilizó tubos de papel como principal material de construcción

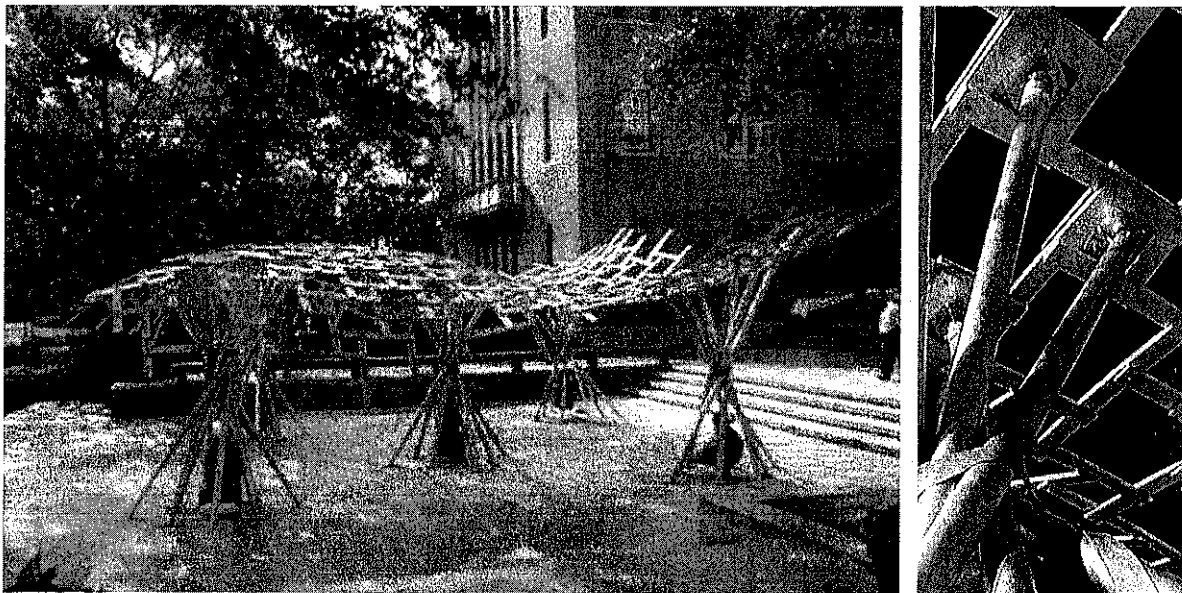


Figure 4- 22 Bamboo Roof at Rice University in Houston, USA, 2002/03, Shigeru Ban Architects (ref. Shigeru Ban Architects)

Aunque el bambú no está fuera de sus opciones como material de construcción en sus diseños, ha elegido productos prefabricados de bambú como bambú laminado. Ban ha demostrado su habilidad hacia el uso de materiales no convencionales en la construcción, con el bambú laminado diseño la cubierta para la Galería Rice en la Universidad de Rice, Houston, USA 2003, el bambú laminado es comúnmente usado para el piso por los productores.

Pero el bambú laminado para el suelo no es límite. Comparado con pisos de madera la única ventaja es la dura superficie del material. La flexibilidad, ligereza y resistencia no tienen forma de mostrar su utilidad. Esto ha sido cambiado por el experimento de Ban utilizando bambú para construcción de cubierta. En su diseño el bambú laminado usado en construcción debe soportar el peso de la cubierta además de otras cargas del viento y nieve. Además de tener una belleza especial en el material y construcción. Debido a las características mecánicas del bambú laminado, Ban no ha tenido que enfrentar problemas que el tubo natural del bambú tiene. La estructura de cubierta s soportada por columnas que están compuestas por poleas de acero. La idea de usar poleas de acero como columnas de soporte para la cubierta se remonta originalmente de la antigua China donde los granjeros hacían cultivaban y hacían crecer los culmos de bambú (McQuaid 2005)¹

- AEROPUERTO MADRID-BARAJAS

El aeropuerto de Madrid Barajas fue un proyecto competido internacionalmente iniciado por AENA en 1996 para construir un nuevo aeropuerto con capacidad de 65-70 millones de pasajeros anuales en 1.2 millones de m² de área construida. El equipo de Richard Rogers Partnership (RRP), Estudio Lamela y dos compañías ingenieras ganaron el proyecto por la simplicidad, adaptabilidad y flexibilidad de su concepto.

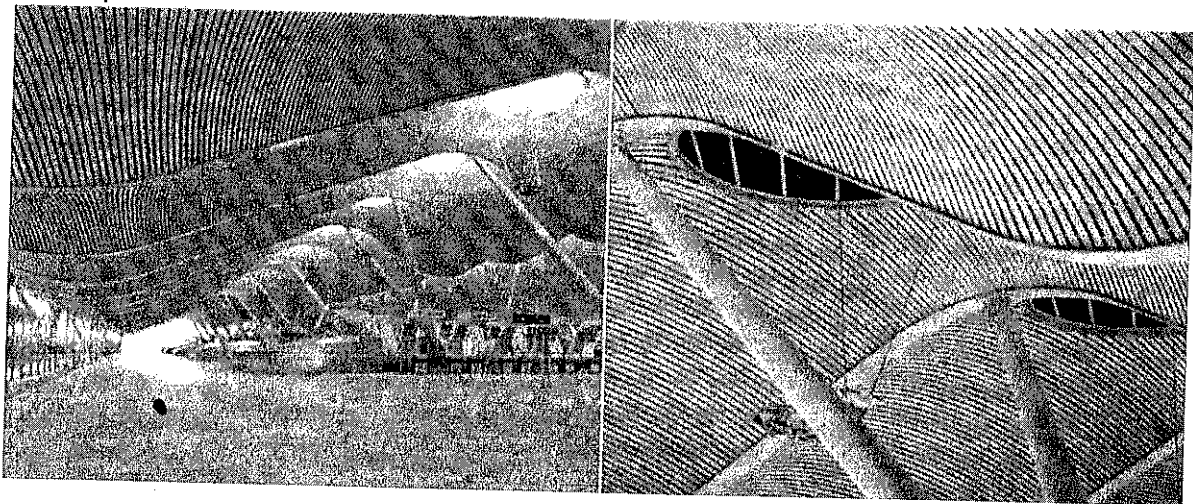


Figure 4- 23 Bamboo Roofs in the Madrid Barajas Airport by Richard Rogers Partnership and Estudio Lamela, 2006 (ref. Amparo Garrido and Richard Bryant/arcaid.co.uk)

El bambú como material de construcción no es solo importante para la estructura sino además por la definición del espacio y la atmósfera. El diseño de RRP se concentra en la experiencia de los pasajeros en el aeropuerto, en crear una atmósfera pacífica y ayudar a los pasajeros a acceder fácil y eficaz.

1 - Este proyecto contribuyó como prototipo para el pabellón permanente en "Forest Park, St. Louis" que sigue en desarrollo, donde el bambú puede ser reconocido en gran escala por el público como un moderno material de construcción con una estética especial (Ban 2002).

La cubierta ondulada no es solo una forma de expresión sino de definición del espacio. Las tiras de bambú laminado encajan perfectamente en la construcción orgánica, es elástico, ligero y de gran resistencia de carga.

Uno de los factores del concepto más importantes es el concepto de luz especial. Maximizar el uso de luz natural por series diseñadas como "cañones" para atraer luz natural a los más bajos niveles del proyecto. Los "cañones" son columnas espectacularmente altas que cuando el pasajero desciende tiene el impacto de un espacio impresionante. Debido a la intensidad del color y la textura del bambú le otorga al interior del aeropuerto una atmósfera de calidez y luminosidad.

Junto con los "cañones" la cubierta de bambú ondulada crea espectaculares ritmos de luz. El director de Richard Rogers Partnership, Simon Smithson, considera estos especiales ritmos de luz como una forma de amortiguar la percepción del aeropuerto porque permiten a los viajeros hacerse una pausa en un túnel de luz natural (Grossman 2006).

Generación de la forma.

La superficie es generada por rotación, esto quiere decir que se debe girar una línea inclinada (generatriz) alrededor de un eje contenido en el plano de dos circunferencias, en este caso, ambas de mismo diámetro.

- **Primer Paso** - Tenemos una línea inclinada (generatriz) y el eje de rotación que forma las dos circunferencias.

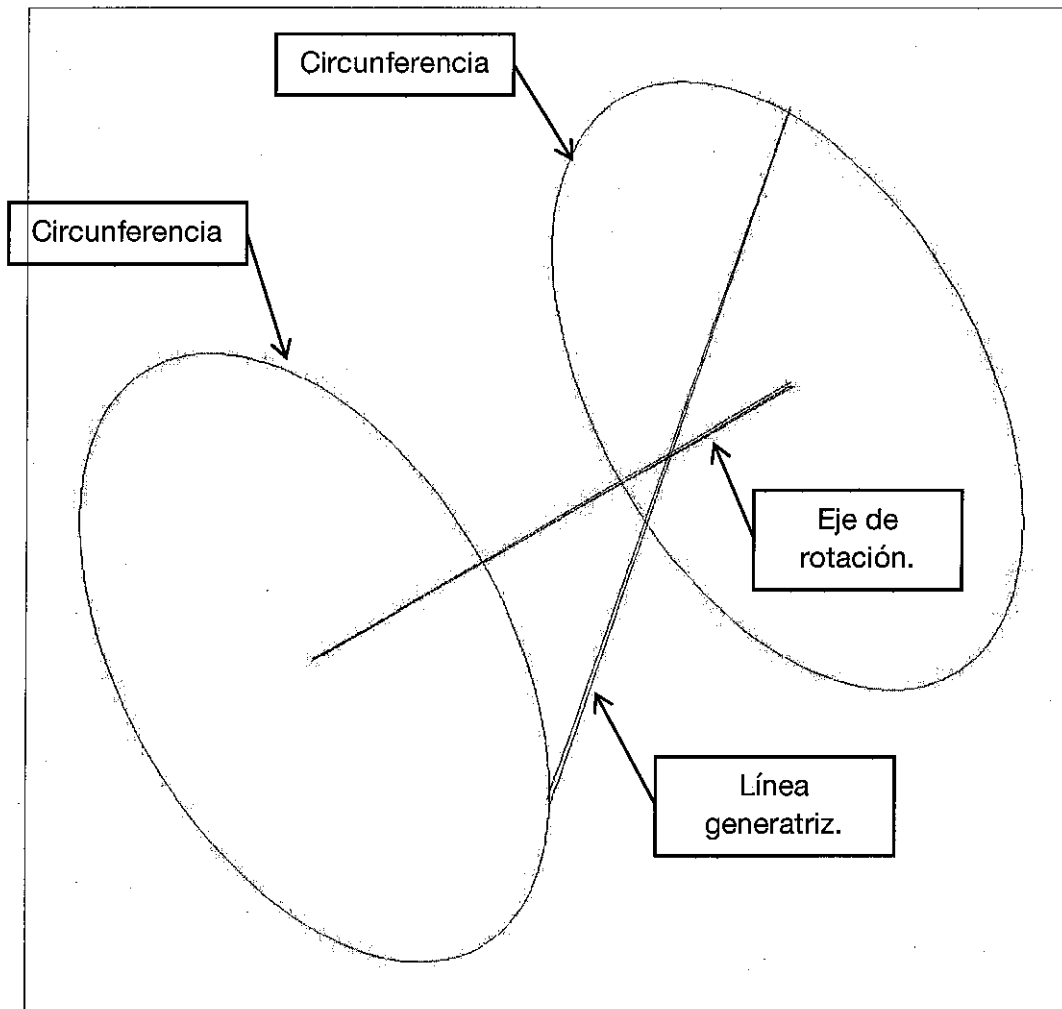


Ilustración 1- 1er paso para generación de la superficie.

- **Segundo paso** – Al hacer rotar la generatriz se forma un hiperboloide.

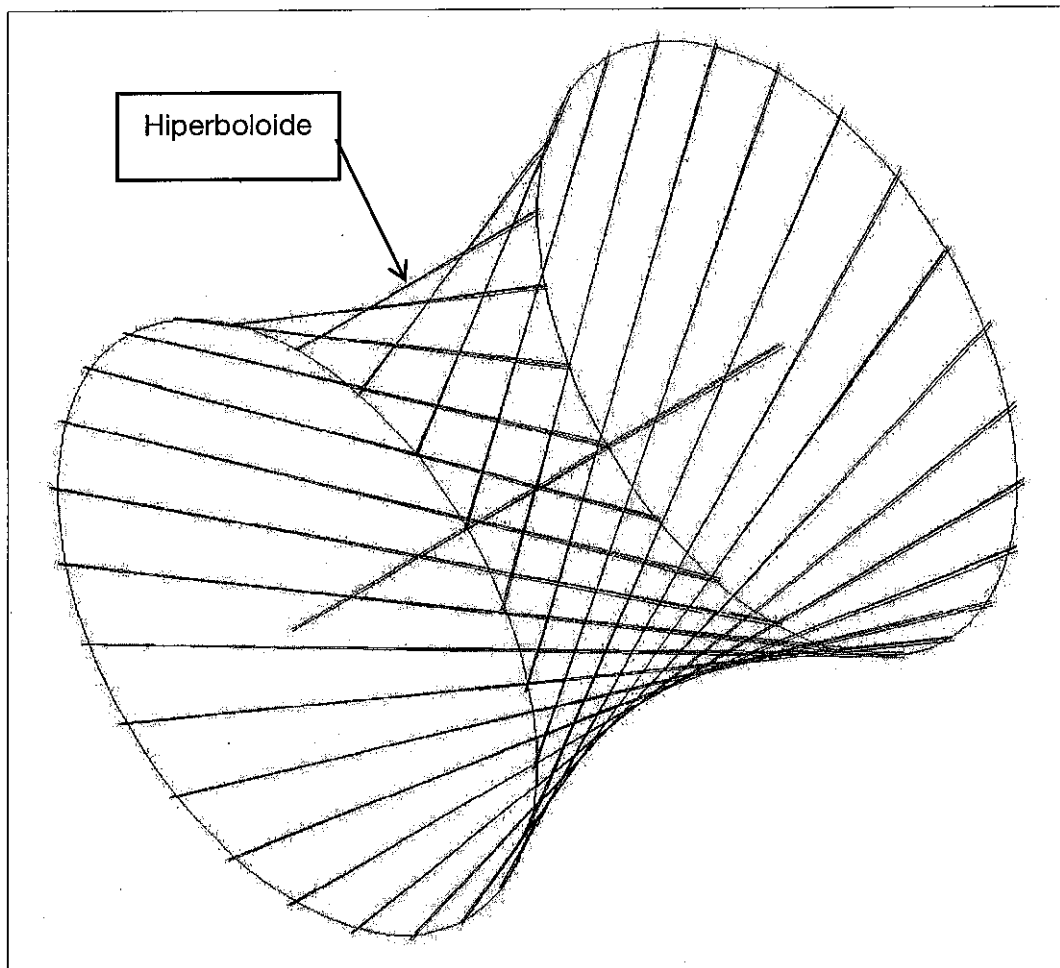


Ilustración 2 - 2do paso, se genera un hiperboloide.

- **Tercer paso** – Para complementar el hiperboloide repetimos el mismo procedimiento, pero ahora del lado contrario para complementar el hiperboloide.

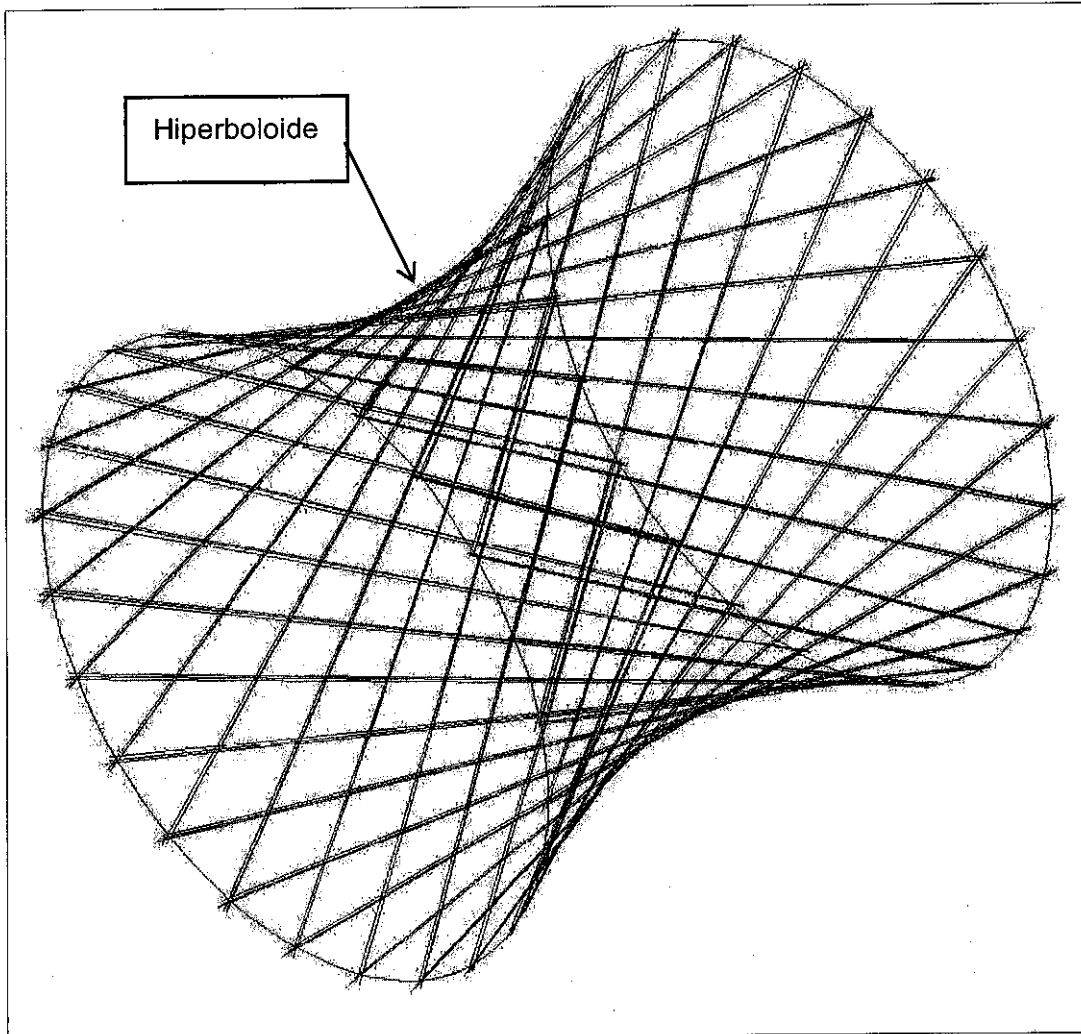


Ilustración 3 - 3er paso, complementa del hiperboloide.

- **Cuarto paso** – Seccionamos el hiperboloide, mediante un corte por un plano. Este plano es formado por mitad de las circunferencias

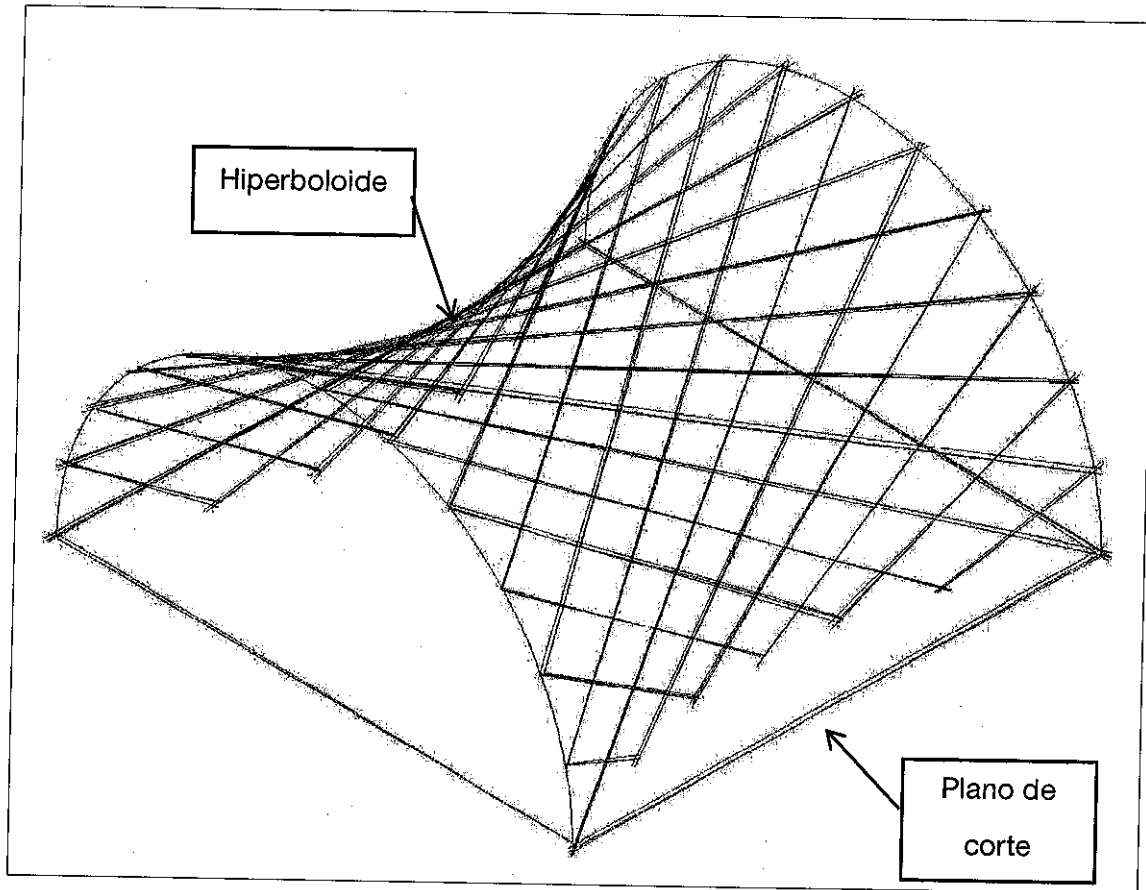


Ilustración 4 - 4to paso, corte por un plano.

La superficie generada se muestra a continuación.

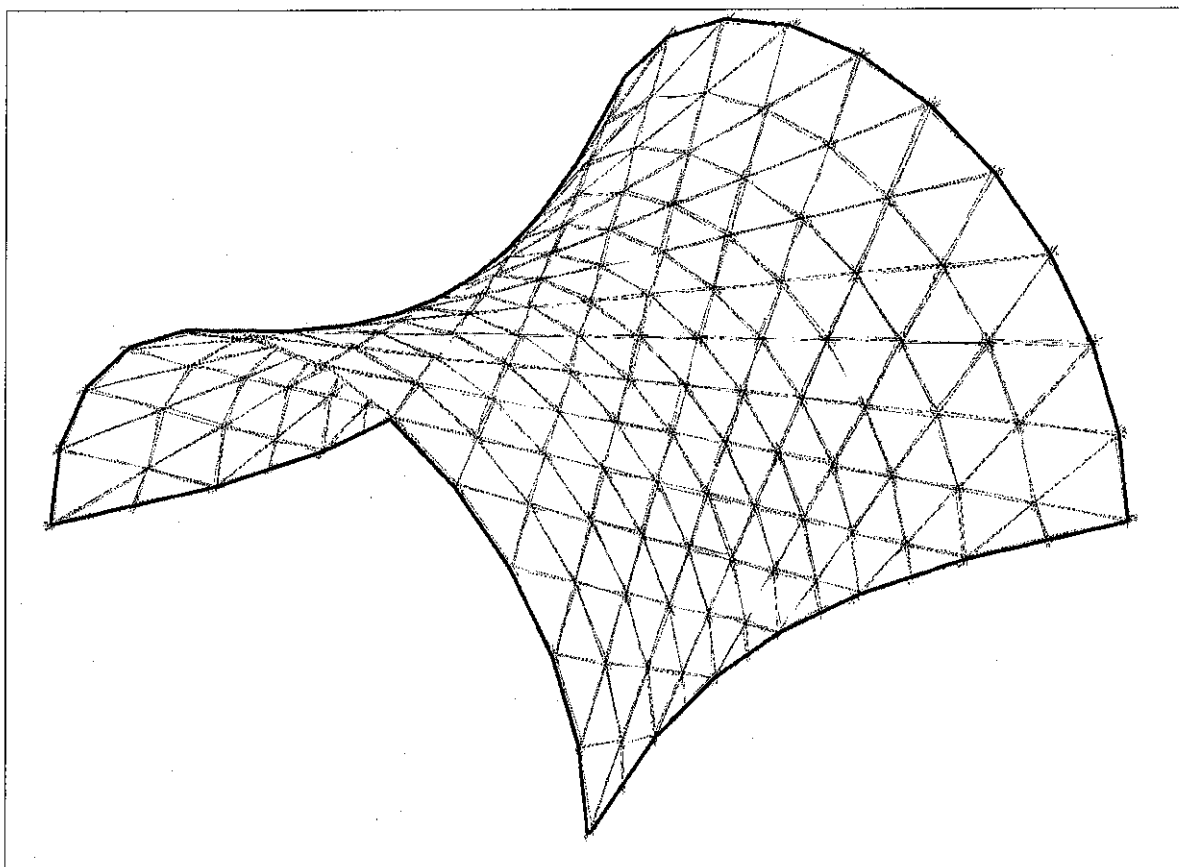


Ilustración 5 - Superficie generada.

Posteriormente y una vez obtenida la superficie podemos determinar cómo será la estructura del gridshell (cascarón reticular), el cual estará formado por:

- Dos arcos principales donde llegaran las barras,
- Las barras que forman la superficie.

El cascaron reticular o gridshell quedaría como a continuación se muestra.

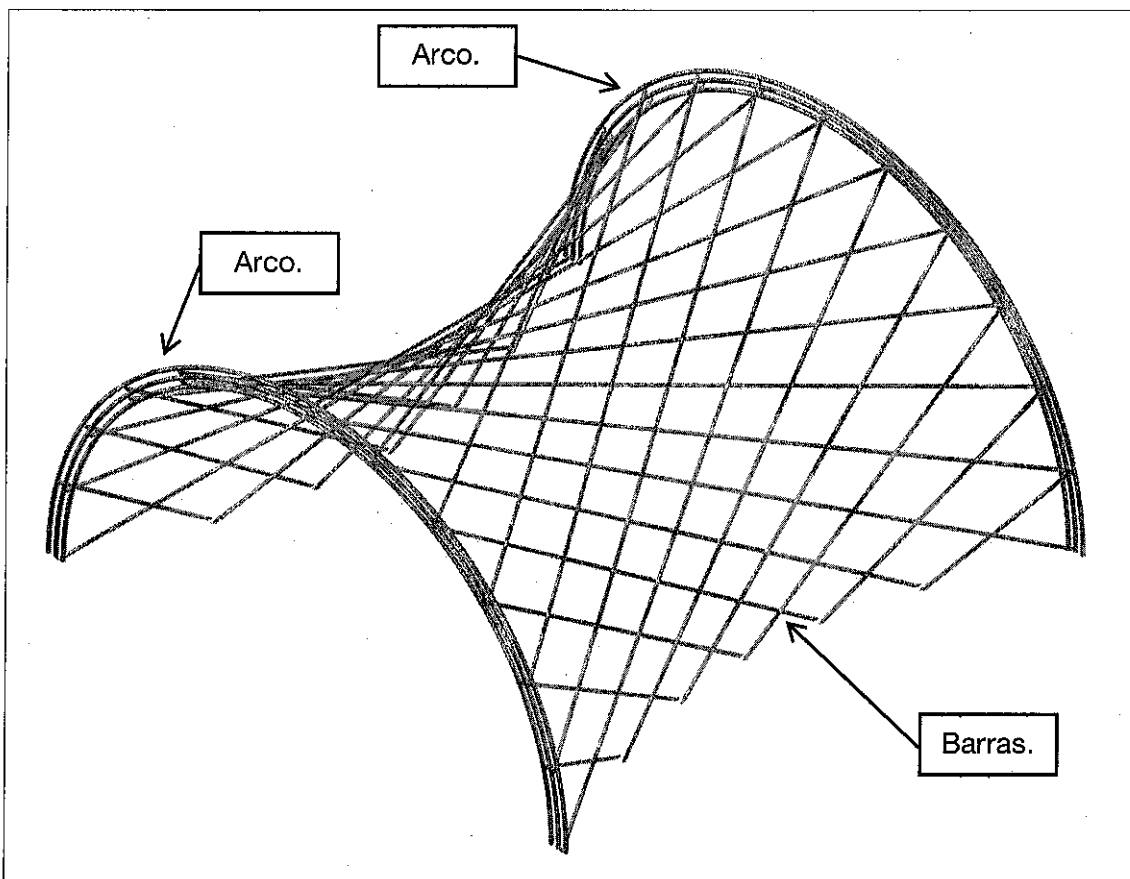


Ilustración 6 - Estructura de la cubierta.

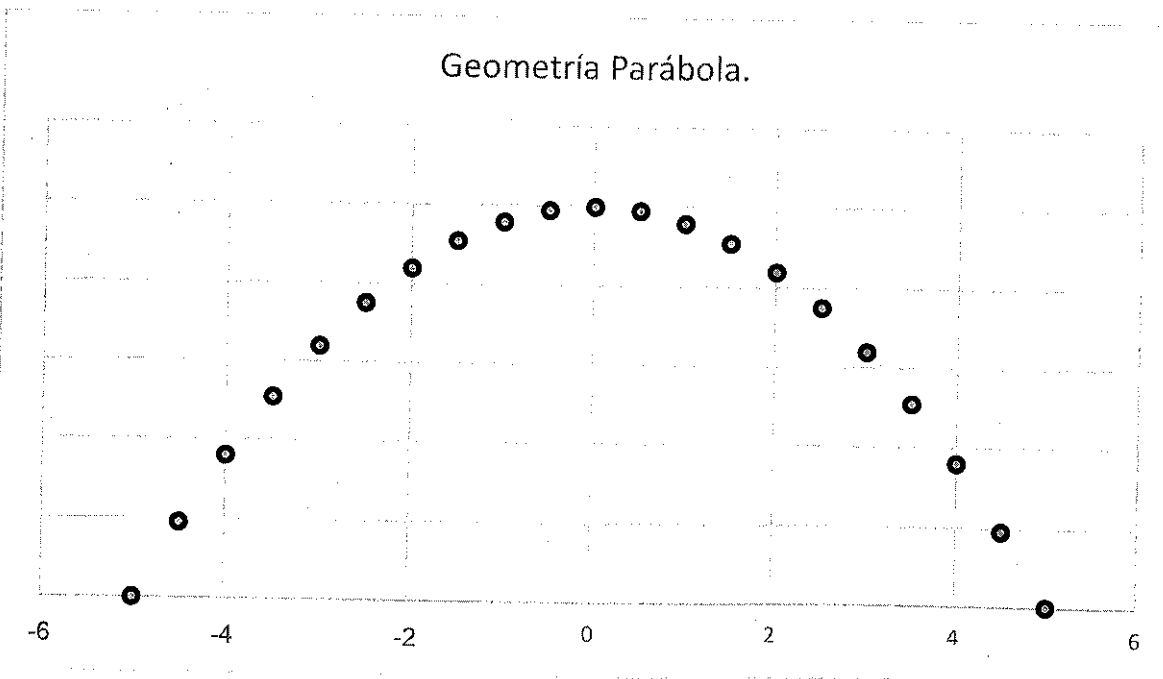
Análisis de las curvas.

1.- Análisis parábola.

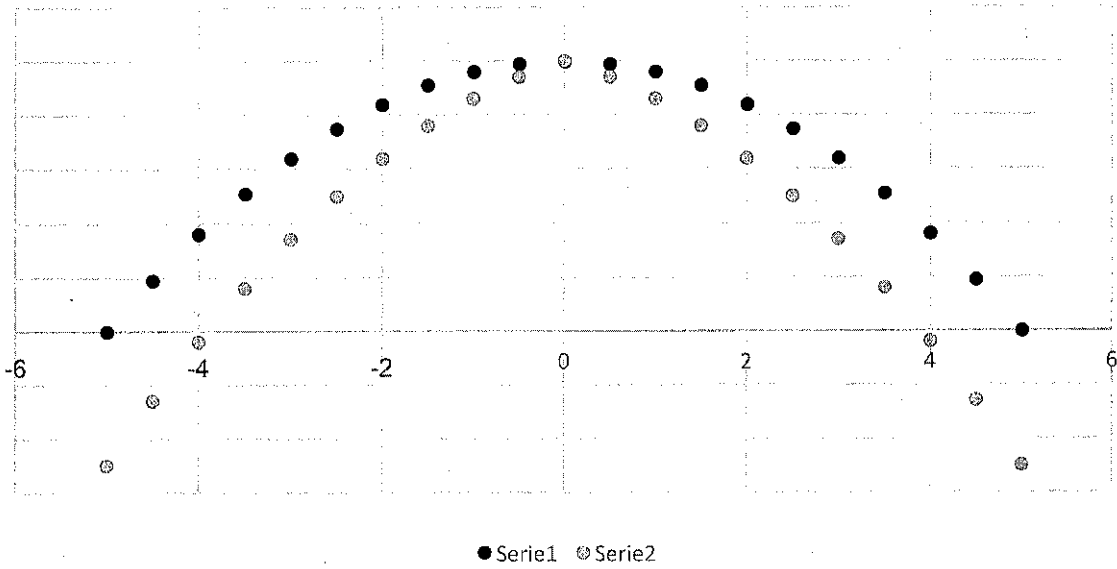
1.1.- Tabla de esfuerzos de la parábola.

Punto	Distancia m	V= kg	Area kg/m ²	M kg m	Y _A m	Y _M m	e= m	e _r = m	M _{inales} kg m
0	5	-25.00	-11.88	-62.50	0.00	-5.00	-5.00	-7.50	93.75
1	4.50	-22.50	-10.63	-50.63	0.95	-4.05	-3.10	-5.60	70.00
2	4.00	-20.00	-9.38	-40.00	1.80	-3.20	-1.40	-3.90	48.75
3	3.50	-17.50	-8.13	-30.63	2.55	-2.45	0.10	-2.40	30.00
4	3.00	-15.00	-6.88	-22.50	3.20	-1.80	1.40	-1.10	13.75
5	2.50	-12.50	-5.63	-15.63	3.75	-1.25	2.50	0.00	0.00
6	2.00	-10.00	-4.38	-10.00	4.20	-0.80	3.40	0.90	-11.25
7	1.50	-7.50	-3.13	-5.63	4.55	-0.45	4.10	1.60	-20.00
8	1.00	-5.00	-1.88	-2.50	4.80	-0.20	4.60	2.10	-26.25
9	0.50	-2.50	-0.63	-0.63	4.95	-0.05	4.90	2.40	-30.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	2.50	-31.25
11	-0.50	2.50	0.63	0.63	4.95	0.05	4.90	-2.40	-30.00
12	-1.00	5.00	1.88	2.50	4.80	0.20	4.60	-2.10	-26.25
13	-1.50	7.50	3.13	5.63	4.55	0.45	4.10	-1.60	-20.00
14	-2.00	10.00	4.38	10.00	4.20	0.80	3.40	-0.90	-11.25
15	-2.50	12.50	5.63	15.63	3.75	1.25	2.50	0.00	0.00
16	-3.00	15.00	6.88	22.50	3.20	1.80	1.40	1.10	13.75
17	-3.50	17.50	8.13	30.63	2.55	2.45	0.10	2.40	30.00
18	-4.00	20.00	9.38	40.00	1.80	3.20	-1.40	3.90	48.75
19	-4.50	22.50	10.63	50.63	0.95	4.05	-3.10	5.60	70.00
20	-5.00	25.00	11.88	62.50	0.00	5.00	-5.00	7.50	93.75
	V _(max)	-25.00	M _(max) =	-62.50				M _(max) =	-93.75

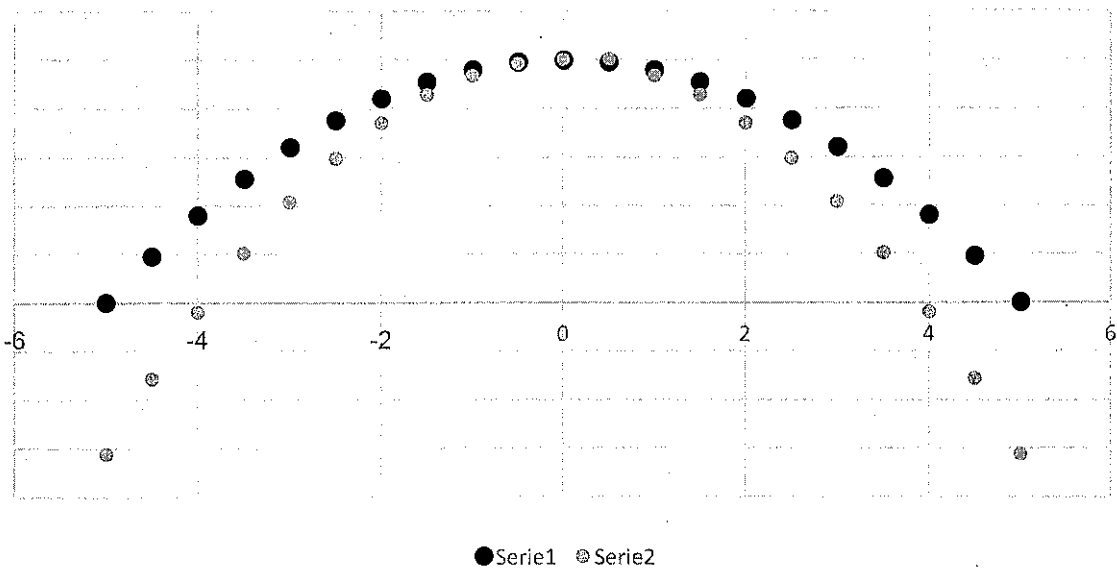
1.2.- Gráficas de esfuerzos de la parábola.

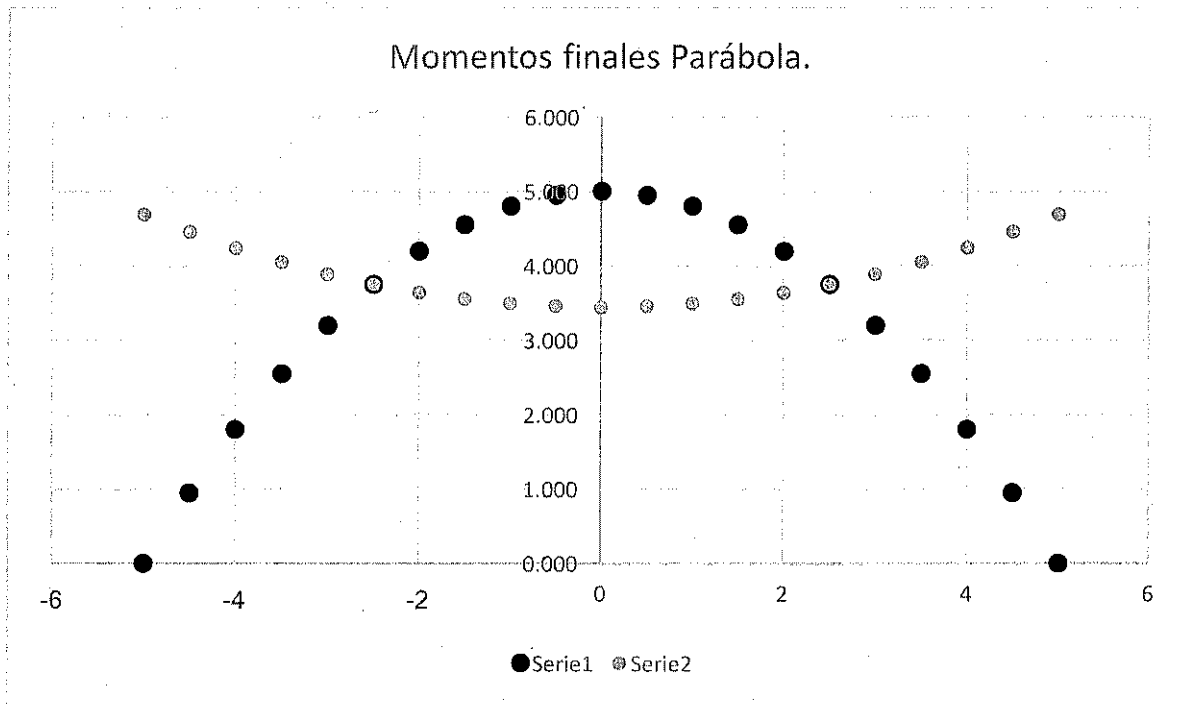


Cortantes Parábola.



Momentos Parábola.



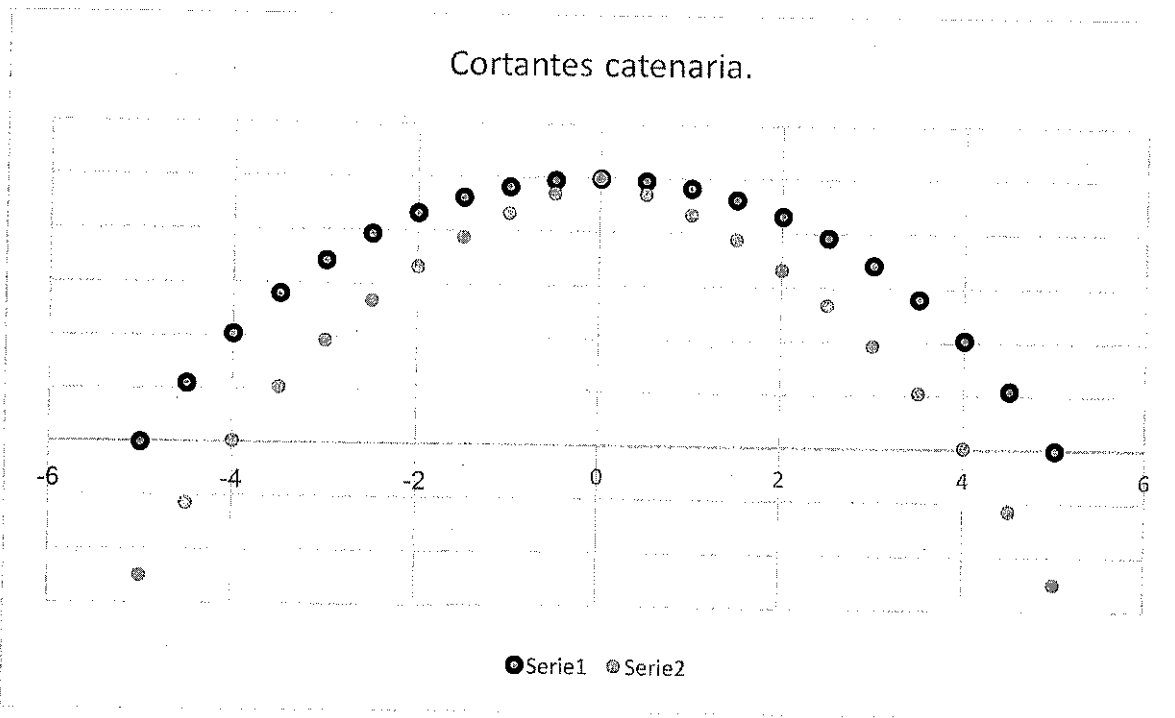
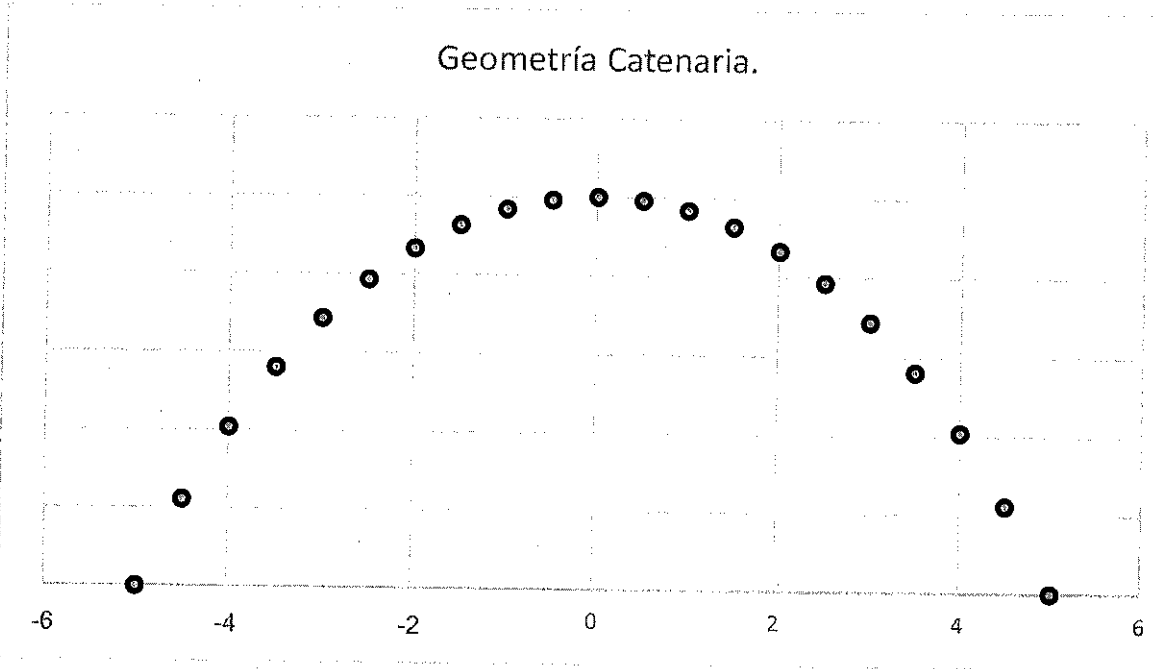


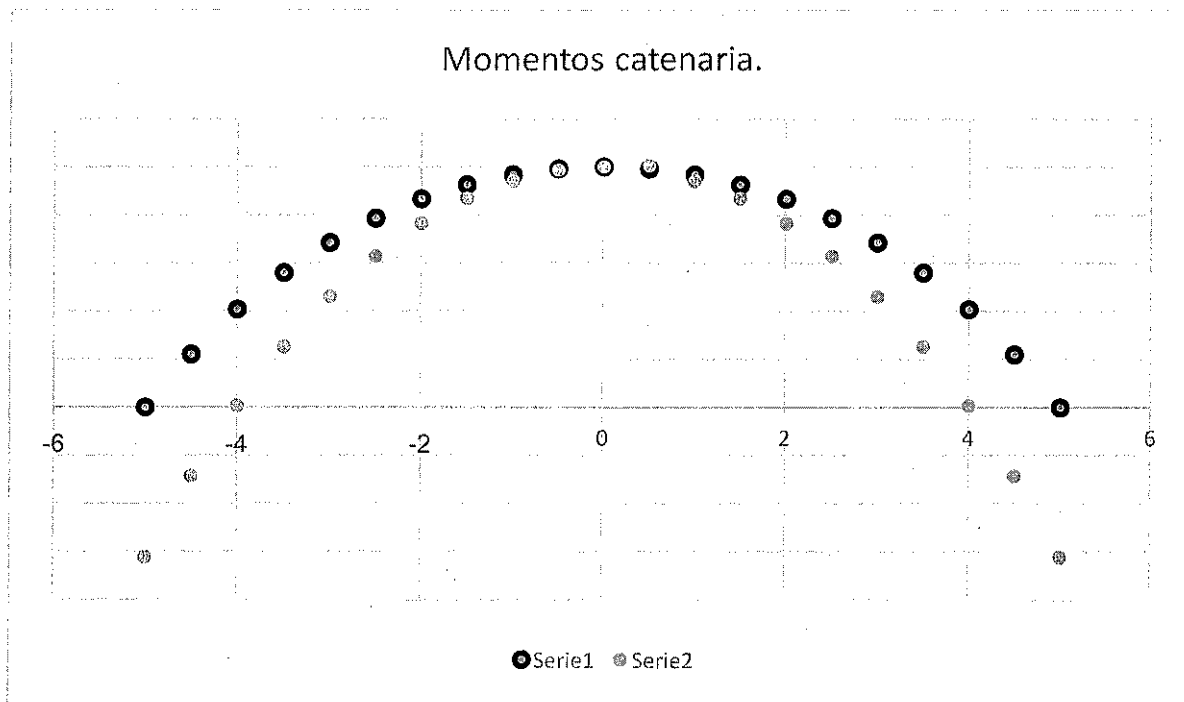
2.- Análisis de la catenaria.

2.1- Tabla de esfuerzos de la catenaria.

Punto	Distancia m	V= kg	Area kg/m ²	M kg m	Y _A m	Y _M m	e= m	e= m	M _{finales} kg m
0	5	25.00	11.88	62.50	8.09	-5.00	13.09	-6.55	81.83
1	4.50	22.50	10.63	50.63	6.99	-4.05	11.04	-4.49	56.11
2	4.00	20.00	9.38	40.00	6.06	-3.20	9.26	-2.71	33.92
3	3.50	17.50	8.13	30.63	5.29	-2.45	7.74	-1.20	14.96
4	3.00	15.00	6.88	22.50	4.67	-1.80	6.47	0.08	-1.01
5	2.50	12.50	5.63	15.63	4.16	-1.25	5.41	1.14	-14.21
6	2.00	10.00	4.38	10.00	3.76	-0.80	4.56	1.98	-24.79
7	1.50	7.50	3.13	5.63	3.46	-0.45	3.91	2.63	-32.90
8	1.00	5.00	1.88	2.50	3.26	-0.20	3.46	3.09	-38.62
9	0.50	2.50	0.63	0.63	3.13	-0.05	3.18	3.36	-42.03
10	0.00	0.00	0.00	0.00	3.09	0.00	3.09	3.45	-43.16
11	-0.50	-2.50	-0.63	-0.63	3.13	0.05	3.18	3.36	-42.03
12	-1.00	-5.00	-1.88	-2.50	3.26	0.20	3.46	3.09	-38.62
13	-1.50	-7.50	-3.13	-5.63	3.46	0.45	3.91	2.63	-32.90
14	-2.00	-10.00	-4.38	-10.00	3.76	0.80	4.56	1.98	-24.79
15	-2.50	-12.50	-5.63	-15.63	4.16	1.25	5.41	1.14	-14.21
16	-3.00	-15.00	-6.88	-22.50	4.67	1.80	6.47	0.08	-1.01
17	-3.50	-17.50	-8.13	-30.63	5.29	2.45	7.74	-1.20	14.96
18	-4.00	-20.00	-9.38	-40.00	6.06	3.20	9.26	-2.71	33.92
19	-4.50	-22.50	-10.63	-50.63	6.99	4.05	11.04	-4.49	56.11
20	-5.00	-25.00	-11.88	-62.50	8.09	5.00	13.09	-6.55	81.83
	V _(max)	-25.00	M _(max) =	-62.50				M _(max) =	-81.83

2.2.- Gráfica de esfuerzos de la catenaria.



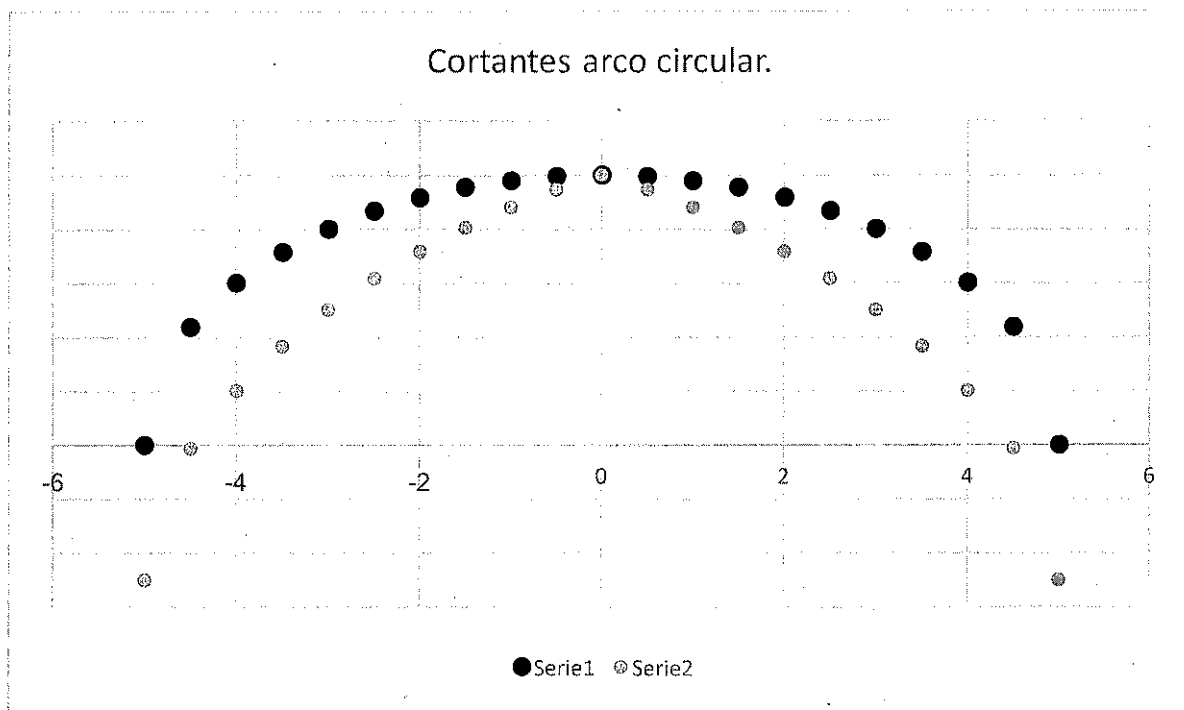
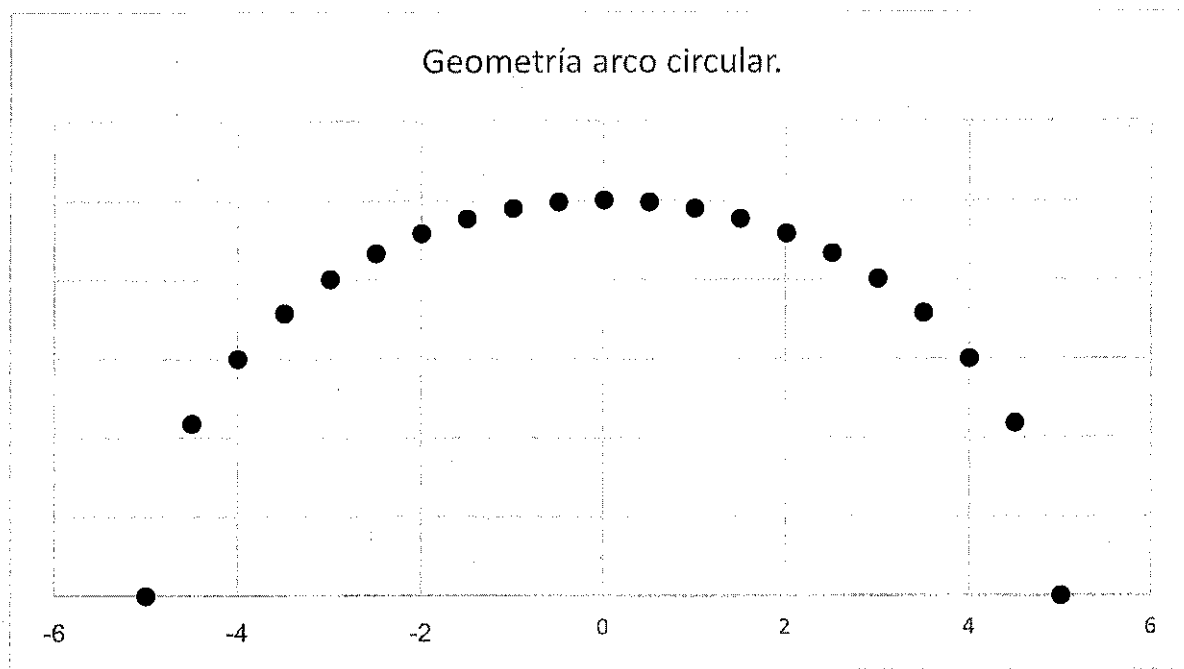


3.- Análisis del arco circular.

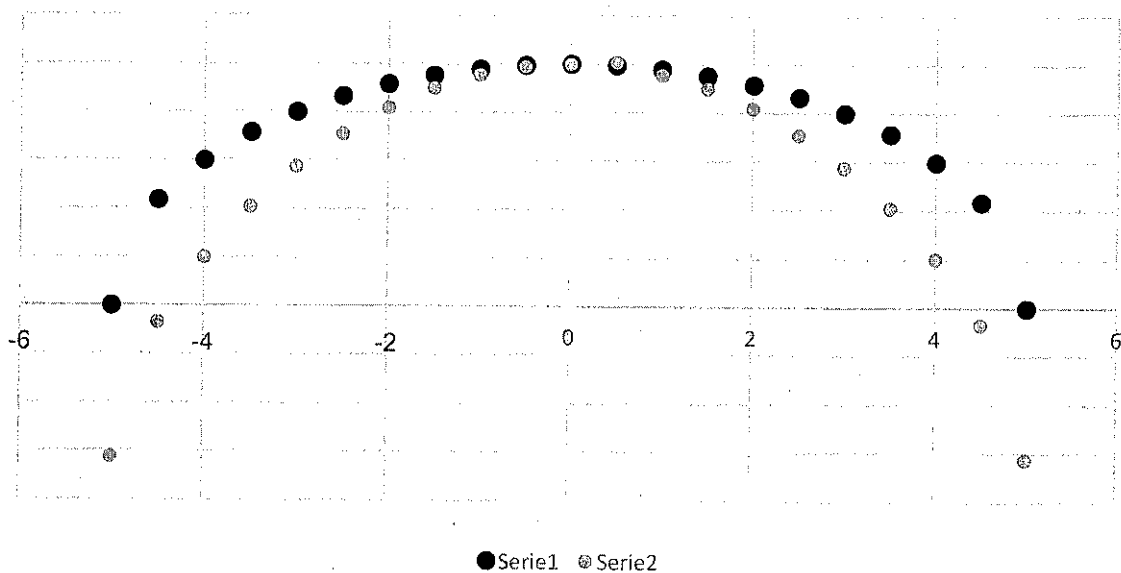
3.1.- Tabla de esfuerzos del arco circular.

Punto	Distancia m	V= kg	Area kg/m ²	M kg m	Y _A m	Y _M m	e= m	e= m	M _{finales} kg m
0	5	-25.00	-11.88	-62.50	0.00	-5.00	-5.00	-7.50	93.75
1	4.50	-22.50	-10.63	-50.63	2.18	-4.05	-1.87	-4.37	54.63
2	4.00	-20.00	-9.38	-40.00	3.00	-3.20	-0.20	-2.70	33.75
3	3.50	-17.50	-8.13	-30.63	3.57	-2.45	1.12	-1.38	17.24
4	3.00	-15.00	-6.88	-22.50	4.00	-1.80	2.20	-0.30	3.75
5	2.50	-12.50	-5.63	-15.63	4.33	-1.25	3.08	0.58	-7.25
6	2.00	-10.00	-4.38	-10.00	4.58	-0.80	3.78	1.28	-16.03
7	1.50	-7.50	-3.13	-5.63	4.77	-0.45	4.32	1.82	-22.75
8	1.00	-5.00	-1.88	-2.50	4.90	-0.20	4.70	2.20	-27.49
9	0.50	-2.50	-0.63	-0.63	4.97	-0.05	4.92	2.42	-30.31
10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	2.50	-31.25
11	-0.50	2.50	0.63	0.63	4.97	0.05	4.92	-2.42	-30.31
12	-1.00	5.00	1.88	2.50	4.90	0.20	4.70	-2.20	-27.49
13	-1.50	7.50	3.13	5.63	4.77	0.45	4.32	-1.82	-22.75
14	-2.00	10.00	4.38	10.00	4.58	0.80	3.78	-1.28	-16.03
15	-2.50	12.50	5.63	15.63	4.33	1.25	3.08	-0.58	-7.25
16	-3.00	15.00	6.88	22.50	4.00	1.80	2.20	0.30	3.75
17	-3.50	17.50	8.13	30.63	3.57	2.45	1.12	1.38	17.24
18	-4.00	20.00	9.38	40.00	3.00	3.20	-0.20	2.70	33.75
19	-4.50	22.50	10.63	50.63	2.18	4.05	-1.87	4.37	54.63
20	-5.00	25.00	11.88	62.50	0.00	5.00	-5.00	7.50	93.75
	V_(max)	-25.00	M_(max)=	-62.50				M_(max)=	-93.75

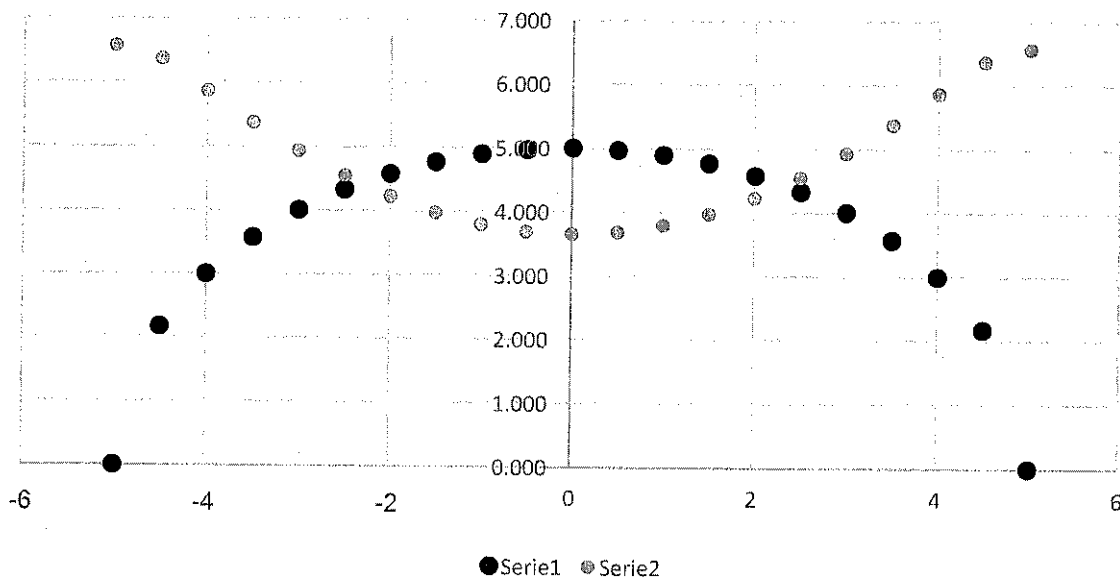
3.2.- Gráfica de esfuerzos del arco circular.



Momentos arco circular.



Momentos finales arco circular.



4.- Conclusiones:

Con los datos obtenidos en el cálculo de los elementos mecánicos internos para los diferentes tipos de curvas se tiene:

- En la catenaria se reducen los momentos finales en los empotramientos.
- En la parábola y en arco circular los momentos son iguales.
- La geometría de la catenaria respecto a los momentos en el empotre sería la mas eficiente debido a que los reduce.
- Por facilidad constructiva es más fácil rolar un arco circular.

Con base en los resultados se optó por revisar en el programa STAAD PRO los desplazamientos de los distintos arcos.

5.- Análisis STAAD PRO.

5.1.- Desplazamientos parábola.

Desplazamientos parábola.				
Nodos	Desplazamiento horizontal. (mm)	Desplazamientos verticales. (mm)	Desplazamientos horizontales. (mm)	Resultante. (mm)
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	-0.062	-0.065	0.000	0.090
3	-0.162	-0.151	0.000	0.222
4	-0.215	-0.211	0.000	0.302
5	-0.211	-0.228	0.000	0.311
6	-0.167	-0.207	0.000	0.266
7	-0.110	-0.160	0.000	0.194
8	-0.059	-0.103	0.000	0.119
9	-0.025	-0.052	0.000	0.058
10	-0.007	-0.017	0.000	0.018
11	0.000	-0.004	0.000	0.004
12	0.007	-0.017	0.000	0.018
13	0.025	-0.052	0.000	0.058
14	0.059	-0.103	0.000	0.119
15	0.110	-0.160	0.000	0.194
16	0.167	-0.207	0.000	0.266
17	0.211	-0.228	0.000	0.311
18	0.215	-0.211	0.000	0.302
19	0.162	-0.151	0.000	0.222
20	0.062	-0.065	0.000	0.090
21	0.000	0.000	0.000	0.000
Máximos desplazamientos	0.215	0.228	0.000	0.311

5.2.- Desplazamientos catenaria.

Desplazamientos catenaria.				
Nodos	Desplazamiento horizontal. (mm)	Desplazamientos verticales. (mm)	Desplazamientos horizontales. (mm)	Resultante. (mm)
1	0	0	0	0
2	0.861	0.353	0	0.931
3	1.858	0.863	0	2.049
4	2.179	1.048	0	2.418
5	1.912	0.815	0	2.079
6	1.363	0.253	0	1.386
7	0.793	-0.481	0	0.927
8	0.355	-1.231	0	1.281
9	0.101	-1.863	0	1.866
10	0.006	-2.28	0	2.28
11	0	-2.426	0	2.426
12	-0.006	-2.28	0	2.28
13	-0.101	-1.863	0	1.866
14	-0.355	-1.231	0	1.281
15	-0.793	-0.481	0	0.927
16	-1.363	0.253	0	1.386
17	-1.912	0.815	0	2.079
18	-2.179	1.048	0	2.418
19	-1.858	0.863	0	2.049
20	-0.861	0.353	0	0.931
21	0	0	0	0
Máximos desplazamientos	2.179	2.426	0.000	2.426

5.3- Desplazamientos arco circular.

Desplazamientos arco circulo.				
Nodos	Desplazamiento horizontal. (mm)	Desplazamientos verticales. (mm)	Desplazamientos horizontales. (mm)	Resultante. (mm)
1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.000	10.915	2.445	0.000	11.186
3.000	12.148	3.168	0.000	12.555
4.000	10.184	1.425	0.000	10.283
5.000	7.343	-1.904	0.000	7.586
6.000	4.638	-6.021	0.000	7.600
7.000	2.509	-10.259	0.000	10.561
8.000	1.084	-14.088	0.000	14.130
9.000	0.312	-17.106	0.000	17.109
10.000	0.026	-19.028	0.000	19.028
11.000	0.000	-19.687	0.000	19.687
12.000	-0.026	-19.028	0.000	19.028
13.000	-0.312	-17.106	0.000	17.109
14.000	-1.084	-14.088	0.000	14.130
15.000	-2.509	-10.259	0.000	10.561
16.000	-4.638	-6.021	0.000	7.600
17.000	-7.343	-1.904	0.000	7.586
18.000	-10.184	1.425	0.000	10.283
19.000	-12.148	3.168	0.000	12.555
20.000	-10.915	2.445	0.000	11.186
21.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Máximos desplazamientos	12.148	19.687	0.000	19.687

5.4.- Conclusiones de acuerdo con los desplazamientos.

De acuerdo con los desplazamientos obtenidos en el programa STAAD PRO podemos resumir lo siguientes:

- Se presentan mayores desplazamientos en el arco con circulo.
- Se presenta menores desplazamientos en la parábola.
- Se presentan mayores esfuerzos en la catenaria y en la parábola.
- Se presentan menores esfuerzos en la parábola.
- Por facilidad constructiva es más eficiente elaborar una circunferencia.
- De acuerdo a la generación de la forma se necesita la circunferencia.

Referencias

Adriaenssens S., Block, P., Veenendaal, D. and Williams, C.J.K. (2014). 'Shells for Architecture: structural form-finding and optimisation' Routledge: Taylor and Francis.

<http://www.tue.nl/en/university/departments/built-environment/research/units/structural-design/education/final-thesis/projects/isd/optimization-form-and-grid-gridshell/>

<http://matsysdesign.com/2012/04/13/sg2012-gridshell/>

<http://gridshell-comalle.blogspot.mx/p/estructura.html>

<http://shells.princeton.edu/Mann1.html>

-Manual de construcción con bambú, Hidalgo López, Oscar, Construcción rural.

-“Ensayos experimentales de armaduras planas de bambú bajo cargas verticales”, Chávez Mejía Erick Francisco, UAM Azcapotzalco, 2013.

-The modernization of bamboo in the industrial context, pg. 99,chapter 4, Universitat Duisburg-Essen, Xiaobing Yu, 2007. <http://d-nb.info/987409050/34>

-<http://conciencia-sustentable.abilia.mx/arquitectura-en-bambu-la-obra-de-simon-velez/>

-<http://bambus.rwth-aachen.de/eng/reports/il31/gd.html>