

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y ARTES



**"COBERTURA ORGÁNICA RETRÁCTIL"**

*TRABAJO DE INVESTIGACIÓN*

**JUAN CARLOS CHINEN SONAN**

*Director*  
**ARQ. JOSÉ BENLLOCHPIQUER CASTRO**

*Lima – Perú 2007*



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y ARTES**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**¿ LA FORMA DETERMINA LA ESTRUCTURA O LA  
ESTRUCTURA DETERMINA LA FORMA ?**

**AUTOR:  
JUAN CARLOS CHINEN SONAN**

**SETIEMBRE 2007**



**“UN MÉTODO PARA EL DISEÑO  
DE UNA COBERTURA  
ORGÁNICA RETRÁCTIL”**



**CAPÍTULO I**

**PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO  
DE INVESTIGACIÓN**

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **A. INTRODUCCIÓN**

*La arquitectura orgánica se basa en la convicción de que la naturaleza es bella y perfecta por sí misma. Por consiguiente, la naturaleza debe ser una gran fuente de inspiración para los arquitectos (De Zurko<sup>1</sup>), pero la pregunta, ¿será suficiente esto para realizar una obra arquitectónica con calidad?, nos llega a la mente de inmediato, ¿es bueno hacer una arquitectura que se base en formas sólo y exclusivamente por la forma? o ¿necesita de algo más?, son preguntas que nos hacemos al observar y deleitar nuestra mirada con esta suerte de esculturas gigantescas y habitables.*

*Otra de las interrogantes que surgen a raíz de las preguntas antes enunciadas es ¿un edificio sería más orgánico si se comportara como un ser vivo?, o sea, ¿se asemejaría más a un ser viviente si a esta arquitectura se le impartiera movimiento?, además que le daría más dinámica al edificio y por lo tanto éste dejaría de ser un edificio estático y se ajustaría a los cambios de la ciudad, al ser un edificio adaptable en el tiempo, el espacio y también a la mentalidad de las personas.*

*Entonces, por ejemplo, como se sentirían las personas, al saber que cada vez que salgan y miren su vivienda se dieran cuenta que alguna parte de ella es diferente, debido al movimiento de algún elemento de la misma o recogándose en forma **retráctil** alguna de sus partes, rompiendo así la monotonía; por lo tanto, la persona se daría cuenta que es la misma vivienda, pero debido al movimiento de ese elemento, sentiría también que tiene algo diferente. En conclusión, ser **retráctil** significaría<sup>2</sup> que una pieza o parte de un todo pueda avanzar o adelantarse, y después, por sí misma, retraerse o esconderse; o una parte del cuerpo animal que pueda retraerse, quedando oculta, como por ejemplo las uñas de los felinos.*

*Este movimiento le daría algo más a la arquitectura, a parte de la forma orgánica, es como reinventar cada día el mismo edificio, dándole sensaciones distintas a las personas que lo habitan; ya que para ellos, las personas, es que*

<sup>1</sup> De Zurko, Edgard Robert. "La Teoría del Funcionalismo en la Arquitectura". Ed. Nueva Visión. Buenos Aires. 1970.

<sup>2</sup> Diccionario de la Real Academia Española. Ed. Vigésimo Segunda. España. 2001.

*nosotros diseñamos; como lo predicaban los grandes maestros con el surgimiento del movimiento moderno<sup>3</sup>.*

*Lo más importante al diseñar esta cobertura es analizar los principios estructurales por los cuales surgieron las formas, así como conceptualizar el movimiento que tienen, para reformularlo en la arquitectura, no simplemente copiar la forma que tienen estos organismos.*

*En el presente trabajo se tratará de mostrar que es lo necesario para llegar a una obra de arquitectura que tienda a una **forma orgánica** con calidad y sea **retráctil**, mediante tres grandes grupos, se analizará desde un punto de vista biológico, desde un punto de vista estructural y desde un punto de vista cinético, para luego a partir de estas tres grandes ramas proponer y diseñar una cobertura con las características antes mencionadas.*

## **B. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

*Las sociedades y las personas cambian a través del tiempo, buscan mejorar, tener siempre algo más, evolucionar con respecto al estado anterior, al mismo tiempo cambian también sus necesidades, como dice Bernd Baier<sup>4</sup>: ..."Pero la arquitectura desde un punto de vista histórico no es nada estable ni definitivo. Debe entenderse como un proceso que corresponde a la evolución de lo vivo"... "Este proceso puede dirigirse si se concibe la arquitectura de tal manera que se adopte a las nuevas exigencias con correspondiente velocidad y poco gasto"...; por esto, los edificios deberían poder cambiar y lograr adaptarse a las necesidades de las personas.*

*El problema principal es que en la actualidad, no existen muchos edificios que se logren adaptar a las necesidades de las persona a través del tiempo, según Johann-Gerhard Helmcke<sup>5</sup>: ..."Desde el lado de la arquitectura se dice: cread sólo personas que tengan la propiedad de adaptarse a nuestros edificios. Como biólogo y antropólogo os exijo para los hombres actuales y futuros: cread edificios que puedan adaptarse a la manera de ser individual de las personas"...; ni tampoco existen muchos de estos edificios que se adapten a*

<sup>3</sup> Montaner, Joseph María. "Después del Movimiento Moderno, Arquitectura de la Segunda Mitad del Siglo XX". Editorial Gustavo Gili, SA. Barcelona, España. 1993

<sup>4</sup> Bernd Baier, "Adaptación a formas de vida. Construcciones en África del Norte"

<sup>5</sup> Johann-Gerhard Helmcke, "¿Límites de la adaptación humana?"

*las embestidas de los fenómenos atmosféricos, ni tampoco a los cambios climáticos, como son: la lluvia, el sol, el viento, el granizo, la nieve, etc....; con esto me refiero, a que no existen edificios que se adapten a estos fenómenos en el momento en el que suceden.*

*Debido a que las personas no tienen mucho conocimiento sobre estas coberturas, y por lo tanto, no las usan, es que se crea el mito de que éstas son muy costosas; ciertamente éstas estructuras en un primer instante parecen costosas pero mientras pasa el tiempo te das cuenta que no lo son, porque logras adecuar dos espacios con diferentes características en un solo espacio, como lo menciona Friedemann Kugel<sup>6</sup>: ..."La piscina "todo tiempo" sustituye a dos piscinas: la de verano al aire libre y la de invierno cubierta. Pueden ahorrarse cifras importantes en terreno, costes de construcción, funcionamiento y mantenimiento. Del mismo modo se comporta en edificios cuya ventaja reside en una múltiple actividad...Los edificios para varias actividades pueden alcanzar un máximo grado de eficacia por medio de la adaptabilidad.*

*Como toda estructura innovadora, y ésta no va a ser una excepción, también cuenta con un problema estructural que es importante mencionar, este sería: ¿cómo hacer esta cobertura orgánica y retráctil mucho más eficiente?, o sea, que recorran más luces con la menor cantidad de material, sin descuidar el espacio, la estructura, la función, las fuerzas o los esfuerzos que en ella interactúan y ¿hasta qué punto debemos conocer acerca de los principios o conceptos estructurales, de fuerzas y esfuerzos en la materia?, manejados por los ingenieros, así como nosotros conocemos los conceptos arquitectónicos, para tener como resultado una obra de arquitectura que tienda a una forma orgánica y retráctil con calidad; o como demostrar que estas obras arquitectónicas orgánicas forman parte del entorno, que son una unidad con la naturaleza y no solo un mero edificio colocado sobre el terreno.*

*Esta cobertura orgánica retráctil no sólo necesita conceptos arquitectónicos o principios estructurales de la materia, sino también conceptos de movimiento; en este punto, por lo tanto es necesario conocer los principios mecánicos que dan como resultado dicho movimiento, siendo este otro de los problemas encontrados en la investigación.*

---

<sup>6</sup> Friedemann Kugel, "Cubiertas Transformables y Construcción Adaptable"

### **C. MOTIVACIÓN**

*Se sabe que la arquitectura orgánica se basa en modelos biológicos, que al ser creados por la naturaleza tienen un cierto equilibrio y perfeccionamiento, siendo éste uno y solo uno de los factores que afectan este tipo de arquitectura; lo que se trata de demostrar es que esta arquitectura orgánica no sólo se basa en estos modelos, en su calidad espacial o en su eficaz funcionamiento, sino que también poseen ciertos principios estructurales de formación, que se sustentan mediante la fuerza y los esfuerzos de los materiales, tanto así que no es una forma hecha solamente por la forma sino que tiene sus raíces en un principio estructural básico o complejo.*

*Pero esta cobertura o estructura orgánica, puede ser móvil y transformable, puede realizar diferentes funciones en un mismo espacio, y así poder adaptar la arquitectura a los diferentes cambios o fenómenos climáticos, producidos por la naturaleza o los cambios producidos por el hombre.*

### **D. OBJETIVOS GENERALES**

- 1. Uno de los objetivos de este trabajo de investigación es observar la naturaleza, comparando y analizando mediante obras ya construidas o mediante prototipos, como ésta ha desarrollado sus diferentes modelos de una forma más eficaz a través de los siglos.*
- 2. Observar, conocer y analizar los modelos de estructuras que se pueden elaborar mediante el doblado de láminas (origami) en diferentes direcciones y formas, como alternativa de estructuración.*
- 3. Otro de los objetivos es poder conocer, observar, recopilar información y analizar las grandes obras de ingeniería estructural; saber qué principios han utilizado, cuáles son las principales cargas o fuerzas que intervienen en cada estructura y también que tipo de materiales se han usado para poder tener claro los conceptos que luego se utilizarán; siendo también importantes las grandes obras de arquitectura orgánica, así como sus respectivos autores, tales como: Pier Luigi Nervi, Eero Saarinen, Antoni Gaudí, Oscar Niemeyer, Santiago Calatrava, Frank Lloyd Wright, Kenzo Tange, Jörn Utzon, Renzo*

*Piano, Charles Hoberman, Koryo Miura, etc.; para así tener una idea de cómo la arquitectura orgánica y las estructuras retráctiles están presentes en el mundo.*

4. *Recopilar información y conocer que tipos de movimiento y mecanismos puede llegar a tener una estructura retráctil que permitan elaborar alternativas estructurales.*
5. *Finalmente, otro de los conocimientos que es necesario tener en cuenta, son las nuevas tecnologías que se encuentran en el mercado (materiales, instrumentos, herramientas, etc.), así como los aspectos innovadores y tecnológicos de los últimos años.*

#### **E. OBJETIVO ESPECÍFICO**

1. *Diseñar una **COBERTURA DE FORMA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL**, para comprobar y demostrar en la práctica (simulación) que estos conceptos y principios son válidos y aplicables.*

## **F. MARCO TEÓRICO**

1. *Conceptos de Arquitectura Adaptable*
  - 1.1. *"Arquitectura Adaptable" de Ewald Bubner.*
  - 1.2. *"Construcciones Adaptables" de Rudolf Wienands.*
  - 1.3. *"Construcción Adaptable" de Dieter Blümel.*
2. *Conceptos de Organicidad*
  - 2.1. *Conceptos de Arquitectura Orgánica*
  - 2.2. *Con referencia a los conceptos biológicos es necesario observar la naturaleza.*
3. *Conceptos Estructurales*
  - 3.1. *Conceptos de diseño estructural para arquitectos del Ingeniero Roberto Machicao Relis.*
  - 3.2. *Conceptos de por qué no se caen las estructuras de J. E. Gordon.*
  - 3.3. *Principios de diseño estructural de los arquitectos que realicen obras de arquitectura orgánica.*
4. *Conceptos Cinéticos*
  - 4.1. *Conceptos de movimiento "Cubiertas Transformables y Construcción Adaptable" de Friedmann Kugel.*
  - 4.2. *Conceptos mecánicos que usan diferentes arquitectos e ingenieros como: Santiago Calatrava, Renzo Piano, Charles Hoberman, Koryo Miura, Buckminster Fuller, etc.*
5. *No se han hallado investigaciones FAUA sobre coberturas orgánicas retráctiles; sólo se han encontrado algunas tesis con algunas semejanzas como son: "Analogías Biológicas" de Liliana Ninaquispe (2004); "Sistema de Estructuras Tensionadas" de Raúl Huauya Tomaylla (1999); y la tesis "Estructuras y Movimiento" de Alberto Venero Monzón (1975) (que no se encontró en la Biblioteca FAUA).*

## **G. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

*Es importante porque al utilizar este conocimiento podrían realizarse mega-obras de mayor interés público y nacional, a un menor costo; obras con mayor valor estético y estructural, que no pasen desapercibidos en la ciudad y sirvan como objetos que se identifiquen con el lugar y en el lugar. Además que tendría, a su vez, un valor económico y turístico en la zona.*

*Mediante la creación de estas coberturas que tiendan a una forma orgánica y sean retráctiles se realizaría también un tipo de arquitectura adaptable que se podría utilizar para diferentes funciones en diferentes momentos.*

## **H. ALCANCES Y LIMITACIONES**

*Una posible limitación de este trabajo de investigación es la falta de conocimiento sobre algunos materiales que se piensan utilizar, así como algunos principios mecánicos necesarios para la realización de la cobertura móvil y retráctil que se piensa diseñar.*

*Pero la limitación más clara va a ser la construcción de esta cobertura orgánica retráctil que está pensada para cubrir amplias luces, aunque en la práctica esta se desarrollaría a una menor escala, debido a diversos factores como el factor tiempo, el factor económico, etc.*

## **I. ESTADO DE LA CUESTIÓN Y METAS**

*A pesar de la globalización y de la Internet, este tipo de coberturas no se han difundido mucho en el país, y por lo tanto, no se han ejecutado estructuras retráctiles importantes hasta el momento.*

*Se conoce mucho sobre la arquitectura orgánica y las bioformas, que en estos últimos años han tenido mayor importancia y desarrollo, así como mayores herramientas para poder desarrollarse; a pesar de todo esto, las estructuras orgánicas retráctiles no han sido muy exploradas, salvo por algunos arquitectos e ingenieros, tomando el tema de una manera sesgada, por esta razón se ha decidido realizar la presente investigación.*

*Sin embargo, existen algunos ejemplos de estructuras retráctiles importantes en el mundo, que las podríamos clasificar de dos formas, según la obra (varios proyectos de las mismas características) de un diseñador o según el proyecto en sí (un solo proyecto de estas características). De acuerdo a la primera clasificación, podríamos mencionar la obra de Santiago Calatrava, tales como: La Ciudad de las Artes y Ciencias, ubicado en Valencia, España; El Estadio Olímpico, ubicado en Atenas, Grecia; El Pabellón de Kuwait, ubicado en Sevilla, España; entre otros. De acuerdo a la segunda clasificación podríamos mencionar: El Estadio Toyota, del arquitecto Kisho Kurokawa ubicado en Toyota, Japón; El Reliant Stadium, de los arquitectos Hermes Reed Architects & Lockwood, Andrews and Newnam ubicado en Houston, Texas, USA; Bank One Ball Park, de los arquitectos Ellerbe Becket y Bill Jonson, ubicado en Phoenix, USA; El Skydome, de los arquitectos Robbie/Young + Wright Architects ubicado en Toronto, Canadá; Safeco Field de los arquitectos NBBJ, ubicado en Washington, USA; El Minute Maid Park, de los arquitectos HOK Sport, ubicado en Texas, USA; El Oita Stadium, de los arquitectos Kurokawa Kisho Architectural Urban Design, Takenaka Corporation ubicado en Oita, Japón; Fukuoka Dome de los arquitectos Takenaka Corp. and Maeda Corp, ubicado en Fukuoka, Japón; Millennium Stadium, de los arquitectos HOK+LOBB Partnership y WS Atkins, ubicado en Cardiff, Inglaterra; entre otros.*

*Sobre la variedad de libros que traten sobre el tema, se han encontrado textos principalmente sobre la obra de Santiago Calatrava (que se menciona en la bibliografía); una breve clasificación en una recopilación hecha por Frei Otto de un Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL); ligeras menciones en algún texto referente a los estadios en el mundo; pero no se ha encontrado un libro especializado en estas estructuras retráctiles o que pueda explicar claramente sus características.*

*Finalmente, no se han encontrado modelos sobre estructuras laminares retráctiles tipo origami como el que se propone realizar, siendo éste muy poco tratado hasta el momento.*

### **J. METODOLOGÍA DEL PLAN DE TRABAJO DE LA INVESTIGACIÓN**

- 1. Se realizarán observaciones de las diferentes formas en la naturaleza, y la adaptación en su entorno y cómo esta se asemeja a las formas arquitectónicas orgánicas, mediante la aplicación de principios similares, presentando un análisis formal, funcional y de adaptación en su medio.*
- 2. A continuación se observará y analizarán las estructuras retráctiles ya realizadas hasta el momento, evaluándolas, para así poder elaborar estructuras arquitectónicas que permitan formas orgánicas.*
- 3. Luego se analizarán mecanismos móviles aplicables a la estructura, que permitan realizar una estructura arquitectónica retráctil.*
- 4. El siguiente paso será realizar una propuesta de diseño de una cobertura orgánica retráctil, mostrando todas sus características, desde el material, dimensiones, usos, etc.*
- 5. Y finalmente, se realizará una confrontación de la hipótesis planteada, mediante el análisis, la simulación, la modelística, etc., llegando así a algunas conclusiones y recomendaciones.*

## **K. HIPÓTESIS**

*Para conceptualizar el diseño estructural ligado al diseño arquitectónico orgánico es necesario relacionar entre sí, conceptos ligados al proyecto arquitectónico, como forma, función y representación; y ligados a los aspectos estructurales y al manejo de la fuerza y materia (ingeniería); para llegar finalmente a una síntesis formal; contando desde su concepción, con estos principios de diseño estructural y arquitectónico, que hacen de ésta una arquitectura realizable, como lo menciona el Ing. Roberto Machicao<sup>7</sup>: "...el arquitecto organiza el ESPACIO y el ingeniero organiza la MATERIA; pero estas dos responsabilidades están relacionadas a través de la FUNCIÓN, en el caso del arquitecto y la FUERZA, en el caso del ingeniero para culminar en una FORMA".*

*Tener una cobertura que tienda a una forma orgánica y sea retráctil, además de proporcionar una estructura que se basa en modelos biológicos, da posibilidades distintas del espacio que delimitan, así como distintas funciones (flexibilidad), a medida que ésta se expande o se contrae.*

*El arte del origami puede usarse como una herramienta, en el diseño de coberturas retráctiles, muy útil para lograr diferentes formas que puedan sostenerse por sí mismas, ésta incluye una variedad de modelos con diferentes características, que tomándolas con un sentido formal, estructural o constructivo pueden dar diferentes soluciones no tomadas en cuenta anteriormente.*

**H: "Es posible diseñar una cobertura arquitectónica orgánica y retráctil a partir de modelos y prototipos de origami (modelos hechos en base al doblado de papeles)".**

---

<sup>7</sup> Ing. Roberto Machicao Relis, "Diseño Estructural para Arquitectos", Editorial Arius S.A., Primera Edición, Abril 1990

# II

## CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **1. CONCEPTOS DE ARQUITECTURA ADAPTABLE**

#### **1.1. ARQUITECTURA ADAPTABLE (Ewald Bubner)**

*Según Ewald Bubner<sup>7</sup> el concepto de adaptación -adaption o adaptation- deriva de procesos del mundo orgánico. Describe la acomodación de un organismo o de distintos miembros de él a su medio, para conservar o mejorar las condiciones de vida.*

*También nos dice que en Biología, Psicología y Sociología se designan como adaptables las estructuras naturales (seres vivos); en la construcción, en cambio, las estructuras artificiales (obras). Si lo consideramos exactamente, las estructuras artificiales no tienen la capacidad de adaptarse, sino que son adaptadas, es decir, el constructor tiene la capacidad de construir las obras de tal manera que puedan adaptarse a las correspondientes necesidades humanas.*

*En la adaptación de obras tratamos con construcciones que por su estructura permiten cambios. Por lo tanto, el concepto de cambio de un edificio o en una parte de él puede desmembrarse según Bubner en:*

- a) Conformabilidad:** que trata sobre el cambio de la forma de la obra.
- b) Movilidad:** que trata sobre el cambio de lugar o de posición.
- c) Planificación del período útil:** que trata sobre la planificación del tiempo o de los plazos de realización de la obra.
- d) Amplitud:** que permite la modificación del interior de un espacio cubierto.

#### **1.2. CONSTRUCCIONES ADAPTABLES (Rudolf Wienands)**

*La industrialización sigue las leyes de nuestro sistema capitalista y sus mercados; ambos se orientan más por el capital que por los seres humanos. Una mayor industrialización podría significar una tecnología más dura y con ella menos adaptación y humanidad según Rudolf Wienands<sup>8</sup>.*

---

<sup>7</sup> Ewald Bubner, "Arquitectura Adaptable, Resumen Histórico", del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1979

<sup>8</sup> Rudolf Wienands, "Construcción de viviendas: Más Construcción por el individuo en la Construcción por sistemas", del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1979

*Esta construcción adaptable debe ser fácil de llevar a cabo por los usuarios, y por lo tanto ser fácil de modificar o adaptar a las necesidades que surjan en el momento y tener un sistema de agrupación para que éstas no crezcan en forma caótica o desordenada, como dice Wienands<sup>9</sup>: "La construcción adaptable debe posibilitar las reacciones espontáneas del usuario. Para ello necesita una tecnología blanda, que ofrezca a cada usuario más posibilidades de realizarse, como necesidad existencial básica del hombre...una nueva arquitectura regional con una riqueza de sistemas de forma local. Todo esto dentro de unas estructuras marco, que ordenarían, agruparían y darían forma".*

*Para esto Wienands da cuatro principales posibilidades de comportamiento frente a las modificaciones:*

- a) Multiplicidad de usos o flexibilidad:** *que constan de formas que no estén fijadas excesivamente por la función, grandes envolturas, grandes marcos, mega scale, plan libre (casa campesina, Chicago-frame, ideas domino de Le Corbusier, tiendas de Frei Otto, cúpulas de Fuller).*
- b) Modificación constructiva o variabilidad:** *que son formas fácilmente transformables, elementos transformables que definen espacios, objetos adaptables (paredes de barro de la antigüedad, tabiques y cápsulas).*
- c) Modificación del lugar con elementos definidores de espacio transportable o movilidad:** *son todos los elementos móviles, que nadan, vuelan o circulan; y todos los elementos desmontables, como superposición de objetos y concepciones adaptables (remolques, Mobilhomes, barcos, aviones, laboratorios espaciales, tiendas, mercados, barracas, construcciones para exposiciones, etc.).*
- d) Capacidad de adaptación humana o adaptabilidad:** *La adaptabilidad descansa aquí unilateral y fuertemente en la capacidad de adaptación y resistencia del usuario: la gran adaptabilidad entre forma y contexto (pueblos o Trullis, casas japonesas, castillos barrocos, etc.).*

### **1.3. CONSTRUCCIONES ADAPTABLES (Dieter Blümel)**

*La adaptación biológica en el sentido lamarckiano tiene lugar a través del cambio del ser vivo como consecuencia de la acción continua del medio*

---

<sup>9</sup> Rudolf Wienands, "Construcción de viviendas: Más Construcción por el individuo en la Construcción por sistemas", del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1979

*(adaptación protectora: cambio de color de peces, o la adaptación a los distintos modos de vida: modificación de la estructura del cuerpo en parásitos).*

*Según Blümel<sup>10</sup> para sobrevivir se establece un equilibrio entre el ser vivo y sus necesidades de una parte y el medio de otra. Si como consecuencia de distintas condiciones del medio entran en actividad mayor ciertos órganos, éstos se hacen más fuertes (adaptación funcional) y los órganos menos solicitados se atrofian a causa de la inactividad.*

*Para este proceso constructivo se dan tres puntos importantes:*

**a) Fabricación:** *Debe alcanzarse una funcionalidad óptima con el mínimo gasto posible de material y energía; se proyectan los edificios modificables y de corta existencia, deben ser muy ligeros. El peso del material se considera en relación con la vida del edificio y la duración de cada función.*

**b) Disponibilidad, características de la variabilidad y conformabilidad:** *variabilidad de la envoltura exterior o del espacio interior, que está dado por:*

**Amplitud:** *edificios no modificables que se consideran adaptables.*

**Movilidad:** *variación del lugar o de la posición de un edificio o de un complejo.*

**Duración a plazo fijo:** *partes del edificio, edificios o complejos proyectados para un tiempo limitado.*

**c) Eliminación tras cumplir su objetivo:** *cuanto más ligero sea un edificio y menos material se haya empleado en él, tanto más fácil será su eliminación. El material o los elementos de la construcción pueden descomponerse o ser empleados con otros objetivos.*

*De estos tres conceptos de adaptabilidad se pueden tomar algunas variables que nos servirán para el análisis, estas son:*

1. CONFORMABILIDAD O FLEXIBILIDAD
2. AMPLITUD, VERSATILIDAD O VARIABILIDAD
3. MOVILIDAD
4. FABRICACIÓN O ECONOMÍA
5. PLANIFICACIÓN DE PERIODO ÚTIL

---

<sup>10</sup> Dieter Blümel, "¿Cómo se plantea en la actualidad el problema de la Construcción Adaptable", del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1979

## **2. CONCEPTOS DE ORGANICIDAD: COMPARACIÓN CON LOS ELEMENTOS DE LA NATURALEZA**

### **2.1. ARQUITECTURA ORGÁNICA**

*Wright acuñó el término de arquitectura orgánica, cuya idea central consiste en que la construcción debe derivarse directamente del entorno natural. Desde los inicios de su carrera rechazó los estilos neoclasicistas y victorianos que imperaban a finales del siglo XIX. Siempre se opuso a la imposición de cualquier estilo, convencido como estaba, de que la forma de cada edificio debe estar vinculada a su función, el entorno y los materiales empleados en su construcción.*

*Este último siempre fue uno de los aspectos donde demostró mayor maestría, combinando con inteligencia todos los materiales de acuerdo con sus posibilidades estructurales y estéticas. Otra de sus aportaciones fundamentales a la arquitectura moderna fue el dominio de la planta libre, con la que obtuvo impresionantes espacios que fluyen de una estancia a otra.*

*Los arquitectos modernos conciben la arquitectura orgánica como la fusión de las diferentes partes o elementos de un edificio en un todo orgánico que imita la naturaleza y se inserta en ella como parte integrante de la misma. La arquitectura orgánica constituye una actitud cultural peculiar y autónoma, cuyos signos se manifiestan antes, durante y después del periodo racionalista.*

*Las características del estilo son: el sentido orgánico de expansión de la planta cruciforme, el acento en las líneas horizontales, la verticalidad de los elementos nodos, el uso de los materiales, la dinámica de las líneas, las pesadas cubiertas de protección, las chimeneas simbólicas, las texturas de los muros, aludiendo en el interior al espacio exterior.*

*Concede mayor valor a la espacialidad de la arquitectura, entiende la elaboración desde el interior hacia el exterior, de la misma manera que lo hace el movimiento orgánico.*

*Desde el punto de vista lingüístico la arquitectura orgánica aparece más como una tendencia del gusto con formas libres, ángulos diferentes de 90º,*

*variedad y riqueza de materiales, un naturalismo mimético, que como un código estilo.*

*Puede considerarse surgido con la revolución industrial, formando parte del sector de discrepancia que acompañó siempre al desarrollo tecnológico.*

## **2.2. COMPARACIÓN BIOLÓGICA CON ESTRUCTURAS ANIMALES**

*La arquitectura orgánica se basa, como su nombre lo dice, en seres orgánicos vivos; toma de estos organismos un concepto, analizándolo y plasmándolo en una obra arquitectónica que mantiene las características de ese organismo, como puede verse en la figura 1. En este caso se muestra la analogía de la estructura animal y la estructura arquitectónica, que puede darse conceptualizando un movimiento, una función, una estructura exterior o interior, etc.*

*Esta analogía se refiere no sólo a conceptualizar la forma del organismo, sino analizarla y comprender por qué ese ser logra tener esa forma, qué es lo que rige a esa forma o por qué la naturaleza la ha hecho así; en otras palabras no se trata de copiar la forma, sino conceptualizar los principios por los cuales se logra tener esa forma; al hacer esto te darás cuenta que la forma no es lo más importante, sino lo que está detrás de ella.*



**Figura 1.**  
*Apunte del ojo de Santiago Calatrava (izquierda).  
Ojo humano (derecha).*

*Fuente: Santiago Calatrava: The Poetics of Movement de Alexander Tzonis.*

*En el Planetario de la Ciudad de las Artes y Ciencias de Calatrava (figura 2) se ve claramente como el arquitecto ha conceptualizado el ojo humano en una obra arquitectónica dándole el mismo movimiento y la misma estructura que utiliza el ojo humano para protegerse.*

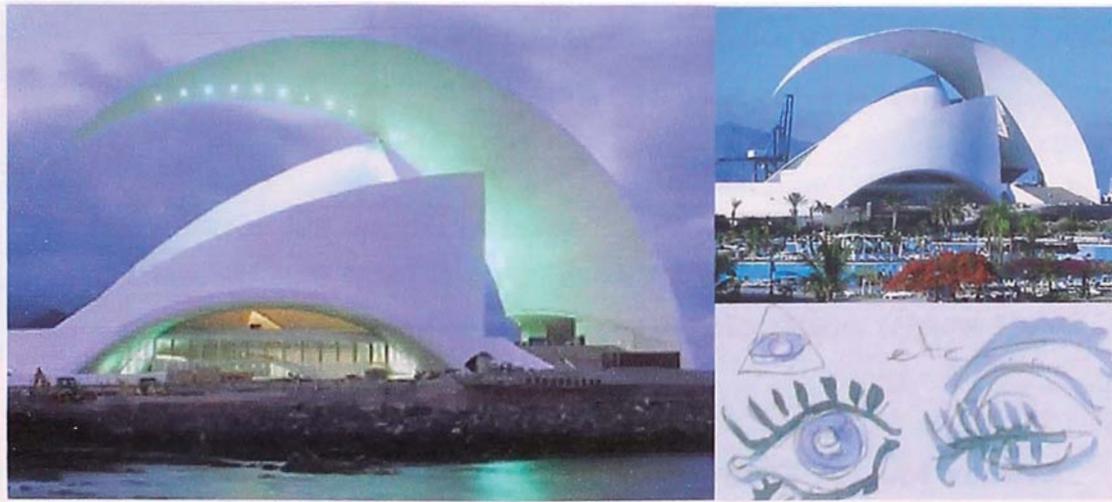


**Figura 2.** Ciudad de las Artes y Ciencia, Valencia, España, de Santiago Calatrava.

Fuente: Santiago Calatrava: *The Poetics of Movement* de Alexander Tzonis.

*Esta estructura se abre y se cierra como el párpado del ojo humano para protegerse de los fenómenos externos, y analógicamente la esfera interior sería la pupila del ojo humano.*

*La Sala de Opera de Tenerife de Calatrava (figura 3) también utiliza la semejanza con el ojo humano, pero a diferencia del anterior este lo logra en forma estática y no cinética.*



**Figura 3.** Opera House de Tenerife de Calatrava (arriba, superior derecha), Apunte del ojo de Santiago Calatrava (inferior derecha).

Fuente: [www.calatrava.com](http://www.calatrava.com), Santiago Calatrava: *The Poetics of Movement* de Alexander Tzonis, [xdem.free.fr/uploaded\\_images/tenerife\\_opera\\_house\\_04-778512.jpg](http://xdem.free.fr/uploaded_images/tenerife_opera_house_04-778512.jpg)

*La Sala de Conciertos (figura 4) de Renzo Piano asemeja un escarabajo con la misma forma y estructura exterior. Con un entramado de malla de fierro en el interior del concreto como analógicamente sucede con las plumas de un ave.*

COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL



**Figura 4.**  
Sala de Conciertos de Piano (izquierda)  
Escarabajo (derecha)

Fuente: DOMUS N° 858 – Abril 2003,

[www.k12science.org/curriculum/diproj2/03A/peru\\_FCS\\_medina/03-04-26\\_H20\\_Escarabajo%20Elmidae%201.jpg](http://www.k12science.org/curriculum/diproj2/03A/peru_FCS_medina/03-04-26_H20_Escarabajo%20Elmidae%201.jpg)



Fuente: DOMUS N° 858 – Abril 2003

[www.k12science.org/curriculum/diproj2/03A/peru\\_FCS\\_medina/03-04-26\\_H20\\_Escarabajo%20Elmidae%201.jpg](http://www.k12science.org/curriculum/diproj2/03A/peru_FCS_medina/03-04-26_H20_Escarabajo%20Elmidae%201.jpg)

**Figura 5.** Detalle del recubrimiento de la Sala de Conciertos de Piano (Izquierda)  
Detalle de unión de pieles del escarabajo (derecha)

*Se puede mostrar que no sólo es una copia de la forma sino que también de su estructura, en este caso, la unión entre las pieles o recubrimientos de su arquitectura como el recubrimiento de la piel del escarabajo. (Figura 5)*

### **2.3. COMPARACIÓN DE EDIFICIOS ORGÁNICOS – ESTRUCTURA VEGETAL**

*Otra de las formas orgánicas que existe, está dado por la analogía de la estructura vegetal y la estructura arquitectónica, la estructura está formada por nervaduras en menor escala, un conjunto de partes, que luego se unen entre sí para formar un todo (gran estructura); estas estructuras asemejan lo que en un principio lograron las plantas, creando este sistema de nervios que se unen entre sí para formar una estructura más sólida y de mayor escala.*

*Un ejemplo claro de esto es lo que logró Pier Luigi Nervi creando este mismo*



*sistema de nervaduras en las vigas para así poder soportar el techo, o realizar este mismo sistema para cubrir luces más amplias, siendo estas nervaduras sostenidas por elementos verticales (columnas) que asemejan la función que cumplen los troncos de los árboles en la naturaleza. (Figura 6)*

**Figura 6.**  
*Fábrica de lana Gatti de Pier Luigi en Roma (izquierda).*

*Fuente: [www.canadianarchitect.com/asf/principles\\_of\\_enclosure/enclosure\\_types/images/nervi1.gif](http://www.canadianarchitect.com/asf/principles_of_enclosure/enclosure_types/images/nervi1.gif)*

*En si la analogía sería: las columnas cumplirían la función de los troncos, las ramas serían las vigas principales y el techo (losa) cumpliría la función de las hojas, dando el cerramiento superior protegiendo lo que se encuentre debajo de él.*



**Figura 7.**  
*Fábrica de lana Gatti de Pier Luigi en Roma (superior).*

*Árbol (izquierda).*

*Detalle de nervadura de una hoja (derecha superior).*



*Detalle de nervadura del techo del edificio de estática y tecnología de Pier Luigi Nervi (inferior derecho).*

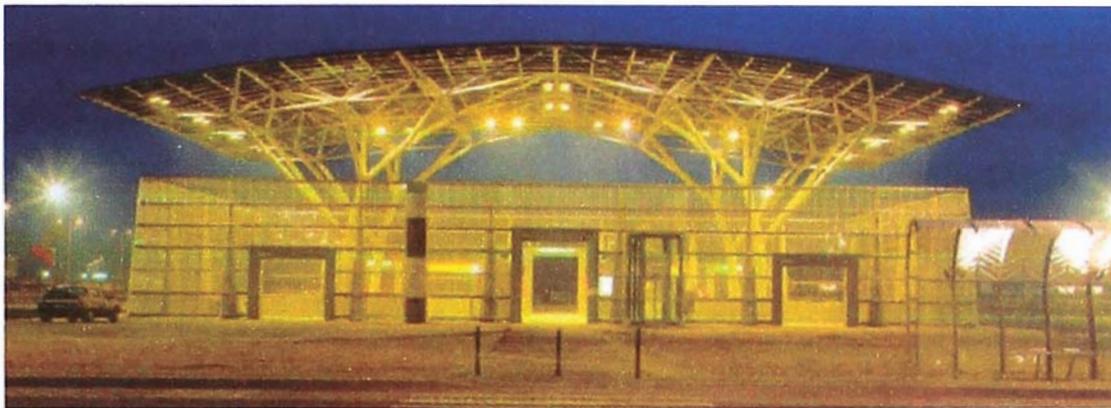
*Fuente: [arscomica.org/nervi.html](http://arscomica.org/nervi.html)  
[www.flair-tw1.de/studienarbeit.htm](http://www.flair-tw1.de/studienarbeit.htm)*

*Otro ejemplo claro está dado por la cubierta del Aeropuerto de Stuttgart de Meinhard von Gerkan o la cobertura de la Estación de metro de Lyon de Jourda & Perraudin que asemejan también al follaje de los árboles. (Figura 8)*



**Figura 8.**  
*Aeropuerto de Stuttgart de M. von Gerkan (superior izquierdo),  
Árbol (superior derecho), Estación de metro de Lyon de Jourda & Perraudin (inferior)*

Fuente: Atlas de Arquitectura Actual de KÖNEMANN  
[www.arquitecturaorganica.com/inicio.html](http://www.arquitecturaorganica.com/inicio.html)



*De estos conceptos de organicidad se pueden tomar algunas variables que nos servirán para el análisis, estas serían:*

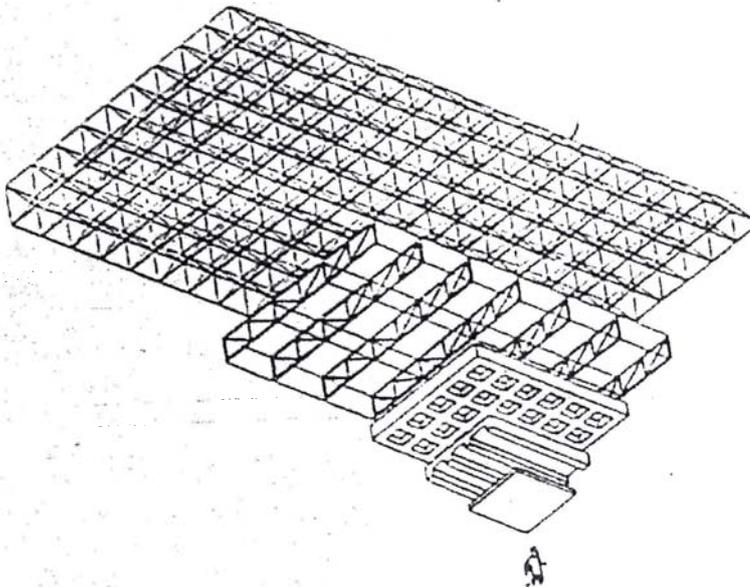
1. **FORMA**
2. **FUNCIÓN**
3. **ENTORNO**
4. **MATERIAL**

### 3. CONCEPTOS ESTRUCTURALES

#### 3.1. PRINCIPIOS ESTRUCTURALES<sup>11</sup>

##### 3.1.1. La escala estructural

*De la misma forma que las patas de una gacela no podrían parecerse a las de un elefante por razones obvias, en un edificio el esqueleto estructural tendrá una escala en sus proporciones que responderá al tipo de material escogido y la forma decidida por el diseñador. (Figura 9)*



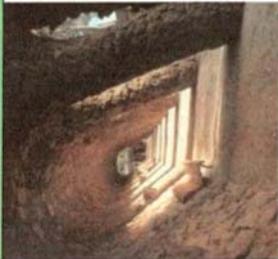
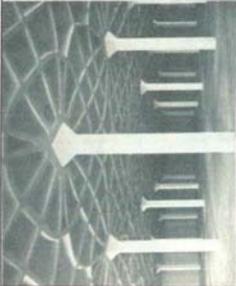
*Figura 9.  
Diferentes tipos de  
estructuras para  
determinar la escala  
estructural*

*Fuente: Diseño Estructural para Arquitectos del Ingeniero Roberto Machicao Relis.*

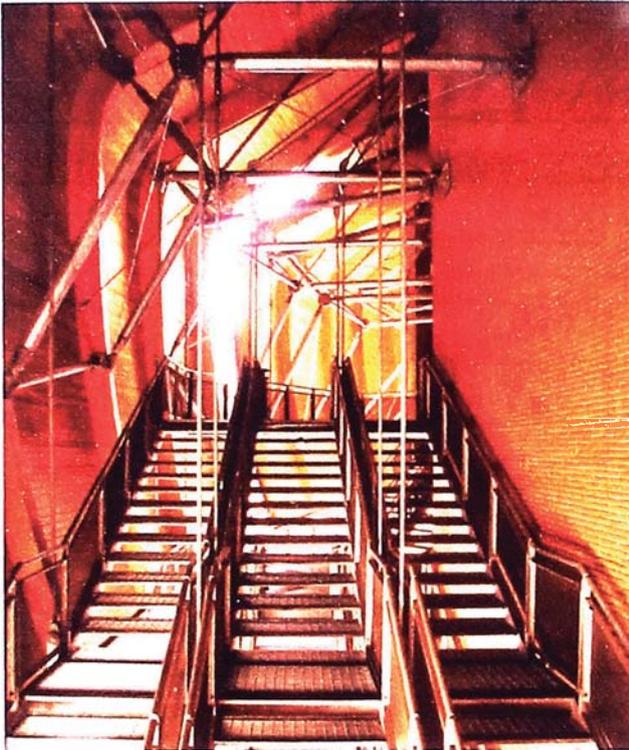
*El proceso metamórfico también se da en la naturaleza a través de una variación permanente de las proporciones. Conforme los cuerpos crecen la materia se distribuye de una manera estructuralmente eficiente para lograr mayor resistencia con menos materia, por lo tanto esto responde a una percepción de la estructura con respecto a la masa y a su forma.*

<sup>11</sup> Ing. Roberto Machicao Relis, "Diseño Estructural para Arquitectos", Editorial Arius S.A., Primera Edición, Abril 1990

El tema de la escala estructural se comparará mediante ejemplos con edificios ya construidos según la función, forma, entorno y material como se muestra en la siguiente matriz:

| EDIFICIO   | FUNCION  | FORMA  | ENTORNO   | MATERIAL  |
|--|--|--|---|---|
|  <p><b>Parque Güel – Antoni Gaudí - España</b><br/>Fuente: Gaudi Editorial Escudo de Oro</p>  | <p>Debido a la escala que tiene este edificio con ambientes amplios, techos altos y elementos sinuosos, se puede dar una función de ocio, de relajación o reflexión, un espacio de tranquilidad, en este caso en un parque de entretenimiento.</p> | <p>La forma orgánica que da la escala estructural de este edificio, representada por las grandes estructuras de piedra y la manera en que son tratadas; dan una sensación estructural muy fuerte y contundente, sobretodo por la masa del mismo.</p> | <p>Aunque las estructuras del edificio sean muy densas y tengan mucha masa, las diferentes aberturas y transparencias que tiene el edificio en la parte inferior y la superficie abierta en la parte superior, logran que éste se logre integrar muy bien con la naturaleza y con el entorno que lo rodea.</p>        | <p>El material utilizado para su recubrimiento es la piedra, este le da una escala estructural mucho mayor con columnas de mayor sección transversal y mucho más masa.</p>  |
|  <p><b>Fábrica de Lana Gatti-Pier Luigi Nervi - Italia</b><br/>Fuente: <a href="http://www.flair-tw1.de/studienarbeit.htm">www.flair-tw1.de/studienarbeit.htm</a></p>                           | <p>La escala estructural de columnas esbeltas le permite a este edificio tener grandes luces y un espacio amplio, y se pueden dar funciones de fábrica, oficinas o similares.</p>  | <p>La forma que asemeja a las nervaduras de las hojas, dan a la escala estructural del edificio una gran ligereza y esbeltez, ayudados por la altura de los techos, a su vez que dan una cierta amplitud del espacio.</p>                            | <p>Debido al concreto armado se puede lograr unas estructuras más esbeltas; la estructura del techo es de nervaduras varios sentidos para poder resistir el peso de la losa y a la vez tener luces mayores. Esta esbeltez del material hace que la escala del mismo se muestre más ligera de lo que realmente es.</p> | <p>Debido al concreto armado se puede lograr unas estructuras más esbeltas; la estructura del techo es de nervaduras varios sentidos para poder resistir el peso de la losa y a la vez tener luces mayores. Esta esbeltez del material hace que la escala del mismo se muestre más ligera de lo que realmente es.</p> |
|  <p><b>Centro Cultural de Tjibaou - Renzo Piano - Nueva Caledonia</b><br/>Fuente: <a href="http://www.pimkey.com/~tollemet/tmag1/visit1.htm">www.pimkey.com/~tollemet/tmag1/visit1.htm</a></p> | <p>Debido a su estructura, el uso que se le podría dar debería ser edificios que necesiten mucha ventilación y transparencia, como algún edificio para el entretenimiento público.</p>   | <p>La forma del edificio le da una escala monumental y una densidad mayor de la que tiene el material. La forma del edificio ayuda a incrementar la escala del mismo.</p>  | <p>Debido a su escala estructural y la forma en que es usada, se podría decir que se relaciona mucho con la naturaleza de su entorno y con la cultura de la zona.</p>   | <p>La madera y el metal te dan una escala diferente de la estructura, más ligera, flexible y transparente; a su vez, al ser utilizado en mayor cantidad le da una densidad mayor.</p>   |
|  <p><b>Aeropuerto de Stansted - Norman Foster - Inglaterra</b><br/>Fuente: Atlas de Arquitectura Actual de KÖNEMANN</p>   | <p>Debido a sus grandes luces y a su escala se puede usar en espacios públicos que necesiten amplitud como aeropuertos, estaciones entre otros.</p>  | <p>La forma de la estructura le da al edificio una escala estructural mucho más ligera y transparente; debido a sus estructuras tridimensionales en columnas y vigas.</p>  | <p>Debido a las grandes luces (36 m. entre soporte y soporte), a su gran altura y a la transparencia del edificio, se logra una integración con el entorno existente.</p>   | <p>La estructura de metal es más ligera y se conforma, debido a su pequeña sección, en piezas tridimensionales. La escala estructural del material es más ligera y transparente.</p>  |

### 3.1.2. La relación forma – estructura



Cada material tiene sus características físicas y mecánicas que se manifiestan básicamente en su peso y comportamiento estructural. Estos dos parámetros, nos van a determinar formas que a su vez debido al comportamiento estructural nos darán proporciones. (Figura 10)

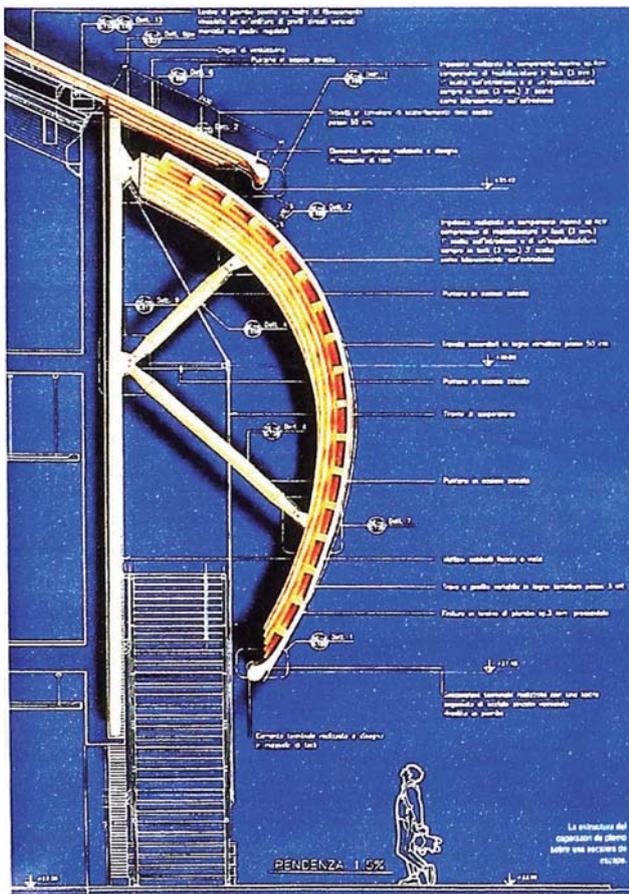
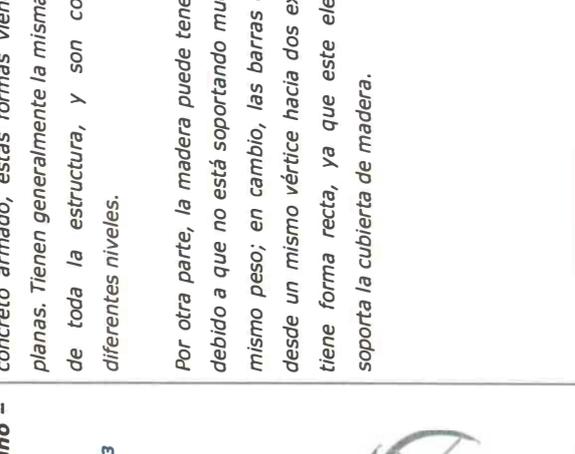
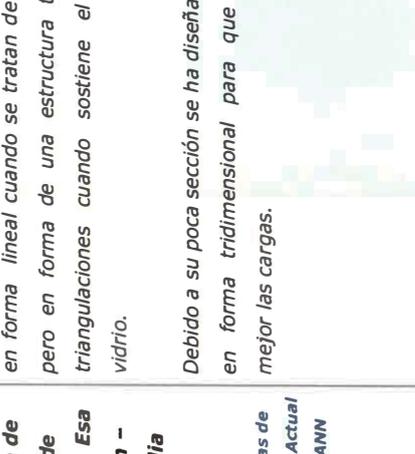


Figura 10.  
Detalles de las estructuras del Parque de la Música de Renzo Piano en Roma (superior derecha, inferior derecha)

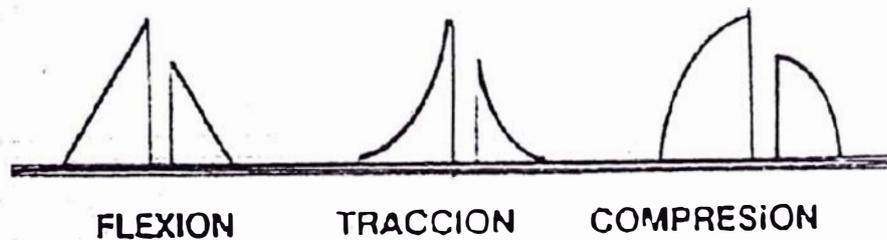
Fuente: Revista ARKINKA – Año 9, N° 103, Junio 2004

El tema de la relación forma - estructura se comparará mediante ejemplos con edificios ya construidos según la forma y material como se muestra en la siguiente matriz:

| EDIFICIO   | FORMA  | MATERIAL  |
|--|--|---|
| <p><b>Sala de Conciertos – Renzo Piano – Italia</b></p> <p>Fuente: DOMUS Nº 858 Abril 2003</p>                                  | <p>En el edificio las formas más densas o grandes son de concreto armado, estas formas vienen a ser rectas y planas. Tienen generalmente la misma sección a lo largo de toda la estructura, y son continuas para los diferentes niveles.</p> <p>Por otra parte, la madera puede tener esa forma curva debido a que no está soportando mucha carga, solo su mismo peso; en cambio, las barras de acero colocado desde un mismo vértice hacia dos extremos diferentes tiene forma recta, ya que este elemento es el que soporta la cubierta de madera.</p> | <p>El concreto tiene diferentes dimensiones con relación a otros materiales, sus dimensiones son 8 a 10 veces más que el acero.</p> <p>El material es mucho más compacto y rígido. Sus dimensiones de 10, 15 y 20 cm.</p> <p>La cubierta curva de madera en este caso tiene mayor dimensión que el acero que lo sostiene debido a que la madera necesita mayor espesor para resistir las cargas en cambio el acero es más resistente en secciones más pequeñas.</p> |
| <p><b>Estación de Metro de Vuosari – Esa Piironen – Finlandia</b></p> <p>Fuente: Atlas de Arquitectura Actual de KÖNEMANN</p>  | <p>La forma de usar el acero en esta estación de metro es en forma lineal cuando se tratan de vigas o columnas pero en forma de una estructura tridimensional con triangulaciones cuando sostiene el techo ligero de vidrio.</p> <p>Debido a su poca sección se ha diseñado esta estructura en forma tridimensional para que puedan soportar mejor las cargas.</p>   | <p>Las características de la estructura son, que no es muy densa o muy pesada, mas bien es ligera por lo cual te da mayor transparencia.</p> <p>La sección de este material varía según la carga que recibe, en este caso varía de acuerdo a si son vigas principales, columnas, vigas, o si forman entre si una estructura tridimensional.</p>   |

### 3.1.3. La relación esfuerzo - forma

La forma de los edificios juega un papel importante al momento de distribuir los esfuerzos, de acuerdo a la forma que tengan la estructura del edificio se someterá a diferentes esfuerzos, como por ejemplo, una forma curva convexa trabajará a compresión, porque cada elemento de esa estructura comprimirá a la que le siga y así sucesivamente; una forma recta inclinada trabajará a flexión, debido a que sus elementos tratarán de deformarse en un sentido; y una forma curva cóncava trabajará tracción, debida a que cada elemento de su estructura jalará a la otra para mantenerse unida. (Figura 11)



**Figura 11.**  
*Ejemplos esquemáticos de flexión, tracción y compresión.*

*Fuente: Diseño Estructural para Arquitectos de Roberto Machicao Relis. Ed. Arius S.A. Primera Edición Abril 1990.*

El tema de la relación forma-esfuerzo se comparará mediante ejemplos ya construidos según la forma y material como se muestra en la siguiente matriz:

| EDIFICIO  | FORMA   | MATERIAL  |
|---|---|---|
| <p><b>Museo Louvre – I. M. Pei - Francia</b></p>  <p>Fuente: <a href="http://www.blueponcho.com/kitchenwench/paris/">www.blueponcho.com/kitchenwench/paris/</a></p>                          | <p>Tiene forma recta inclinada por lo tanto el esfuerzo al que es sometido es la flexión debido a que cada parte de la estructura tiende a doblarse en un sentido para así poder deformar el edificio.</p> <p>Al ser de sección tan delgada tiene que formar una estructura tridimensional, en este caso la pirámide.</p>               | <p>El acero al ser utilizado en forma de malla sirve para sostener el vidrio y a su vez para trasladar los esfuerzos hacia el suelo.</p> <p>El metal mediante esta malla logra sostener la pirámide con elementos de secciones menores a las de otros materiales.</p>   |
| <p><b>La Catedral de Brasilia - Oscar Niemeyer – Brasil</b></p>  <p>Fuente: <a href="http://www.designcommunity.com/scrapbook/1286.html">www.designcommunity.com/scrapbook/1286.html</a></p> | <p>La forma de las estructuras laterales es curva cóncava, por lo tanto, el esfuerzo al que es sometido es de tracción debido a que los elementos estructurales tratan de jalarse entre sí para auto soportarse y soportar el techo.</p> <p>La forma que se le ha dado al edificio responde a los esfuerzos de la misma estructura.</p> | <p>Debido al material, en este caso, el concreto, en donde cada elemento se encuentra unido al otro, es posible trasladar los esfuerzos de la parte superior del edificio, donde está la mayor cantidad de masa y fuerzas hacia la parte inferior en varios puntos de menor sección, hacia el suelo.</p> <p>El concreto logra sostener el edificio y soportar todas las cargas mediante elementos de secciones mayores, aunque en este caso se vean mucho más esbeltas.</p> |
| <p><b>La Sala Plenaria del Reichstag – Sir Norman Foster – Alemania</b></p>  <p>Fuente: ARKINKA Año 4 N° 44 Julio 1999</p>   | <p>Tiene forma curva convexa por lo tanto el esfuerzo al que ha sido sometido es la compresión debido a que cada elemento de la estructura tiende a apoyarse en el inmediato inferior y así trasladar los esfuerzos desde el techo hacia el suelo como las bóvedas que antes se usaban.</p>   | <p>Los elementos estructurales de acero sostienen todas las cargas del interior y las trasladan igualmente por toda su base, mediante las columnas - vigas que sostienen los anillos de la media esfera.</p> <p>El metal mediante un sistema entramado (elementos verticales y anillos) logra ser resistente a los esfuerzos de compresión del edificio, con una sección mucho menor que otros materiales.</p>  |

### **3.1.4. La trama estructural**

*La organización sistemática de la materia, puede codificarse a través de volúmenes poliédricos, cuya lectura pueda sugerirnos una trama estructural que oficie de ordenador de los espacios, volúmenes y proporciones. La estructura marcará el ritmo de la secuencia arquitectónica.*

*Así se podrá llegar a espacios generados por volúmenes virtuales, que respondan a una organización armónica de la materia, a través de la estructura, como articulador de volumetrías, que sin el recurso de la trama estructural se mostrarían dispersos. (Figura 12)*



**Figura 12.**  
**Sala Plenaria del Reichstag de Sir Norman Foster en Alemania.**

Fuente: [www.economist.com/cities/displayobject.cfm?obj\\_id=484763](http://www.economist.com/cities/displayobject.cfm?obj_id=484763)

El tema de la trama estructural se comparará mediante ejemplos con edificios ya construidos según la forma y material como se muestra en la siguiente matriz:

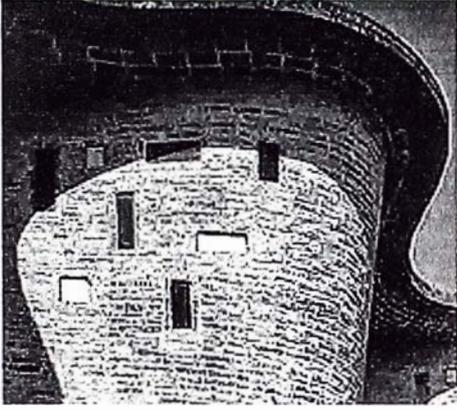
| EDIFICIO   | FORMA  | MATERIAL  |
|--|--|---|
| <p><b>Sala Plenaria del Reichstag – Sir Norman Foster – Alemania</b></p> <p>Fuente: <a href="http://www.economist.com/cities/display/object.cfm?obj_id=484763">www.economist.com/cities/display/object.cfm?obj_id=484763</a><br/> <a href="http://www.ferienwohnung-zimmer-berlin.de/Tourismus_Berlin/reichstag_berlin.htm">www.ferienwohnung-zimmer-berlin.de/Tourismus_Berlin/reichstag_berlin.htm</a><br/> <a href="http://www.masdearte.com/general.cfm?noticiaid=8803">www.masdearte.com/general.cfm?noticiaid=8803</a></p>    | <p>Tiene una trama estructural en forma de esfera que a su vez sirve de ordenador del espacio, las proporciones y la estructura, al estar formado por columnas y anillos distribuidos gradualmente por toda la superficie.</p> <p>Este entramado es una gran envoltura de diferentes elementos internos, como son la estructura central, las rampas, etc. que logra unificar todas las partes en una sola.</p> | <p>El acero al ser lineal y al poder ser fabricado en módulos en serie es un material perfecto para formar este tipo de tramas estructurales.</p> |
| <p><b>Fundación Cartier - Jean Nouvel – Francia</b></p> <p>Fuente: <a href="http://www.galinsky.com/buildings/cartier/">www.galinsky.com/buildings/cartier/</a><br/> <a href="http://www.epdlp.com/paises.php?pais=Francia">www.epdlp.com/paises.php?pais=Francia</a><br/> <a href="http://www.masdearte.com/general.cfm?noticiaid=8803">www.masdearte.com/general.cfm?noticiaid=8803</a><br/> Atlas de la Arquitectura Actual-Könemann</p>      | <p>Este edificio a pesar de no tener todos los lados en la parte exterior de su estructura, igualmente se logra formar virtualmente el paralelepípedo rectangular, dándole a la estructura una retícula cuadrícula que logra unificar todos los elementos que se encuentran en el interior.</p>  | <p>El acero al ser lineal y al poder ser fabricado en módulos en serie es un material perfecto para formar este tipo de tramas estructurales.</p> |

### 3.1.5. Proceso de crecimiento estructural equilibrado

*Las estructuras como células auto consistentes, puedan ir creciendo unicelularmente, hasta construir una estructura final, pero que durante todo su proceso han estado en permanente equilibrio.*

*Como por ejemplo la construcción de un muro o una bóveda de ladrillo que desde el primero hasta el último ladrillo la estructura ha estado en perfecto equilibrio sin necesidad de utilizar encofrados o alguna otra estructura temporal.*

*El tema del proceso de crecimiento equilibrado se analizará mediante ejemplos con edificios ya construidos según la forma y material como se muestra en la siguiente matriz:*

| EDIFICIO  | FORMA   | MATERIAL   |
|---|---|--|
|    | <p><i>La forma ondulada se puede realizar debido a que cada punto de la construcción del mismo la estructura siempre estuvo en equilibrio soportándose las cargas mutuamente.</i></p> | <p><i>El ladrillo tiene la característica de ser un material que sigue un proceso de crecimiento estructural equilibrado debido a que el edificio está constituido por un conjunto de partes, pero estas partes (ladrillos) siempre están en equilibrio.</i></p> |
| <p><b>Iglesia de Atlántida – Eladio Dieste –Uruguay</b></p>   |   |  |
| <p><b>Fuente:</b><br/><b><a href="http://www.puc.cl/.../IGLESIAS/Atlantid.html">www.puc.cl/.../IGLESIAS/Atlantid.html</a></b></p> |   | <p><i>Este conjunto no necesita elementos adicionales ya que éstos se soportan unos a otros entre sí para poder seguir creciendo.</i></p>  |

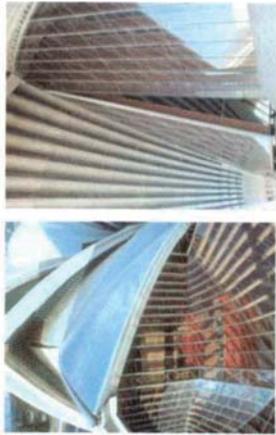
### **3.1.6. La simbiosis estructural**

*Uno de los principales problemas del diseño del detalle constructivo es el combinar diferentes tipos de materiales, es decir el encontrar la continuidad entre un material y otro, como:*

- *Acero con vidrio*
- *Vidrio con concreto*
- *Concreto con ladrillo*
- *Ladrillo con madera*
- *Adobe con madera, etc.*

*Este mismo problema se presenta también entre sistemas estructurales, como por ejemplo: integrar un sistema de compresión con uno de tracción, integrar una estructura de adobe en el primer piso con una de madera en el segundo, crear una simbiosis entre una estructura espacial y una estructura de concreto armado. Entonces para integrar una estructura con otra debemos trabajarla como un todo unificado y no como una suma de partes.*

El tema de la simbiosis estructural se comparará mediante ejemplos con edificios ya contruidos según la forma y material como se muestra en la siguiente matriz:

| EDIFICIO  | FORMA   | MATERIAL  |
|---|---|---|
|  <p><b>Opera de Sydney – Jörn Utzon</b><br/>– Australia</p> <p>Fuente:<br/><a href="http://www.commercialrealstatenews.ca/html/first/ap...">www.commercialrealstatenews.ca/html/first/ap...</a><br/><a href="http://www.khoahoc.com.vn/view.asp?Cat_ID=17&amp;news_id=2206">www.khoahoc.com.vn/view.asp?Cat_ID=17&amp;news_id=2206</a></p> | <p>La forma del concreto con el vidrio y a la estructura metálica tiene relación y se puede apreciar que no son un conjunto de partes unidas, sino una sola unidad conformada por varias partes.</p> <p>Hay una relación, hecha al detalle, entre los diferentes tipos de materiales.</p> | <p>Es una unión clara de concreto con vidrio, pero el problema es que el vidrio no tiene una dimensión regular, pero la simbiosis de los materiales es buena debido a que los dos materiales se complementan, la rigidez y densidad del concreto con la ligereza y la transparencia del vidrio.</p>   |
|  <p><b>Estación de Kowloong – Sir Norman Foster – Hong Kong</b></p> <p>Fuente: <a href="http://www.classic.archined.nl/">www.classic.archined.nl/</a></p>  | <p>La forma de uso del material hace que conformen una unidad y le da sensaciones distintas; pareciera que el techo estuviera suspendido en el aire, hay una relación simbiótica, sin necesidad de que los dos materiales estén unidos.</p>   | <p>El metal y el vidrio tienen otro tipo de simbiosis estructural, ya que los dos tienen las mismas características de ligereza y transparencia aunque no esté uno pegado al otro.</p>  |
|  <p><b>Casa de la cascada – Frank Lloyd Wright – Estados Unidos</b></p> <p>Fuente:<br/><a href="http://www.wam.umd.edu/.../fallingwater.html">www.wam.umd.edu/.../fallingwater.html</a></p>   | <p>Las formas usadas de la piedra y el concreto muestran una armonía entre sí, y también una armonía con el entorno.</p> <p>La piedra y el concreto no están simplemente unidos entre sí, sino que se complementa un material con el otro, en una clara simbiosis estructural.</p>        | <p>La piedra y el concreto logran combinarse simbióticamente, pero aquí aparece un nuevo material con el cual comparten la simbiosis, el agua; así como la naturaleza misma.</p> <p>Se nota claramente las características de los materiales, por un lado la piedra, más densa y estática; y por otro el concreto, que te da la facilidad de hacer voladizos y verse a su vez, más ligero y dinámico.</p> |
|  <p><b>Casa Herbert Jacobs – Frank Lloyd Wright – Estados Unidos</b></p> <p>Fuente:<br/><a href="http://www.wam.umd.edu/.../fallingwater.html">www.wam.umd.edu/.../fallingwater.html</a></p>   | <p>Con la forma que ha utilizado el material se podría decir que los ha integrado, pero otro factor también importante de mencionar que ha contribuido con esa integración es el color.</p>   | <p>La madera y la piedra en esta oportunidad logran complementarse mutuamente dando uno el cerramiento y el otro la apertura o la transparencia.</p>  |

### **3.2. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN: FUNCIÓN, MATERIA, FUERZA, FORMA Y ESPACIO<sup>12</sup>**

#### **3.2.1. Fuerzas exteriores**

*La fuerza es una manifestación de la masa por la gravedad y el hombre tratará de manejarlo para su propio uso.; e algunos casos propiciando el equilibrio, es decir eliminando el desplazamiento relativo. Para eso es necesario que existan dos tipos de fuerza que se equilibren mutuamente. Estas fuerzas se dividen en dos clases: Activas y Reactivas.*

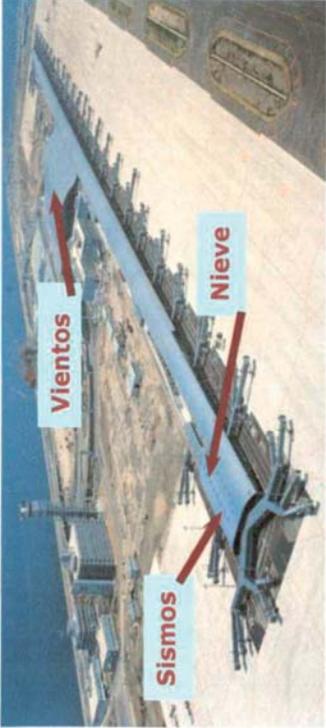
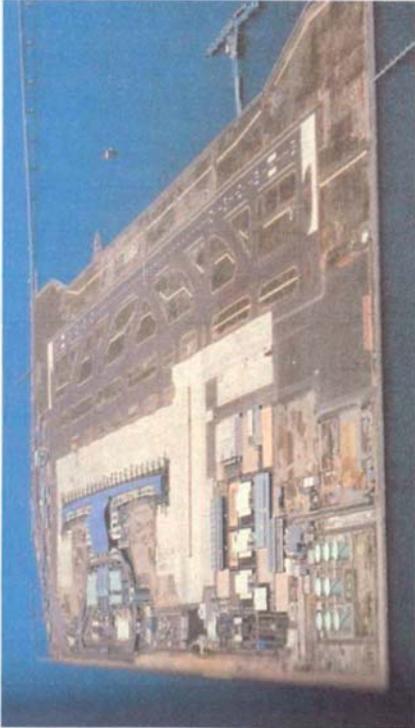
*Las fuerzas exteriores son aquellas que actúan sobre un cuerpo cualquiera, tales como las cargas de su uso, el peso propio (el peso propio es el resultado de la acción de la gravedad sobre la masa del cuerpo), los sismos, vientos, nieve, etc. El proyectista tiene que asegurarse que la acción de las fuerzas exteriores activas mencionadas tengan una respuesta con las fuerzas reactivas, cuya resultante sea igual a cero.*

*Pero aún, esta situación de equilibrio tiene 2 estados o posibilidades. Un estado de equilibrio precario, que se denomina equilibrio inestable, pues no resiste el más mínimo desplazamiento o fuerza y otro equilibrio cuya estabilidad es indiferente a los movimientos y se denomina equilibrio estable.*

---

<sup>12</sup> Ing. Roberto Machicao Relis, "Diseño Estructural para Arquitectos", Editorial Arius S.A., Primera Edición, Abril 1990

El tema de las fuerzas exteriores se comparará mediante ejemplos con edificios ya construidos según la forma y material como se muestra en la siguiente matriz:

| EDIFICIO   | FORMA  | MATERIAL   |
|--|--|--|
| <p><b>Aeropuerto Internacional de Kansai – Renzo Piano – Japón</b></p>       | <p>Debido a la forma curva y ondulada del edificio la acción de las fuerzas de los vientos va a deslizarse suavemente por la estructura, al igual que la lluvia, en cuanto a la nieve puede que se acumule en la zona donde la curva se vuelve cóncava.</p> <p>Por lo tanto debido a esas fuerzas en la zona cóncava habrá mayor esfuerzo, por lo que en esa zona se han distribuido las columnas inclinadas, para así equilibrar estos esfuerzos.</p> | <p>Al ser un material ligero como el metal, las estructuras no tienen mucho trabajo para soportar las cargas del techo o las sobrecargas y si tienen que soportarlo están previamente reforzados.</p> <p>Al ser un material ligero, los sismos van a hacer que la estructura se mueva con éste, como una sola unidad, pero esto no causaría daño a la misma.</p> |

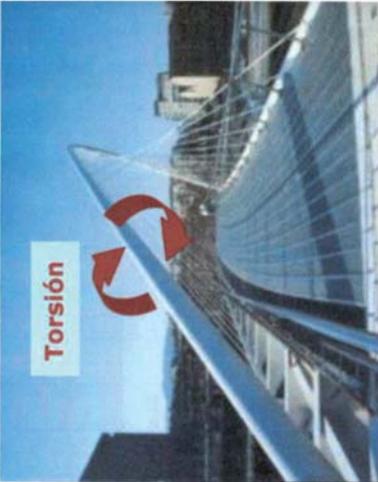
Fuente: Atlas de Arquitectura Actual de KÖNEMANN  
[www.epdjp.com.html/plano3](http://www.epdjp.com.html/plano3)

### **3.2.2. Fuerzas interiores**

*Estas fuerzas interiores son principalmente las fuerzas que deforman la estructura o le adjudican un esfuerzo, tales como la tracción, compresión, corte, flexión y torsión; si las partículas de la materia tienden a separarse se denomina esfuerzo de tracción, cuando las partículas tratan de unirse se considera que están sufriendo esfuerzos de compresión, si las partículas tratan de deslizarse una con respecto a la otra se considera que está trabajando bajo los esfuerzos de corte.*

*Si las partículas giran en un mismo plano generando esfuerzos de tracción por un lado y compresión por el otro se dice que están sufriendo esfuerzos de flexión y si se desliza rotativamente según un eje perpendicular a su plano, se dice que está sometido a un esfuerzo de torsión.*

El tema de las fuerzas exteriores se comparará mediante ejemplos con edificios ya construidos según la forma y material como se muestra en la siguiente matriz:

| EDIFICIO  | FORMA  | MATERIAL   |
|---|--|--|
| <p><b>Aeropuerto Internacional de Kansai –<br/>Renzo Piano – Japón</b></p> <p>Fuente: <a href="http://www.epdlp.com/piano3.html">www.epdlp.com/piano3.html</a></p>   | <p>Se podría dar la flexión, pero al formarse esta estructura tridimensional provoca que se refuerce al igual que el corte, aunque soporte la viga en una pequeña sección.</p>   | <p>Debido al uso de este material que es más ligero se puede lograr este tipo de estructuras, que con unos cuantos refuerzos pueda resolver las fuerzas interiores antes mencionadas.</p>  |
| <p><b>Aeropuerto Internacional de Kansai –<br/>Renzo Piano – Japón</b></p> <p>Fuente: <a href="http://www.epdlp.com/piano3.html">www.epdlp.com/piano3.html</a></p>  | <p>Se logra dar la compresión y la tracción debido a la curvatura convexa para la compresión y cóncava para la tracción; pudiendo contrarrestar estas fuerzas interiores mediante la estructura tridimensional que ha formado.</p> | <p>Debido al uso de este material que es más ligero se puede lograr este tipo de estructuras, que con unos cuantos refuerzos pueda resolver las fuerzas interiores antes mencionadas.</p>  |
| <p><b>Puente de Bilbao – Santiago Calatrava –<br/>España</b></p> <p>Fuente: <a href="http://www.calatrava.com">www.calatrava.com</a></p>                           | <p>La estructura de metal señalada tendería a la torsión, pero gracias a los cables que lo sujetan, que se encuentran a tracción, se puede lograr el equilibrio.</p>   | <p>El material utilizado es el acero, pero la estructura principal es una sección mucho mayor que los cables; se logra equilibrar al colocar los cables en varias direcciones que distribuyen los esfuerzos en todas esas direcciones.</p> |

### 3.3. INTER-RELACIÓN ENTRE LA FUERZA, FORMA Y FUNCIÓN<sup>13</sup>

*Este análisis se desarrollará con el principio de que la materia, la fuerza y la forma se interrelacionan a través del **MECANISMO ESTRUCTURAL** para servir a una función determinada, o que de la forma que tome la materia dependerá la calidad de las fuerzas interiores y los esfuerzos, o sea, de acuerdo como utilizemos la materia podemos darle diferentes características con un mismo material.*

*La relación entre la fuerza y la forma radica en que nosotros podemos darle a un mismo material formas diferentes y así cambiar su tipo de resistencia a los diferentes esfuerzo; por ejemplo, el acero en forma de cable tiene mucha resistencia a la tracción pero no a la compresión ni a la flexión, pero si al acero le damos la forma de tubos huecos tendría una alta resistencia a la compresión.*

*Finalmente este mecanismo estructural se relaciona con la función mediante el espacio, o sea, esta forma antes mencionada define un espacio que cumplirá una función arquitectónica.*



**Figura 13.**  
*Estación de gasolina. Tubos de acero a compresión (arriba izquierda).  
Alamillo Bridge. Sevilla, España. Santiago Calatrava. Cables de acero a tracción (abajo izquierda).*

Fuente: [www.ford.cl/outfitters/reportaje\\_58.html](http://www.ford.cl/outfitters/reportaje_58.html)  
[www.aia.org/aiaarchitect/thisweek04/tw1203/1203goldmedalcalatrava.htm](http://www.aia.org/aiaarchitect/thisweek04/tw1203/1203goldmedalcalatrava.htm)

<sup>13</sup> Ing. Roberto Machicao Relis, "Diseño Estructural para Arquitectos", Editorial Arius S.A., Primera Edición, Abril 1990

### **3.4. ANÁLISIS Y CONTRASTE DE HIPÓTESIS DE LA MORFOLOGÍA ESTRUCTURAL<sup>14</sup>**

#### **3.4.1. Génesis**

*La comparación se realizará con el concepto de que el origen de las estructuras puede encontrarse en la naturaleza a través de fenómenos físicos o en la concepción abstracta de la geometría.*

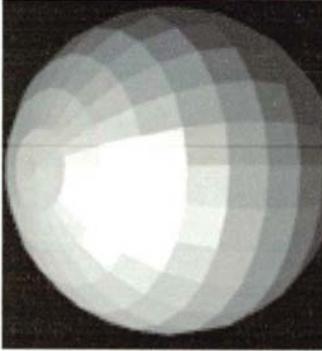
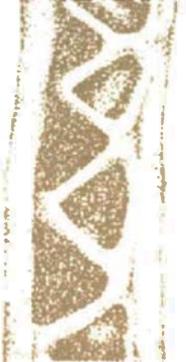
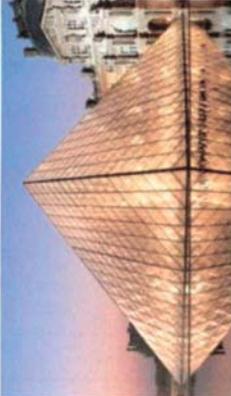
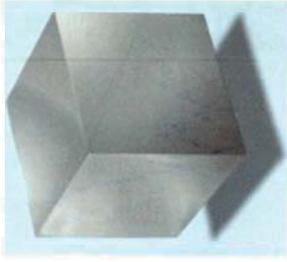
*Cada una de estas fuentes, nos puede proporcionar una gama de formas, cuyas características no tienen relación con la arquitectura específicamente, pero será el proyectista, quien a partir de esta fuente de formas, las sabrá integrar a un proceso de diseño.*

*Se podrá observar una relación entre dichas formas, su comportamiento estructural y su escala estructural.*

*Toda materia orgánica o inorgánica tiene un comportamiento estructural dependiente de su forma, de su materia y de los esfuerzos que en ella se producen.*

---

<sup>14</sup> Ing. Roberto Machicao Relis, "Diseño Estructural para Arquitectos", Editorial Arius S.A., Primera Edición, Abril 1990

| EDIFICIO  | TIPO   | FORMA   |
|---|--|---|
|  <p><b>SpaceShip Earth en Disney - Buckminster Fuller - Estados Unidos</b></p> <p>Fuente: <a href="http://sub-zero.mit.edu/fbyte/projects/dome/">sub-zero.mit.edu/fbyte/projects/dome/</a></p> |  <p><b>Geometría Esfera</b></p>                      | <p>La forma proviene de la geometría, teniendo las mismas características estructurales que una esfera, funcionando a compresión, aunque ésta ha sido conformada por pequeños tetraedros.</p>   |
|  <p><b>Viga de acero</b></p> <p>Fuente: <a href="http://www.nadir.org">www.nadir.org</a></p>   |  <p><b>Naturaleza Hueso del ala de un buitre</b></p> | <p>La viga de acero tiene la misma forma y la misma característica de resistir esfuerzos como el ala de buitre resistiendo a la compresión en la parte superior de la viga, a la tracción en la parte inferior de la viga y corte en los extremos de la viga.</p> |
|  <p><b>Museo Louvre - I. M. Pei - Francia</b></p> <p>Fuente: <a href="http://www.nadir.org">www.nadir.org</a></p>   |  <p><b>Geometría Pirámide</b></p>                  | <p>La forma de este edificio proviene de una forma geométrica como es la pirámide funcionando a flexión y a tracción.</p>   |
|  <p><b>La Grande Arche - J. O. von Spreckelsen &amp; Paul Andreu</b></p> <p>Fuente: Atlas de la Arquitectura Actual - Könenmann</p>  |  <p><b>Geometría Cubo</b></p>                     | <p>La forma de este edificio proviene de la forma geométrica del cubo, aunque sea virtual, ya que se le han sustraído dos caras del mismo.</p>  |

### 3.4.2. Metamorfosis

Si la concepción formal la consideramos dentro de una secuencia, podríamos decir, que a una manera de variación formal le corresponde una variación de comportamiento estructural.

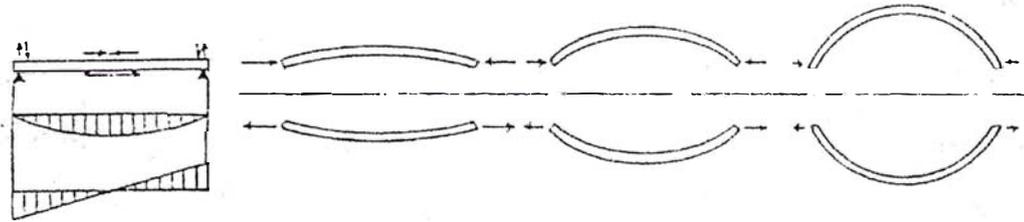


Figura 14. Secuencia metamórfica de una viga recta a una curva, soportando esfuerzos de sólo Compresión o solo tracción.

Fuente: Diseño Estructural para Arquitectos del Ingeniero Roberto Machicao Relis.

Esto quiere decir que cambiando la forma de una estructura pueden cambiar también sus características estructurales y el tipo de esfuerzos que sobre ella actúan. (Figura 14)

Este proceso metamórfico también puede darse cambiando la forma del elemento sin necesidad de cambiar el material, aumentando así sus dimensiones y soportando una mayor cantidad de esfuerzos. (Figura 15)

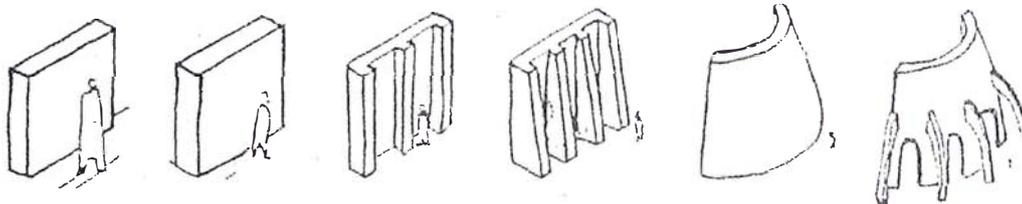


Figura 15. Proceso metamórfico de un muro de ladrillo, cambiando su forma y su dimensión, mas no el material.

Fuente: Diseño Estructural para Arquitectos del Ingeniero Roberto Machicao Relis.

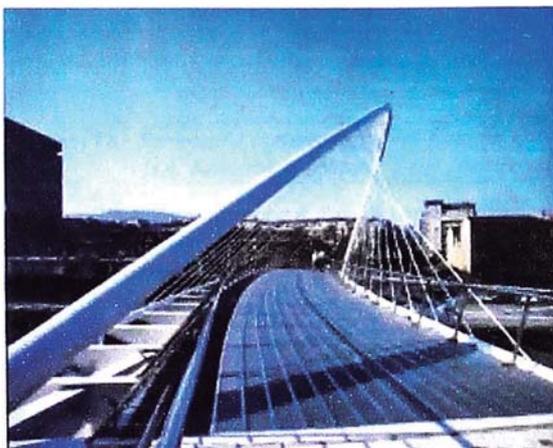


Figura 16. Puente de Bilbao de Santiago Calatrava.

Fuente: [www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)

La viga curva convexa del puente es un ejemplo de cómo puede lograrse esta metamorfosis de los elementos, de una viga recta a una curva, cambiando el tipo de esfuerzo que recibe, que funciona netamente a compresión, y con estos pequeños cables a tracción para evitar la torsión del elemento estructural. (Figura 16)

Podemos observar a continuación la secuencia metamórfica desde una catenaria en un plano, hasta una superficie anticlástica en el espacio, siempre soportando esfuerzos de tracción debido a la forma cóncava de su estructura. (Figura 17 y 18)

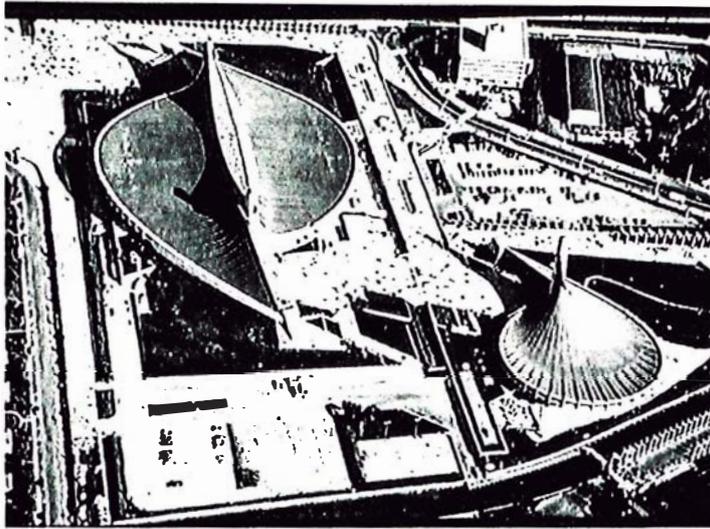


Figura 17. Estadio Olímpico de Tokyo de Kenzo Tange (arriba).

Fuente: [www.arkitera.com/gununsorusu/2001/10/01.htm](http://www.arkitera.com/gununsorusu/2001/10/01.htm)

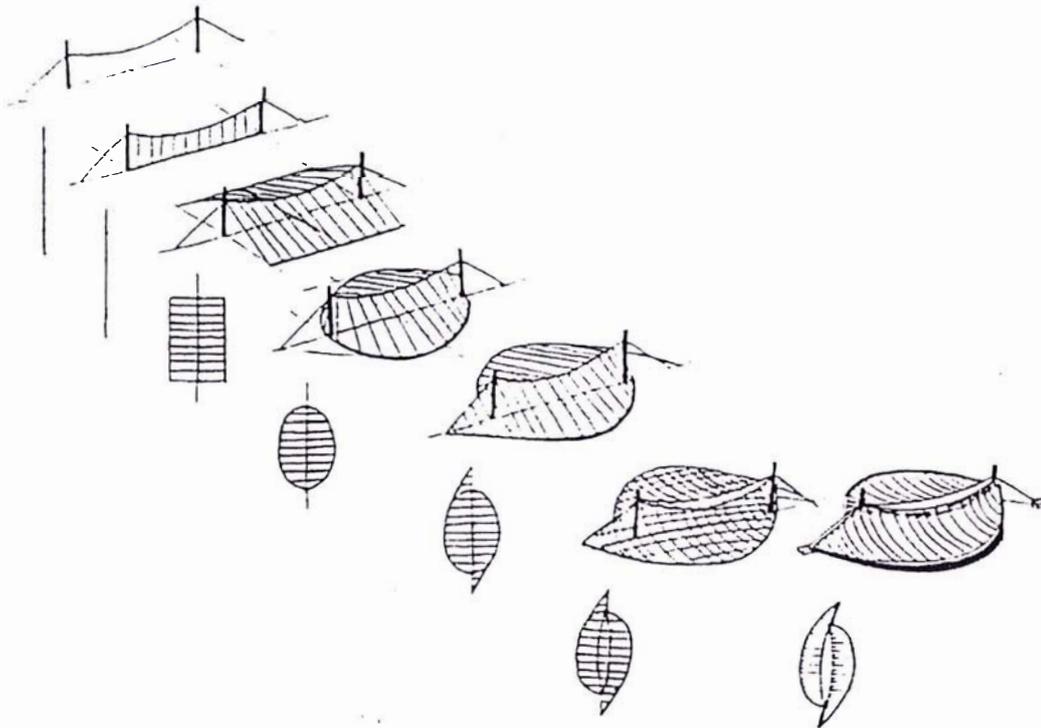


Figura 18. Secuencia metamórfica del Estadio Olímpico de Tokyo de Kenzo Tange hecha por el Ing. Roberto Machicao Relis (izquierda).

Fuente: *Diseño Estructural para Arquitectos* de Ing. Roberto Machicao Relis.

### 3.4.3. Sistemática

Un recurso adicional para la búsqueda de nuevas formas es la sistematización de las formas básicas u originales, esto quiere decir que podemos usar secciones de otras formas básicas ya establecidas para crear formas nuevas. (Figura 19)

Esta manera de abordar los problemas formales, ayuda a tener una concepción dinámica de la forma y de tener siempre presente el origen, para proyectarnos dentro de una concepción metamórfica, comprometida con una concepción estructural, que nos dé gamas de alternativas formales y que al mismo tiempo exprese su comportamiento estructural. El diseño será la congelación de este proceso metamórfico.

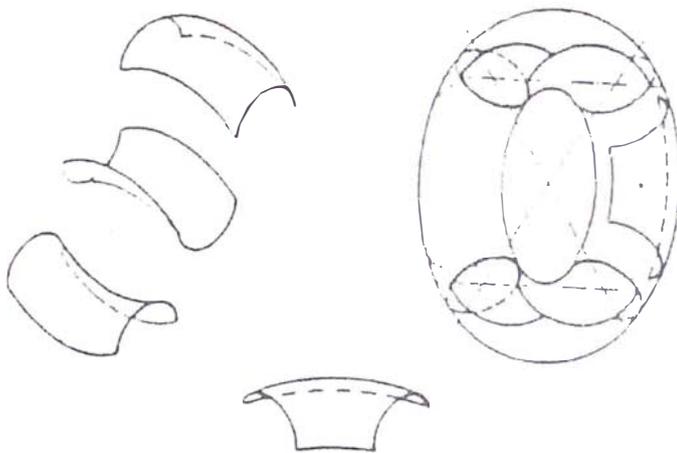


Figura 19.  
Cuatro secciones a partir de una figura básica conocida como el toroide (izquierda arriba).

Fuente: Diseño Estructural para Arquitectos de Ing. Roberto Machicao Relis.

En el aeropuerto de Kansai de Renzo Piano (Figura 20), la curvatura de la



Figura 20.  
Aeropuerto de Kansai de Renzo Piano (izquierda abajo).

Fuente:  
[www.epdlp.com/piano3.html](http://www.epdlp.com/piano3.html)

cobertura, que asemeja el ala de un ave, también es parte de otra figura base de donde sale esta, la base de la cobertura alargada sería la de un toroide, pero de radio mucho más extenso, debido a que la cobertura presenta una cobertura en dos sentidos como el toroide.

### 3.4.4. Permutaciones

Así como podemos utilizar parte de otras figuras ya establecidas (sistemática) para crear otras diferentes, podemos usar un solo elemento y combinarlo de tal manera que surjan nuevas formas variables según la combinación.

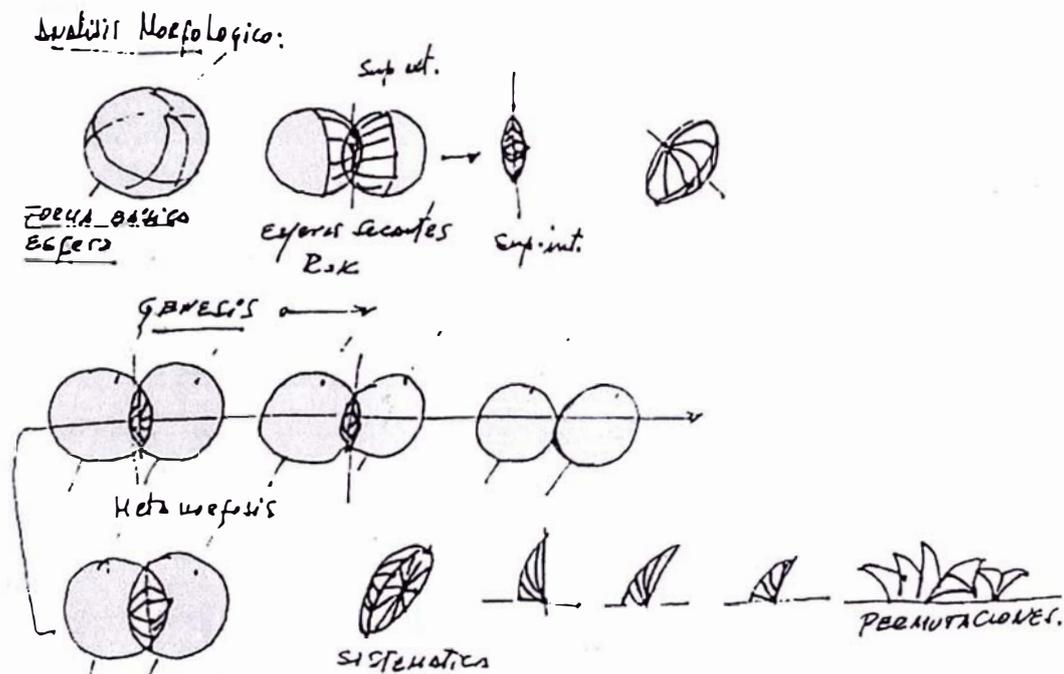
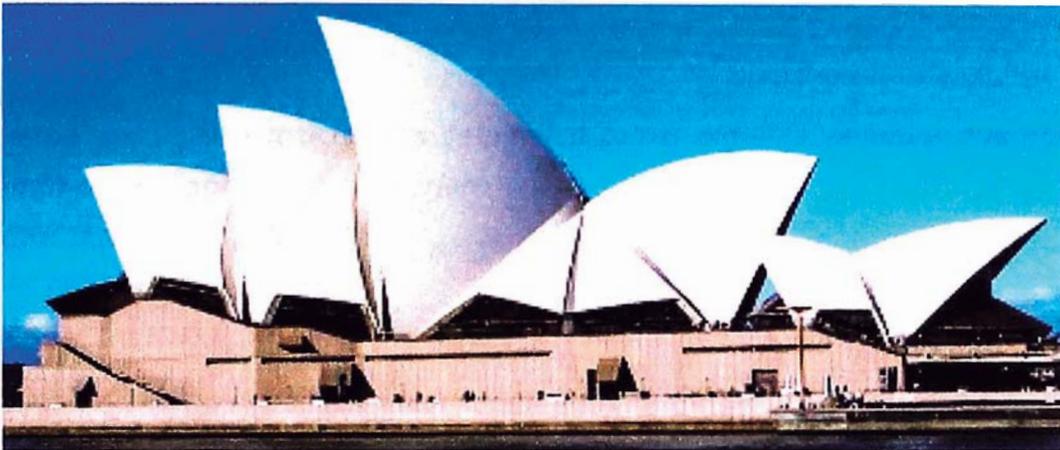


Figura 21. Aplicación de los conceptos de morfología estructural en la opera de Sydney de Jörn Utzon por el Ing. Roberto Machicao Relis.

Fuente: Diseño Estructural para Arquitectos de Ing. Roberto Machicao Relis.  
[www.megaholidays.com.ar/200\\_inf\\_atracc/220\\_atracc/imagenes/atr\\_australia/sydney/sydney\\_opera\\_house\\_sails.jpg](http://www.megaholidays.com.ar/200_inf_atracc/220_atracc/imagenes/atr_australia/sydney/sydney_opera_house_sails.jpg)

*Las posibilidades de combinar secuencias formales (metamorfosis) de diferentes procedencias (génesis) nos obliga a manejar recursos matemáticos, como el análisis combinatorio. Este análisis es el ordenamiento sistemático de las alternativas de solución.*

*La combinación de estas formas nos permitirá encontrar igualmente una gama de posibilidades que evitarán la monotonía de la expresión arquitectónica. (Figura 21)*

*De estos conceptos estructurales se pueden tomar algunas variables que nos servirán para el análisis, estas serían:*

- 1. EFICIENCIA ESTRUCTURAL*
- 2. ESTABILIDAD*
- 3. ESPACIALIDAD*
- 4. MODULACIÓN*
- 5. VERSATILIDAD*
- 6. BAJO PESO*
- 7. ECONOMÍA*

## 4. CONCEPTO CINÉTICO<sup>15</sup>

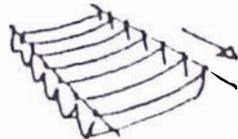
### 4.1. MEMBRANA SOPORTANDO UNA ESTRUCTURA PORTANTE FIJA

Si es que la estructura que conforma la cobertura se mantiene fija, por lo tanto sólo realiza un movimiento. Este tipo de movimiento puede dividirse en dos: estructuras que se recogen y estructuras que se enrollan.

#### 4.1.1. Recoger

Puede ser de cuatro tipos:

##### 4.1.1.1. Paralelo



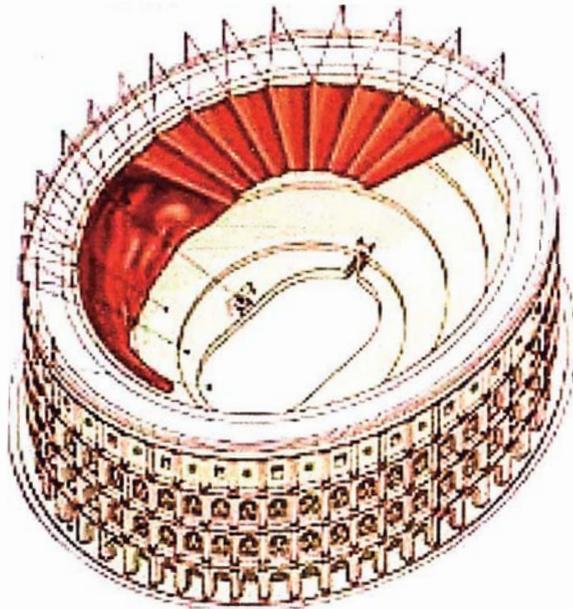
Si la estructura se recoge en forma paralela mientras que la estructura que lo sostiene permanece fija, en este caso los dos cables.

Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.

Se cree que el Coliseo Romano (Roma, Italia) tenía una cobertura de toldo sujeta por mástiles para proteger a las personas de los días soleados u otros fenómenos naturales y que presentaba una cobertura que se recogía paralelamente sobre dos ejes, utilizando el movimiento por cuestiones de confort para las personas, como lo dice Ewald Bubner<sup>16</sup>: "Se trata del velum, también llamado velarium...Sabemos que los velum constaban de velas, cuerdas, mástiles y travesaños que podían recogerse y por tanto eran transformables...El anfiteatro de Pompeya, el Coliseo de Roma y los teatros de Orange y Aspeados estaban provistos de velum...predomina la idea de proteger al público del sol..." (Fig. 22).

<sup>15</sup> Friedemann Kugel, "Cubiertas Transformables y Construcciones Adaptables", del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1979.

<sup>16</sup> Ewald Bubner, "Arquitectura Adaptable", del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1979.



**Figura 22.**  
*Coliseo Romano en la vida real en Roma, Italia (superior izquierdo)*

*Reconstrucción del Coliseo Romano. (Superior derecho)*

*Fuente:*  
[icarito.tercera.cl/coliseo\\_romano.htm](http://icarito.tercera.cl/coliseo_romano.htm)  
[www.interactive.net.ec/travesia/roma.htm](http://www.interactive.net.ec/travesia/roma.htm)

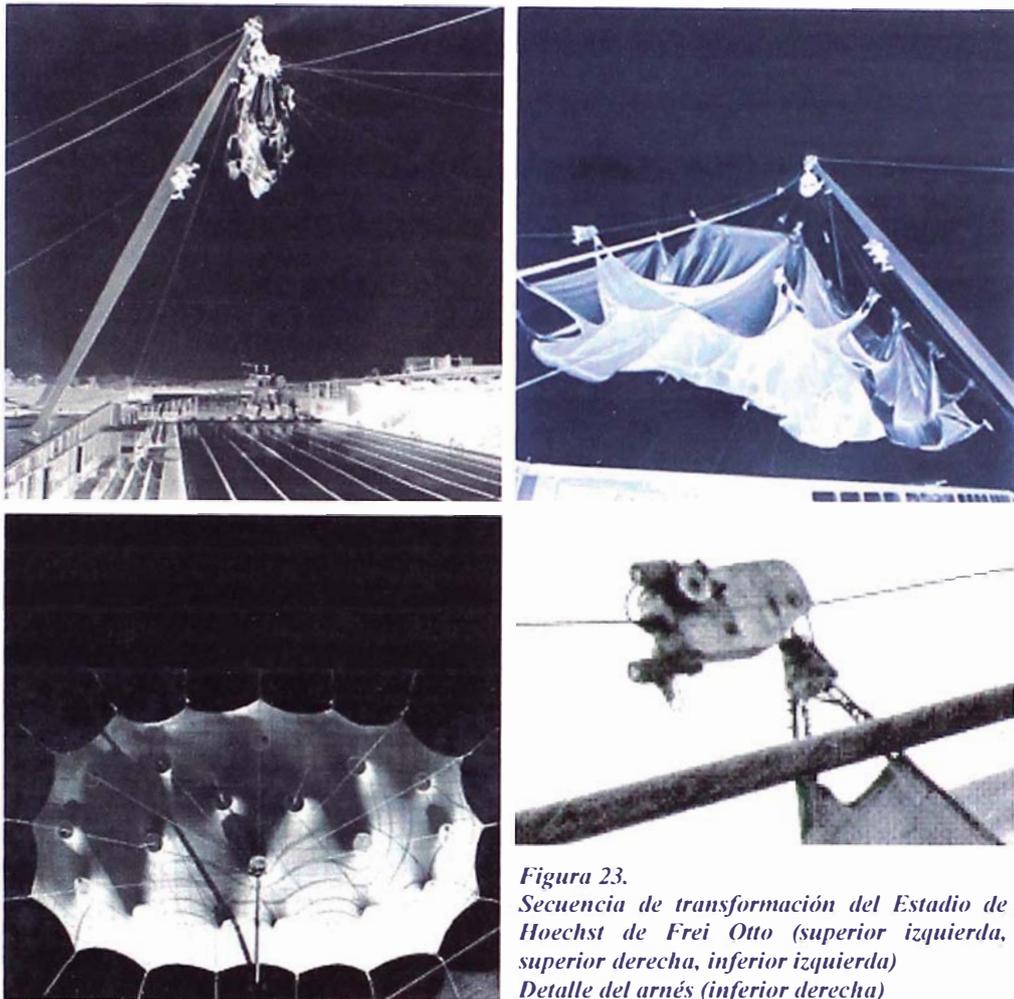
#### **4.1.1.2. Central**



*Si la estructura se recoge hacia el centro mientras que las estructuras de cables están fijas hacia un soporte central.*

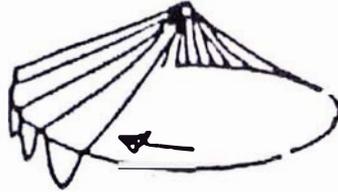
*Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

*La cobertura para el Estadio de Hoechst (Frankfurt, Alemania) de Frei Otto es una estructura que se recoge en forma central logrando esconder casi por completo la estructura cuando esta se contrae, esto debido a los arneses que jalan la lona que cubre el espacio, dejando la planta libre al realizar el movimiento de transformación. (Figura 23)*



Fuente: [kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html](http://kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html)

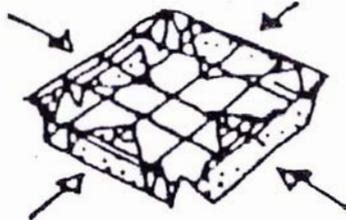
#### 4.1.1.3. Circular



Si la estructura se recoge en forma circular sobre una base también circular con un soporte central o con una estructura que amarre la base con la cobertura.

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

#### 4.1.1.4. Periférico



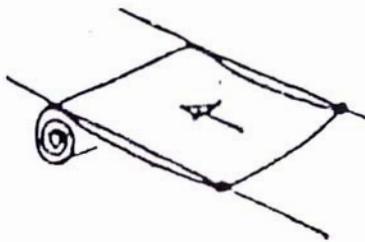
Si la estructura se recoge en forma periférica, o sea, hacia los lados de la cobertura.

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

#### 4.1.2. Enrollar

Puede de ser de tres tipos:

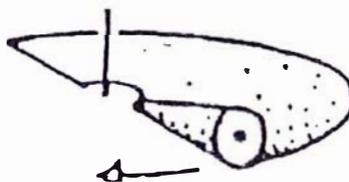
##### 4.1.2.1. Paralelo



Si la estructura se enrolla en forma paralela sobre elementos fijos.

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

##### 4.1.2.2. Circular



Si la estructura se enrolla sobre una base circular y con un eje central que lo sostengan.

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

### 4.1.2.3. Periférico

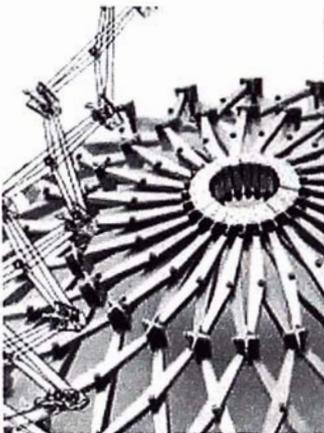
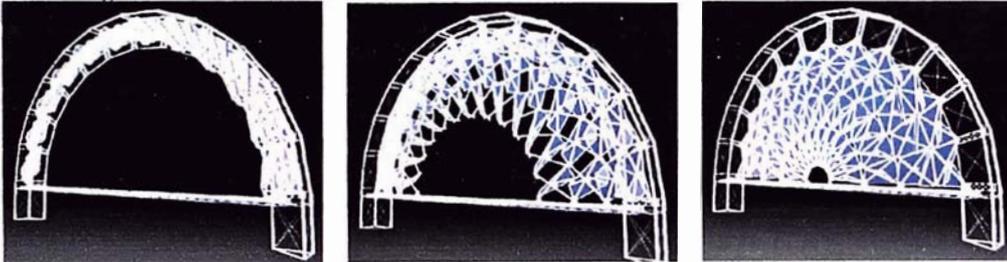
Si la estructura se enrolla en forma perimetral, o sea, sobre los extremos de la cobertura.



Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

**Figura 24.**  
*Secuencia a computadora de la estructura (domo) de Charles Hoberman (superior)  
Modelo a escala del Domo de Hoberman (inferior izq.)*

Fuente: [kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html](http://kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html)



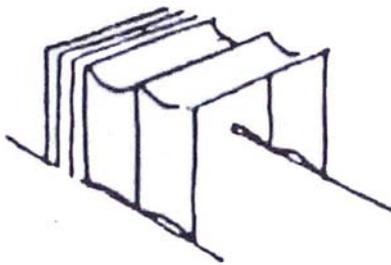
La estructura de Charles Hoberman realiza una transformación y un plegamiento de cada articulación hacia el centro, formándose el domo; la estructura mientras más se acerque al centro del domo, mayor será el movimiento de la pieza. Las piezas son forma de "X" para poder darle tal movimiento y ese cerramiento. (Figura 24)

## 4.2. MEMBRANAS, ESTRUCTURAS PORTANTES MÓVILES

Si es que la estructura que conforma la cobertura es móvil, por lo tanto realiza dos movimientos, el de la estructura y el de la cobertura. Este tipo de movimiento puede dividirse en tres: estructuras que se deslizan, estructuras que realizan un movimiento de plegamiento y estructuras que rotan.

### 4.2.1. Deslizamiento

#### 4.2.1.1. Paralelo



Si la estructura y la cobertura se movilizan en forma paralela a dos ejes en la base.

Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.



El Estadio Toyota (Toyota, Japón) de Kisho Kurokawa presente el tipo de movimiento de desplazamiento paralelo, en la zona central de la cobertura del estadio, mediante estructuras de acero y una cobertura de lona que cuando se contrae deja pasar la iluminación y se oculta a un lado del techo, y cuando se expande protege el interior de la lluvia u otros fenómenos ambientales. (Figura 25 y 26)

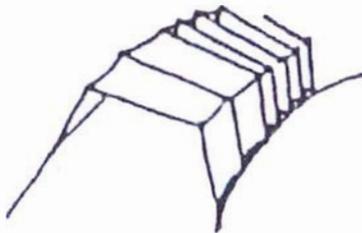
Figura 25.  
Vista aérea del Estadio Toyota de Kisho Kurokawa (superior izquierda)  
Detalle de la estructura (superior derecha.)

Fuente: [www.wldcup.com/Asia/stadia/tovota.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/tovota.html)



**Figura 26**  
*Secuencia de transformación del Estadio Toyota (inferior izquierda, inferior derecha)*  
Fuente: [www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html)

#### 4.2.1.2. Circular

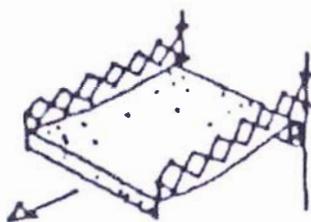


*Si la estructura y la cobertura se movilizan en forma circular a dos ejes en la base.*

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

#### 4.2.2. Plegamiento

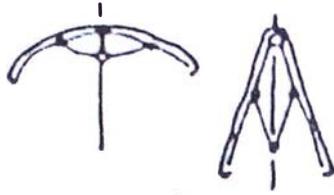
##### 4.2.2.1. Paralelo



*Si la estructura y la cobertura se movilizan en forma paralela sostenidas por dos ejes laterales.*

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

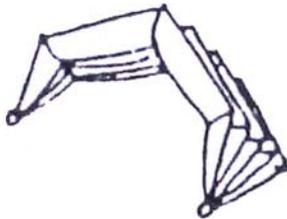
#### 4.2.2.2. Central



Si la estructura y la cobertura realizan un plegamiento en forma central a un eje.

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

#### 4.2.2.3. Circular



Si la estructura y la cobertura se movilizan en forma circular en dos puntos.

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

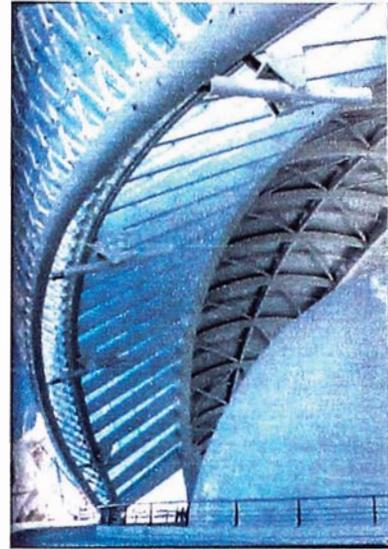
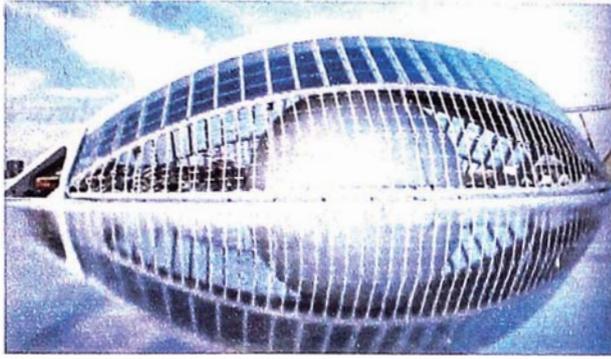
#### Figura 27.

*Secuencia de movimiento de la estructura del Planetario de Santiago Calatrava (abajo)*

Fuente: [www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)



En el Planetario de la Ciudad de las Artes y Ciencias (Valencia, España) de Santiago Calatrava el desplazamiento que realiza es circular, pero en forma vertical asemejando el movimiento del ojo humano, con un sistema hidráulico, sobre un eje central, permitiendo integrar el exterior cuando este se levanta y protegiendo el interior de los vientos cuando este se cierra. (Fig. 27 y 28)



*Figura 28.*  
*Planetario de la Ciudad de las Artes y Ciencias de*  
*Santiago Calatrava (arriba).*  
*Detalle del sistema hidráulico del Planetario (derecha).*  
*Fuente: Santiago Calatrava: The Poetics of the Movement de*  
*Alexander Tzonis*

### 4.2.3. Rotación

#### 4.2.3.1. Circular



*Si la estructura y la cobertura rotan en forma circular sobre un eje y sobre la base circular.*

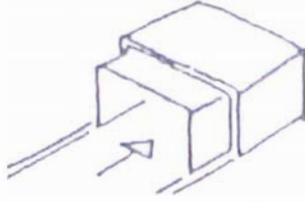
*Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

### 4.3. CONSTRUCCIONES RÍGIDAS

*Si es que la estructura que conforma la cobertura es rígida, por lo tanto realiza un movimiento. Este tipo de movimiento puede dividirse en tres: estructuras que se deslizan, estructuras que realizan un movimiento de plegamiento y estructuras que rotan.*

### 4.3.1. Deslizamiento

#### 4.3.1.1. Paralelo



Si la estructura y la cobertura son rígidas y se desplazan a lo largo de dos ejes paralelos.

Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.

En el Bank One Ball Park (Phoenix, USA), de los arquitectos Ellerbe Becket y Bill Jonson, el desplazamiento realizado es por deslizamiento paralelo, ya que presenta varias estructuras rígidas, ocultas una sobre otra que se deslizan sobre dos ejes paralelos para luego dar el cerramiento (Fig. 29).



Figura 29.  
Secuencia de movimiento de la estructura del Bank One Ball Park (Phoenix, USA), de los arquitectos Ellerbe Becket y Bill Jonson (arriba)

Fuente: [www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm)  
[phoenix.gov/FILMPHX/film27.html](http://phoenix.gov/FILMPHX/film27.html)  
[www.jm.com/corporate/company\\_overview/static/bob.html](http://www.jm.com/corporate/company_overview/static/bob.html)

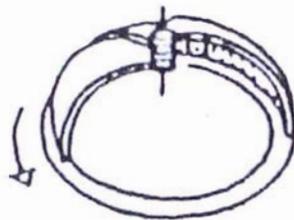
#### 4.3.1.2. Central



Si la estructura y la cobertura son rígidas y se abren hacia los lados partiendo de un punto central.

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

#### 4.3.1.3. Circular



Si la estructura y la cobertura son rígidos y se desplazan a partir de un eje central y a lo largo de su base circular.

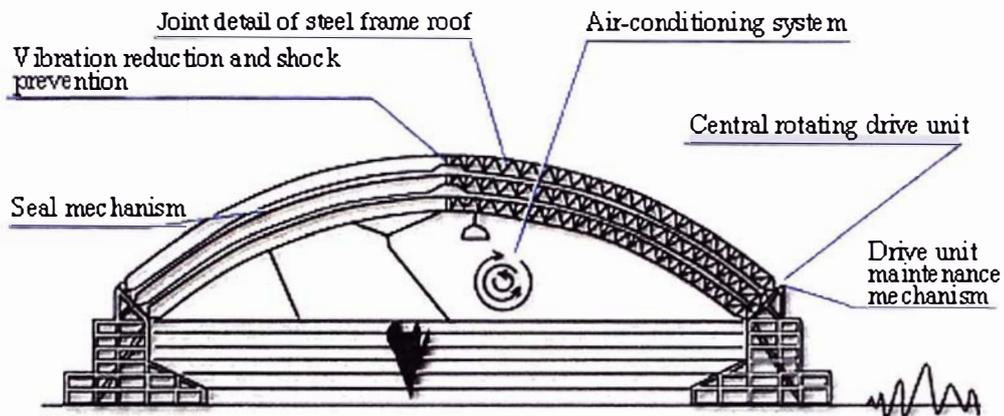
Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*



**Figura 30.**  
**Cerramiento y apertura del techo del Fukuoka Dome (arriba)**

Fuente: [www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/techno/11\\_kai/11\\_kai.htm](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/techno/11_kai/11_kai.htm)

En el Fukuoka Dome (Fukuoka, Japón), de los arquitectos Takenaka Corp. & Maeda Corp., el desplazamiento que realiza es por deslizamiento circular, consta de unas superficies rígidas que se mueven de forma circular para lograr el cerramiento requerido (Fig. 30 y 31).

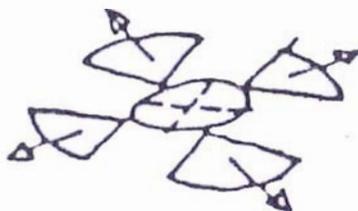


**Figura 31.**  
*Vista aérea del techo del Fukuoka Dome, abierto y cerrado (superior izquierda, superior derecha).*

*Corte Esquemático del techo del Fukuoka Dome (inferior)*

Fuente: [web-japan.org/atlas/architecture/arc24.html](http://web-japan.org/atlas/architecture/arc24.html)  
[files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg](http://files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg)  
[www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/techno/11\\_kai/11\\_kai.htm](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/techno/11_kai/11_kai.htm)

#### 4.3.1.4. Periférico

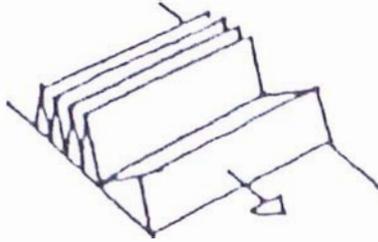


*Si la estructura y la cobertura son rígidos y se desplazan hacia los extremos periféricos de dicha cobertura a partir de un punto central.*

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

## 4.3.2. Plegamiento

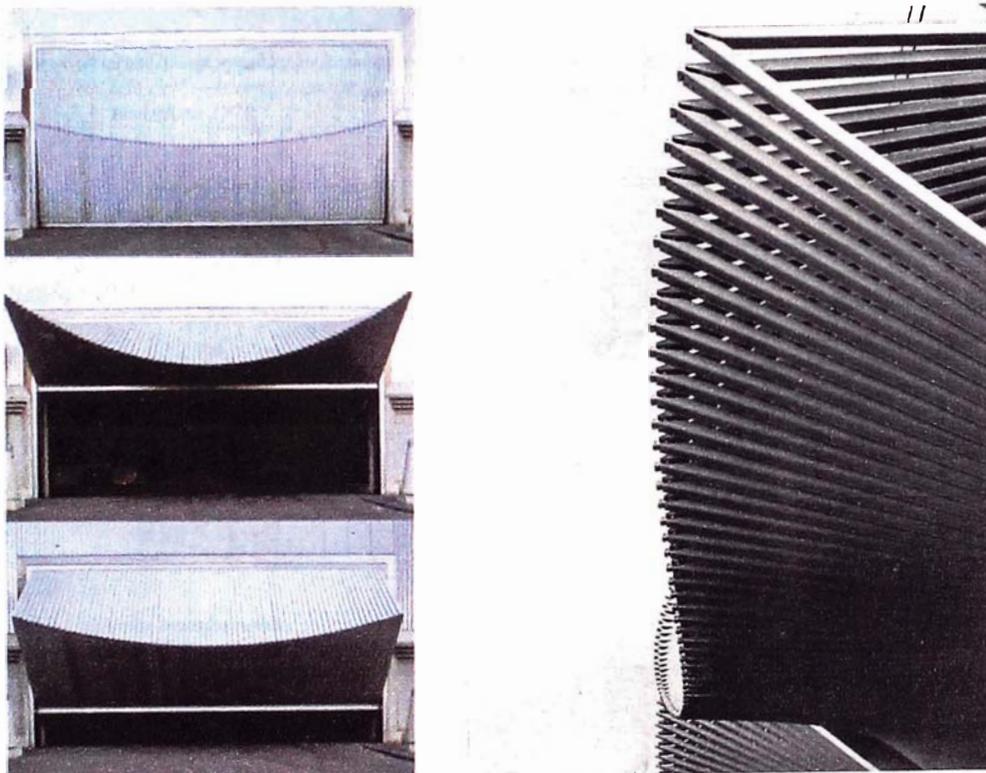
### 4.3.2.1. Paralelo



Si la estructura y la cobertura son rígidos y realizan un movimiento de plegamiento paralelo mediante dos ejes.

*Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

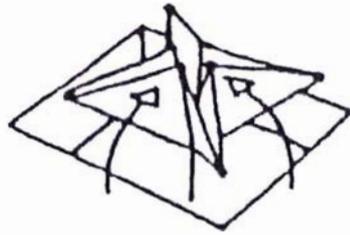
La puerta levadiza del Almacén Ernsting de Santiago Calatrava presenta un plegamiento paralelo en dos ejes, doblándose en forma curva para poder contraerse y así permitir la apertura de la puerta. Para poder realizar ese movimiento necesita una articulación en cada elemento de la parte central y lograr que los elementos del centro sean más largos que el de los extremos. (Figura 32)



**Figura 32.**  
*Apertura de la puerta levadiza del Almacén Ernsting de Santiago Calatrava (arriba).*

*Fuente: Santiago Calatrava: The Poetics of the Movement de Alexander Tzonis*

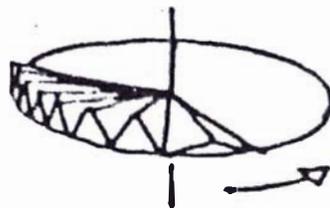
#### 4.3.2.2. Central



Si la estructura y la cobertura son rígidos y realizan un movimiento de plegamiento hacia un eje central.

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

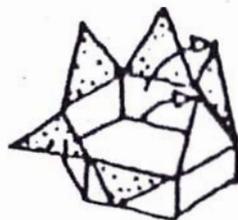
#### 4.3.2.3. Circular



Si la estructura y la cobertura son rígidos y realizan un movimiento de plegamiento circular a partir de un eje central.

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

#### 4.3.2.4. Periférico

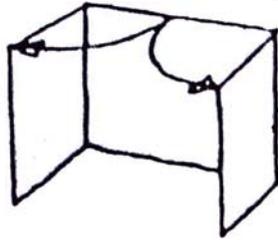


Si la estructura y la cobertura son rígidos y realizan un movimiento de plegamiento hacia la periferia, o sea, hacia los costados de la cobertura.

Fuente: *Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

### 4.3.3. Rotación

#### 4.3.3.1. Paralelo



Si la estructura y la cobertura son rígidos y realizan un movimiento de rotación en forma paralela a dos ejes diferentes.

Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.

En el Pabellón de Kuwait (Sevilla, España) de Santiago Calatrava es una rotación paralela con la diferencia que en vez de terminar en forma recta, las estructuras se entrecruzan para lograr el cerramiento. El movimiento asemeja el cerramiento de las manos, tiene el mismo concepto, provoca el cerramiento para crear sombra debajo de éste. (Figura 33 y 34)

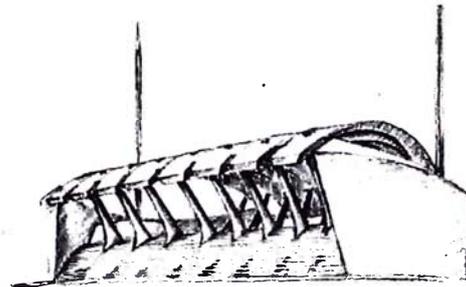
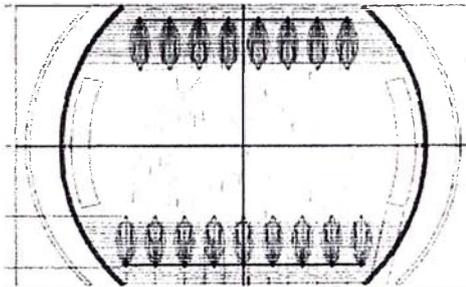
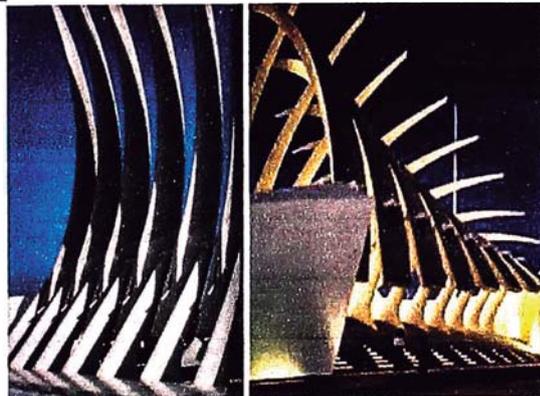


Figura 33.  
Planta del Pabellón (superior izquierda)  
Movimiento del techo (superior derecha)  
Apunte (izquierda)

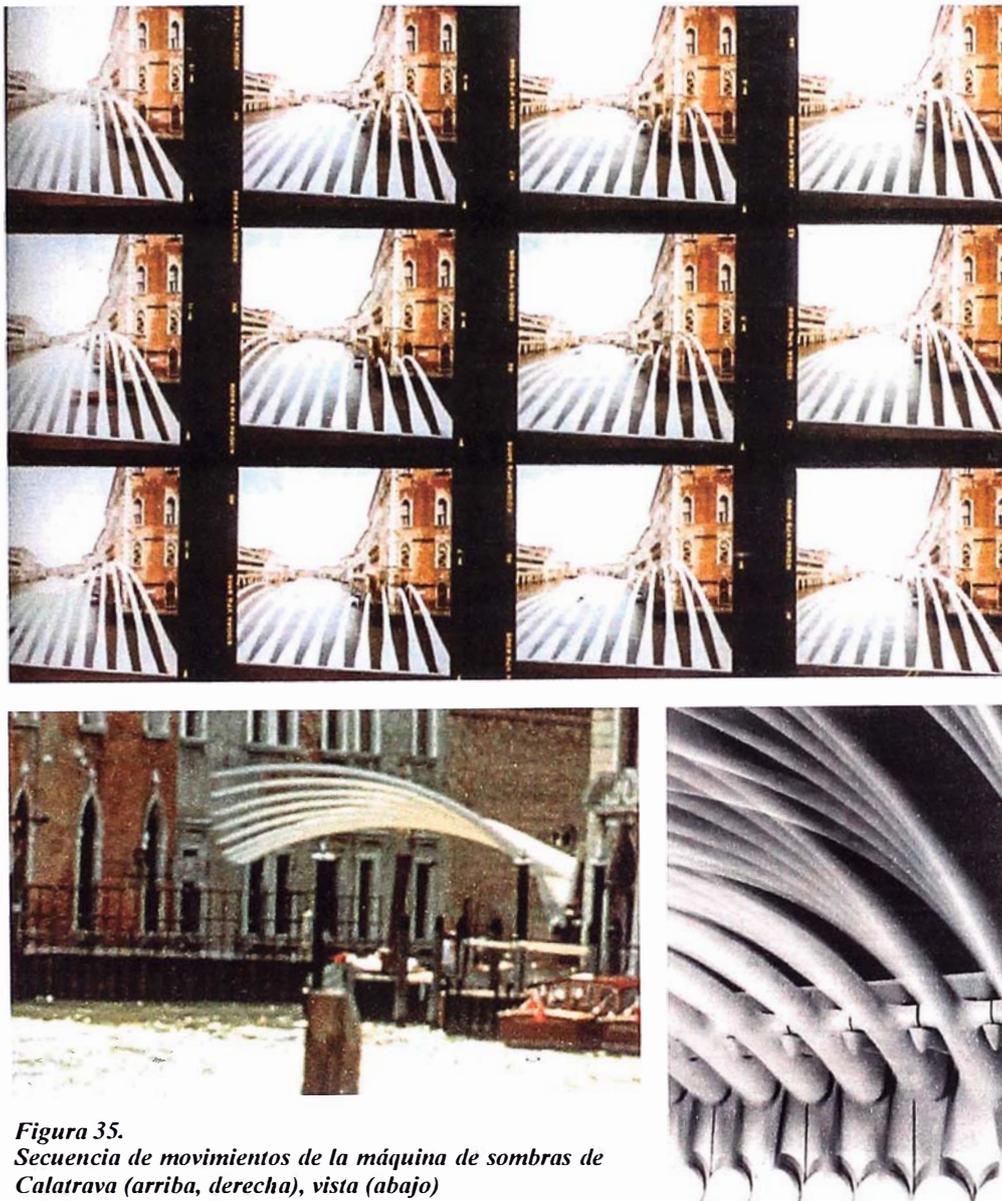
Fuente: [kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html](http://kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html)  
[Takatot.geoside.com/journey/spain.html](http://Takatot.geoside.com/journey/spain.html)

Figura 34.  
Vistas del Pabellón de Kuwait de día y de noche (derecha).

Fuente: [www.solo-fotografy.com/kuwaitpav.htm](http://www.solo-fotografy.com/kuwaitpav.htm)  
Santiago Calatrava: Poetics of Movement de Alexander Tzonis.



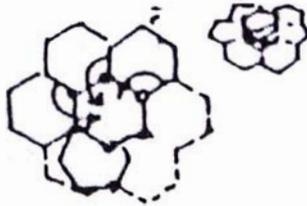
*La máquina de sombra de Nueva York (USA) o Venecia (Italia) de Santiago Calatrava tiene un movimiento de rotación sobre un eje, pero no sobre un círculo total sino sobre un sector de circunferencia. El movimiento de cada uno de estos brazos le da variedad a la estructura, porque mientras unas estructuras bajan otras suben y así sucesivamente. (Figura 35)*



**Figura 35.**  
*Secuencia de movimientos de la máquina de sombras de Calatrava (arriba, derecha), vista (abajo)*

Fuente: Santiago Calatrava: *Poetics of Movement* de Alexander Tzonis.  
[www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)

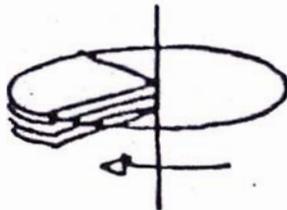
#### 4.3.3.2. Central



Si la estructura y la cobertura son rígidos y realizan un movimiento de rotación en forma central a un eje.

Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.

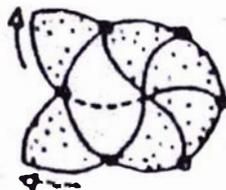
#### 4.3.3.3. Circular



Si la estructura y la cobertura son rígidos y realizan un movimiento de rotación en forma circular y a partir de un eje central.

Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.

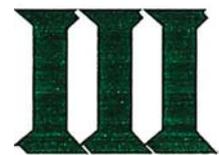
#### 4.3.3.4. Periférico



Si la estructura y la cobertura son rígidos y realizan un movimiento de rotación en periférica hacia los lados de la cobertura.

Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.

Para el análisis cinético se utilizarán las variables antes mencionadas, para corroborar que tipo de movimiento podría realizar la estructura.



## CAPÍTULO III

### ANTECEDENTES:

### EL ORIGAMI Y LAS ESTRUCTURAS RETRÁCTILES EN EL MUNDO

### CAPITULO III: ANTECEDENTES

#### 1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Las primeras estructuras móviles que se tiene alguna referencia, datan de la época del Imperio Romano, se cree que estas coberturas servían para proteger a los espectadores de los centros de esparcimiento de los fenómenos naturales, como son: el viento, el sol, etc.; fueron utilizados en plazas, teatros, en el Coliseo Romano, etc., como lo menciona Ewald Bubner<sup>17</sup>: " Se trata del velum, también llamado velarium. Según cuentan los escritores romanos, los velum no solo se tendían sobre los teatros, sino también sobre los patios interiores, calles y plazas para proteger al ciudadano contra el viento, la lluvia y el sol...Sabemos que los velum constaban de velas, cuerdas, mástiles y travesaños que podían recogerse y por tanto eran transformables...El anfiteatro de Pompeya, el Coliseo de Roma y los teatros de Orange y Aspeados estaban provistos de velum. En la creación de esta

cubierta de espaciosos teatros y anfiteatros, predomina la idea de proteger al público del sol. La conformabilidad de los velum procede menos del deseo de tener una cubierta rápidamente transformable, que de la necesidad, ya que en la época no existía otra posibilidad de construir cubiertas de tan grandes luces sin apoyos. Los velum, como dicen los textos latinos, se recogían para protegerlos del viento fuerte y no para disfrutar del cielo azul. Las construcciones

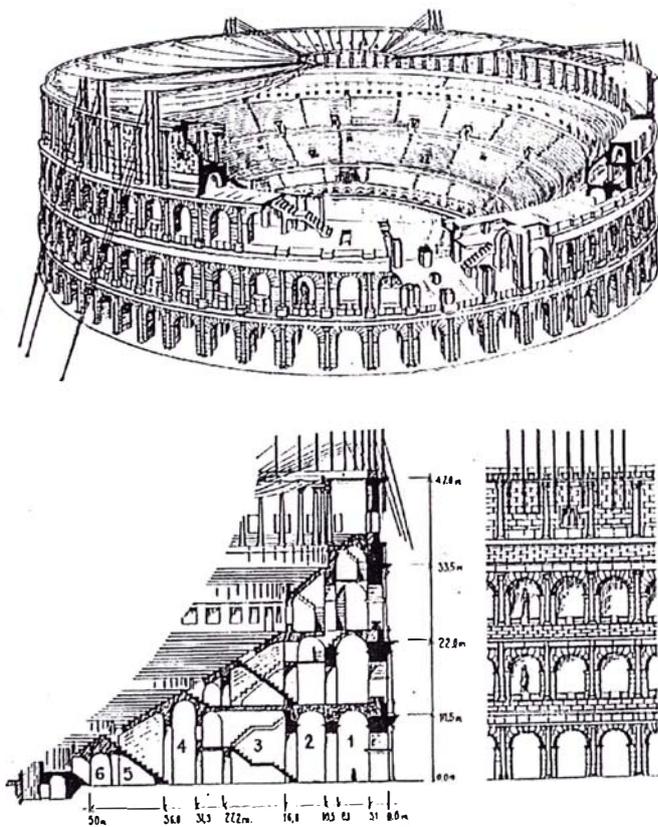


Figura 35A. Reconstrucción del Coliseo Romano.  
Fuente:editorial.cda.ulpgc.es/construccion/1\_historia/12\_romano/c126.htm

<sup>17</sup> Ewald Bubner, "Arquitectura Adaptable", del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, 1979.

*transformables y móviles eran apreciadas por los romanos también por motivos de representatividad”.*

*Varro nos habla de cubiertas en forma de placa que podían abrirse y de una sala en cúpula que giraba día y noche alrededor de su propio eje. Plinio nos habla de un teatro de madera transformable, que constaba de dos semicírculos con goznes que permitían el giro y que podían desplazarse cuando había un lleno total de espectadores. En 1958, Paxton construyó un invernadero de tipo análogo, móvil, desmontable y transportable.*

*Estas características de las coberturas móviles se dejaron de lado, tal vez porque no se tenía la suficiente tecnología que se necesitaba para poder mover ciertas estructuras, o tal vez porque no se conocían los beneficios que estas coberturas presentaban, hasta finales del siglo XX y comienzos del siglo XXI, donde se han creado una serie de edificio móviles, retráctiles o transformables, para contrarrestar los diferentes fenómenos naturales, como el viento, la lluvia, la nieve, etc., o simplemente para lograr crear un edificio o una estructura más dinámica y móvil.*

## **2. ANTECEDENTES PRÁCTICOS**

### **2.1. ORIGAMI<sup>18</sup>**

#### **2.1.1. ¿Qué es hacer ORIGAMI?**

*"Origami", es el Arte Japonés del plegado de papel, viene de las palabras Japonesas "ori" que significa plegado, y "gami" que significa papel. El Origami es una ocupación apasionante para aquel que siente placer en las figuras y las formas, también apropiado como ocupación de grupo, sirve para ayuda y estímulo ya sean niños, jóvenes o adultos. Su gran ventaja es sin dudas el material empleado, solamente "papel".*

*Muchos de nosotros recordará vasos plegados, el salero-pimentero y globos de papel, cajitas, y por supuesto el "pájaro aleteador" hechos alguna vez en la escuela. Se aprende origami a fin de ser capaz de enseñarlo como un entretenimiento para niños, jóvenes, ancianos, como terapia para pacientes con desventajas mentales y físicas, como un medio de destreza, o como una demostración de los principios de geometría, o simplemente compartir con amigos. Plegar y usar esos modelos como*

<sup>18</sup> Fuente: [www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm](http://www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm)

*decoraciones para días festivos o para hacer tarjetas de saludo individuales.*

*Arte milenario, y la condición previa que dio origen al origami, fue sin duda la existencia del papel, que fue inventado por los chinos en el s. II DC. Por ese entonces Japón era un país en desarrollo, y adoptaron casi todo de los chinos, desde la estructura social, el Budismo como religión, la escritura y las técnicas artesanales. Recién en el siglo VII DC., se conoció la técnica del papel en Japón, un siglo más tarde es conocida por los árabes y mucho más tarde por Europa en general.*

### **2.1.2. Origen del Origami<sup>19</sup>**

*Periodo Heian (794-1183). Japón cierra sus puertas a los extranjeros y es así que se dedicaron a trabajar con todos los conocimientos adquiridos, época en la cual se rompe su relación con China. En esta época los acontecimientos culturales estaban a cargo de damas de honor, de gran refinamiento, y las primeras figuras plegadas de papel se remontan a esa época, no existen indicios que determinen que dicha inspiración viniese de China.*

*Cerca del año 1000, Murasahi Shikibu, escribió "La historia del Príncipe Genji", en ella menciona los magníficos tipos de papel en los que se redactaban las cartas de amor, las poesías, y describía la forma extraordinaria, significativa y delicada en que eran plegados. Quizás ésta sea la primera prueba de origami, ya que en las cartas no sólo tenía importancia su contenido, la escritura, la elección del papel sino también la forma del plegado, ya que era elegido según la ocasión o de acuerdo al contenido. Si bien es una descripción mundana, por ser cartas de amor y felicitaciones, podríamos decir que probablemente tenían origen religioso. El ejemplo son las Orikata, transmitidas de generación en generación, dentro de la clase sacerdotal sintoísta.*

*Los motivos y formas de poner cintas, según esta técnica tenía significado simbólico en ceremonias religiosas y cultos, un ejemplo la "mariposa" (el plegado tal vez más antiguo), que aún hoy se pliega de muchísimas formas diferentes, estas eran utilizadas en bodas sintoístas, se realizaban*

---

<sup>19</sup> Fuente: [www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm](http://www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm)

una mariposa macho y una hembra y cerraban 2 botellas de sake, durante la ceremonia se unificaba el contenido de las 2 botellas en una sola copa, ofreciéndoselas a los novios, como símbolo de amor constante.

Periodo Kamakura (1183-1333). Otras figuras plegadas que aún hoy mantienen su significado, fueron los **noshis** (Fig. 36), época de dominación militar, motivos religiosos, simbolizando la suerte al guerrero, ofrecidos en templos. Según el maestro Yoshizawa, (artículo publicado en la revista *The origamian*", vol.3, 1963), comenta que hasta el Período Muromachi (1333-1573) "Sólo la nobleza o el muy rico podía tener los medios suficientes para entretenerse con el Origami".

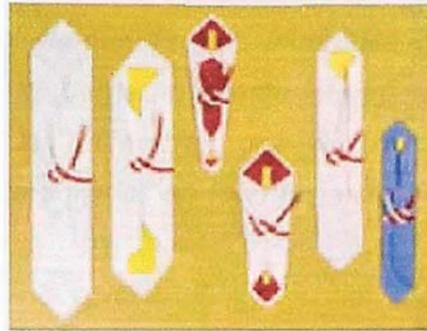


Figura 36. Noshis

Fuente:

[www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm](http://www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm)

En el siglo XIV, existían otros plegados que servían de horóscopo, contenían plegarias, su forma era en zig-zag, "Go-Hei", y otros se anudaban, en este caso el "nudo pentagonal".

Al final del período Muromachi, el origami se hace popular, es enseñado de generación en generación, de madres a hijos.

Período Edo (1614-1868). En el siglo XVIII, donde el Budismo Zen, como religión popular tenía repercusión en la vida espiritual y cultural, época de gran florecimiento artesanal. Aparecen las escuelas de etiqueta social, enseñaban ceremonia del té, ideas basadas en el Zen sobre la postura de flores, Ikebana; poesía, realización de cartas, felicitaciones, etc., y la enseñanza del plegado artístico para estas escrituras, realización de noshis.

En el año 1639, Japón cierra nuevamente sus puertas a occidente hasta 1854, obteniendo gran esplendor artístico. Se escribieron obras para teatro Kabuki, de los ricos y obras populares para teatro de títeres, la obra popular preferida fue "Chushingura", y con ella aparece la afición de plegar figuras del teatro de títeres. En 1797, las representaciones de origami se dieron con la aparición del libro "Chushingura orikata", se cree que su

autor fue un sacerdote, eran figuras plegadas para la obra, eran las primeras formas con indicaciones escritas, en ese mismo año y el mismo sacerdote, escribe "Sembarazu Orikata", sobre el plegado de grullas en 1000 formas. Entre 1845 y 1850, aparece la colección de plegados más importante "Kan no mado", presumiblemente su autor fuera Adachi Katsuyuki.

Adelantándonos en el tiempo, el pedagogo alemán Fröbel, incorpora al origami en sus técnicas de enseñanza en los Kindergartens, esto influyó en occidente, pedagogo que no deja de lado a los geómetras, que ven en el papel y en sus plegados la posibilidad de incorporarlos en la enseñanza de geometría.

El libro del hindú Sundara Row, "Geometric exercises in paper folding", de 1893, se convirtió en un tratado amplio de geometría euclidiana, esto hace que los matemáticos le den su importancia para la enseñanza de la misma, y de esto se conocen distintos trabajos de distintos autores: Steven Barr, Kodi Husimi, Jacques Justin ("Pliage et mathematiques"), Arthur Stone, entre otros. Por su parte Rey Pastor y Unamuno, mencionan la técnica del nudo pentagonal como aplicable para obtener un pentágono.

Sobre los años 1950-1960, surgen grandes maestros, creando las nuevas formas de origami moderno, Isao Honda, Akira Yoshizawa, y gran cantidad de aficionados con necesidad de unirse y crear origami. Los primeros en ver esa necesidad fueron Lillian Oppenheimer, Dr. Vicente Solórzano Sagredo, (fundador del museo de origami en Argentina, en 1954, cerrado en 1961), Ligia Montoya (argentina), Adolfo Cerceda (argentino), Vicente Palacios, Montroll, Nakano, N. Elias y muchos otros, que al dar mayor importancia al plegado, dan a sus figuras la posibilidad de ser estudiadas e interpretadas, siempre sin importar el tamaño, pero con igual perfección.

El Dr. Starr, profesor en la universidad de Chicago, residió en Japón durante la primera guerra mundial, conoce el origami y busca publicaciones del mismo, según cuentan, encontró una casa de artículos antiguos y en ella un manuscrito perteneciente a un volumen de una gran enciclopedia, de él sacó copias, su original en Japón no fue encontrado, y

*la copia de Starr fue encontrada en 1960, esta publicación fue interpretada y comentada por Julia y Martin Brossman.*

*Los modelos del Kan no mado, son realmente interesantes, mariposas macho y hembra, diversos noshis plegados, la libélula, la rana (regreso de amor y éxito en la profesión) y el mono, pero contiene principalmente figuras humanas, el payaso bailando, el luchador en la arena, indicaciones de plegado para muñecos, el emperador, la emperatriz, damas de honor, y otros. Este manuscrito podría haber estado realizado para las fiestas de las muchachas, festividad de muñecos (realizadas el 3 de marzo), ceremonia de purificación, donde todas las impurezas eran transmitidas a los muñecos de papel y luego arrojadas al río. También para la festividad de los muchachos (5 de mayo), donde lanzan cometas al aire, carpas de papel (simbolizando la tenacidad, perseverancia, dignidad, larga vida), fiesta de la flor del cerezo (de amor y del guerrero), del ciruelo (para la justicia, esperanza), del aprendiz, flor de loto (pureza), la Grulla (ave imperial, símbolo de 1000 años de vida), la tortuga (alegoría, longevidad, 10000 años de vida), entre otros.*

*De siempre la humanidad ha sido provista de mucho material que ellos doblaban en formas estéticas, ejemplo de esto: trenzado de junco, las vestimentas Griegas antiguas, y el pliegue de servilletas en Europa incluye formas que más tarde serán designadas "bases" y todavía en papel no eran conocidas. Los ejemplos clásicos son el zig-zag, dobleces planos, blintz y bombas de agua. Referencia de ellas fue hecha en el libro de Mattia Giegher, "Tratatto delle Pliegatture", Padua 1639, donde son mostradas esas bases para el comienzo de como doblar servilletas.*

*Según Robert Harbin en su libro "Papel Mágico, el Arte de plegar papel" (Paper Magic, the Art of Paper-folding), Londres 1965 (7ta Edición), entre 1704 y 1739, aparece libros de instrucciones pero, sin duda, el documento mayor fue la aparición del libro de instrucciones del año 1797, donde es mencionado una generalidad de bases plegadas.*

*En 1853, son conocidas en Europa como base pájaro y la base rana. La primera publicación que reconoce esto, fue la revista Inglesa "The Boys Own Paper", Vol. VIII, 1886, donde son publicadas las instrucciones*

preliminares. Pero, como en 1952, empezó a aparecer la representación gráfica, diferenciando dobleces en valle y en montaña que ideó Yoshizawa; al mismo tiempo, Randlett y Harbin, analizaron el doblado y empezaron a designarlas y a diferenciarlas. Recién entonces, empieza la idea de "bases" como principio para la ejecución de dobleces y el comienzo de la necesidad de unificar ideas en los distintos nombres de dichos pliegues: de valle, montaña, escalón, oreja de conejo, crushed, pétalo y sink; cometa, bomba de agua, preliminar, ave y rana.

### **2.1.3. Bases del Origami<sup>20</sup>**

En 1955 Yoshizawa escribe su primer libro, "Atarashi Origami Geijutsu", ("Nuevo Arte de plegado de papel") fue publicado, y contiene las líneas de puntos familiares diferentes para valle y pliegues de montaña. También en el verano de 1955, Gershon Legman tuvo la primera exhibición de Yoshizawa en el Oeste, en Amsterdam. Desde entonces, Yoshizawa fue extensamente conocido en el Oeste, por como hizo su sistema de líneas de puntos y flechas para diagramas. Una tirada temprana del Origamian de 1958 se anuncia la decisión Origami Center exclusivamente para emplear el sistema de Yoshizawa para todos sus diagramas.

El sistema de líneas de puntos y flechas, fue ideado por Yoshizawa, esto es una gran probabilidad. La fecha real hubiera sido 1950 o más temprana. Se pudo observar que Honda ha continuado usando su "P" símbolo para sus muchos libros, incluso en "El Mundo del Origami" de 1965. Más tarde, Robert Harbin introdujo el pliegue de calabaza, pliegue de pétalo, oreja de conejo, etc. En "Magia de Papel" en 1956. Pero aunque él entonces conoce acerca de Yoshizawa, él no usó sus líneas de puntos en los libros. Ellos estaban diseñados por Rolf Harris, eran dibujos a pulso. Poco después, en correspondencia privada, Sam Randlett y Robert Harbin convinieron que era un sistema comprensivo de símbolos y terminología. Estas incluyeron las bases regulares y en estos estaban dados los nombres ahora familiares de pliegue preliminar, base bomba de agua, base blintz, base de pescado, base pájaro, base rana. Alguno de estos términos, como "pliegue preliminar", "bomba de agua" y "base blintz" (término inventado por Gershon Legman).

---

<sup>20</sup> Fuente: [www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm](http://www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm)

*El sistema frecuentemente llamado "Sistema Yoshizawa-Randlett". El nombre fue dado por alguien con conocimiento parciales de los hechos, y tal vez porque el sistema fue primero completamente descrito por Sam Randlett en su libro "El Arte de Origami" (1961). La inspección de Robert Harbin en su libro "Paper Magic" (1956), escrito antes de que Sam Randlett se interesara por el origami, es suficiente para probar que los términos "pliegue de calabaza", "pétalo" fueron inventados por Harbin. Sam Randlett pensó que fue bueno que todas las bases estuvieran derivadas unas de otras, pero en el proceso la base "molino de viento" parece haberse ido del camino. El sistema completo primero apareció en el "Arte de Origami" de Randlett en 1961, seguido por "The best of Origami" en 1963. Ya en 1964, la publicación de "Secretos de Origami" antes que Robert Harbin aplicara los mismos símbolos con unas pocas modificaciones. Con este sistema familiar de símbolos para origami fueron completados. Debe ser separado del uso del sistema básico de líneas y flechas del japonés Yoshizawa, ellos omiten más de nuestra terminología.*

*Bases "clásicas". "Clásico" es un término algo suelto. Algunos restringirían el término a esas bases, cuando comenzaron a doblar figuras planas, en forma de diamante: Cometa, diamante, pescado, ave y bases de rana. Ellos fueron considerados por el Dr. Solórzano Sagredo como "Deltoides". En los días del moderno "origami", "papiroflexia", "paperfolding", allí fue una tendencia por algunos por considerarlas solamente "bases" y ellos estaban imbuidos con un casi místico significado. Un concepto más amplio de "Bases Clásicas" extienden el término a Pliegue Preliminar, bomba de agua (waterbomb base), base blintz, molino de viento y exóticos tal como el base de ave y la base de ave estirada. Una base es solamente un escenario en el proceso del plegado*

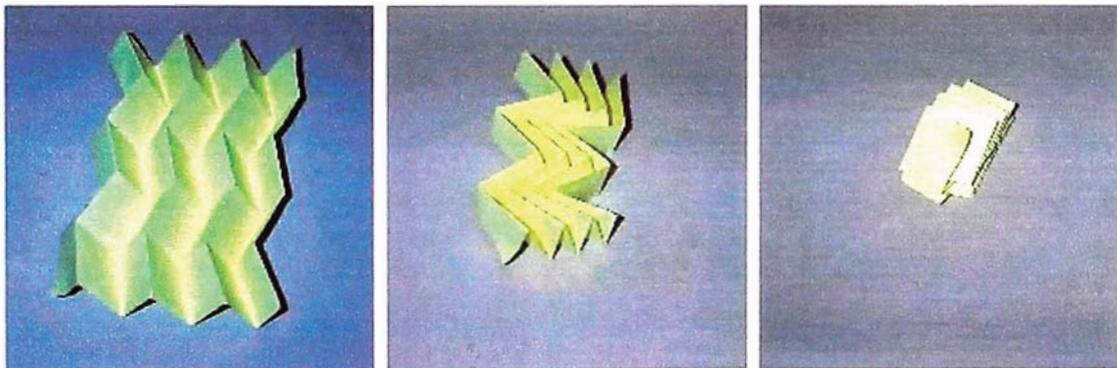
*Llenos de una colección de bases y técnicas básicas de plegados, hacen al sistema con variaciones en símbolos y distintos modos de hacer plegados.*

*Se podría suponer que las bases de David Brill o quizás las de Max Hulme, fueron desarrolladas independientemente en el año 1970 y usadas en varios modos para animales plegados. Ellas no han sido publicadas, excepto en sus explicaciones, aparecer como instrucciones de plegados para esos modelos.*

## 2.2. Koryo Miura<sup>21</sup>

*Koryo Miura, profesor del Instituto del Espacio y Ciencia Astronáutica de Kanagawa (Japón) desarrolló hace años un modo especial para doblar mapas. En los años 70-80 propuso que este método se podría aplicar en un futuro para en el empaquetamiento y desdoblado de grandes superficies membranosas en el espacio, pantallas solares de estaciones espaciales y velas solares, por ejemplo.*

*Koryo Miura se inspiró en el milenar arte para inventar un sistema de plegado de los paneles solares retractables usados en los satélites artificiales. El sistema, llamado "Miura Ori" en honor a su creador, ha sido utilizado incluso para el doblado de mapas camineros. A menudo, desplegar un gran mapa puede ser enredado. Pero todo se facilita con el sistema "Miura Ori". Cada parte está conectada a la parte contigua, de manera que tirando de cualquier sección del mapa se abrirán los pliegues sucesivos en una reacción en cadena, hasta que se extienda totalmente como un plano, o sea, que este método consiste en que para abrir y cerrar este mapa solamente se requiere aplicar una fuerza externa en dos esquinas opuestas. (Figura 37)*



**Figura 37. Doblado de plano como si fuera origami de Koryo Miura**

Fuente: [www.geocities.com/micadesa/educacion/edumapas.html](http://www.geocities.com/micadesa/educacion/edumapas.html)

[www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/quint/tecnologia/sica25-6.html](http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/quint/tecnologia/sica25-6.html)

## 2.3. Charles Hoberman<sup>22</sup>

*Estudió en la escuela de arte de Nueva York y luego tomó un curso de mecánica, debido a que tenía una fascinación por la mecánica, quiere hacer un arte mecánico, o sea, hacer algo con la mecánica que lo estimule como lo estimula su arte. Actualmente reside en Soho, Nueva York donde diseñó su*

<sup>21</sup> Fuente: Discovery Channel

<sup>22</sup> Fuente: Discovery Channel

esfera geodésica, trabaja con algunos ayudantes en su oficina ubicada en el desván de su departamento junto con su esposa que lleva los negocios familiares.

Al realizar estas estructuras, lo primero buscó fue una estructura que pudiese desaparecer, pero al ser un hombre práctico se dio cuenta de que eso no podía ser, así que busco una estructura que se pudiera transformar en algo más pequeño, lográndolo probando formas con hojas de papel. **“Lo interesante de estas estructuras es que no son solamente fuelles de una cámara o un paraguas que se doblan en una dirección, sino objetos tridimensionales que se mueven en varias direcciones”, “no son solo objetos o estructuras sino máquinas, una máquina cualquiera que transmiten fuerzas y movimientos”** - dice Hoberman.

Sus estructuras se hicieron mucho más complicadas y tuvo que cambiar el papel por la computadora. Entre sus obras principales se encuentran:

La esfera geodésica expansible de aluminio. (Figura 38)

La tienda de campaña de plástico grueso corrugado.



Figura 38. Secuencia de movimiento de la Esfera Geodésica de Charles Hoberman  
Fuente: Discovery Channel

El domo plegable para estadios y arenas; de base circular, cubierto de un metal expansible, teniendo una geometría espiral entrelazada, está compuesto de varias partes móviles, es un domo estructuralmente estable pero puede ser capaz de moverse si se le aplica una fuerza en alguna dirección. Según Hoberman, **"ésta no es solo la idea funcional de hacer un domo plegable sino es crear un proceso de transformación completo en algo que será de alguna forma en el espectáculo final, un círculo que se cierra mientras el domo se hace más y más grande"**. (figura39)

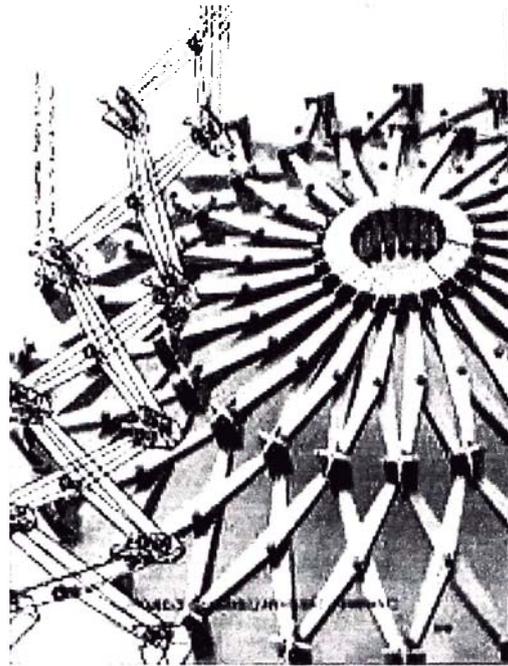


Figura 39. Domo de Charles Hoberman  
Fuente: Discovery Channel

Finalmente, La idea principal que quiere transmitirnos Charles Hoberman es: **"Tratar de hacer las experiencias nuevas experiencias, algo que será cualitativamente diferente a lo que se ha visto anteriormente"**.

#### 2.4. Santiago Calatrava



Figura 40. Planetario, Ciudad de las Artes y Ciencias-Valencia, España.

Fuente: [www.arch.mcgill.ca/prof/mellin/arch671/winter2004/student/Monroe/Assignment3/assign3E.html](http://www.arch.mcgill.ca/prof/mellin/arch671/winter2004/student/Monroe/Assignment3/assign3E.html)

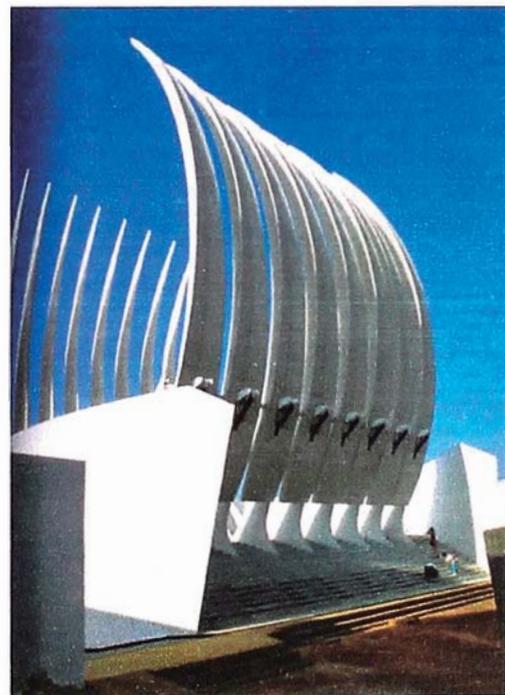
Nacido en Benimamet (Valencia, España) el 28 de julio de 1951, Santiago Calatrava estudió arte y arquitectura en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia (1969-74), e ingeniería en el ETH de Zúrich (donde obtuvo el doctorado en Ciencia Tecnológica en 1981). Ese mismo año abrió su propio estudio de arquitectura e ingeniería civil.

Sus investigaciones suponen un punto de contacto entre dos disciplinas que se han distanciado desde finales del siglo XVIII: la arquitectura y la ingeniería civil. Como especialista en cálculo estático, Santiago Calatrava ha estudiado

*numerosas osamentas de animales y las ha reinterpretado en diversas estructuras metálicas y de concreto armado. Por otra parte, practica un plasticismo ligado a la tradición mediterránea (en ocasiones rememora los espacios creados por Antoni Gaudí) y a la corriente organicista centroeuropea, en especial a los arquitectos Hugo Häring, Hans Scharoun y Eero Saarinen.*

*Con tan sólo 51 años, es hoy en día uno de los autores más reconocidos gracias a la calidad y el diseño de sus obras. Comienza trabajando con dibujos, acuarelas y esculturas, éstas últimas realizadas en madera, acero y otros materiales, para luego dar origen a las obras arquitectónicas de gran tamaño. Realizó puentes, estaciones de ferrocarriles, estaciones de subtes, torres y museos, en diversos países del mundo. El diseño de sus estructuras tiene que ver con el estudio del movimiento, de las formas orgánicas, principalmente con el ojo ya que es para él la herramienta básica de la arquitectura. Su interés por la construcción de puentes tiene que ver por una parte, con la función de ser una obra para peatones y vehículos, y por otra, con la recuperación de la tipología de puente como monumento urbano, para que pueda servir como nueva plaza o como mirador sobre el entorno. Al ser ingeniero civil logra conjugar el cálculo, la tensión y la energía cinética de las formas estables y transformarla en arquitectura, en arte.*

*Utiliza un lenguaje abstracto de las formas orgánicas: una piña, la hoja de una palmera, el cuerpo humano, que luego se transforman en esferas, prismas, líneas, conos. En Valencia por ejemplo, se construyó la Ciudad de las Artes y las Ciencias, compuesta por el Museo de las Ciencias, el Palacio de las Artes y el Hemisferio. Este último, alberga en su interior una esfera que es una sala y la estructura que la protege se cierra o abre convirtiéndose en dosel, siguiendo el movimiento de su párpado y traduciendo literalmente la imagen en la que se inspiró, el ojo humano.*

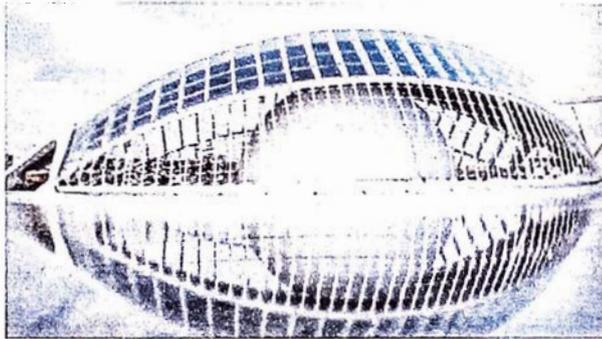


**Figura 41.**  
**Pabellón de Kuwait->Sevilla, España.**  
Fuente: Santiago Calatrava: *The Poetics of Movement*-Alexander Tzonis

### 3. PROYECTOS INTERNACIONALES

#### 3.1. *El Hemisferio de la Ciudad de las Artes y Ciencias, Santiago Calatrava, 1998 (Valencia, España)*<sup>23</sup>

Construido por Santiago Calatrava es una creación arquitectónica concebida para que el espectador pueda, en un mismo espacio, experimentar las atractivas sensaciones ofrecidas por un Planetario convencional junto a las extraordinarias percepciones que provocan las proyecciones cinematográficas de formato IMAX Dome. Lo verdaderamente singular de este edificio es que está dotado para poder ofrecer al espectador las dos posibilidades sin tener que trasladarse a otro lugar. Posee el sistema de proyección astronómica más moderno,



controlado por ordenador, para la representación completa del cielo y de los cuerpos celestes sobre una superficie de 24 metros de diámetro y con 30° de inclinación.

Figura 42. Planetario, Ciudad de las Artes y Ciencias-Valencia, España.

Fuente: Santiago Calatrava: *The Poetics of Movement*-Alexander Tzonis

La proyección en IMAX Dome, es el mayor formato de fotograma de todos los utilizados hasta la fecha en cinematografía. Proyectada sobre la pantalla hemisférica, supera el campo de visión binocular del ser humano.

En abril de 1998 comenzó a funcionar este singular edificio, concebido por el arquitecto

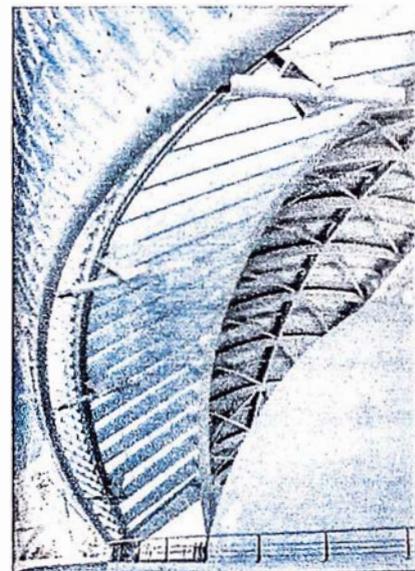
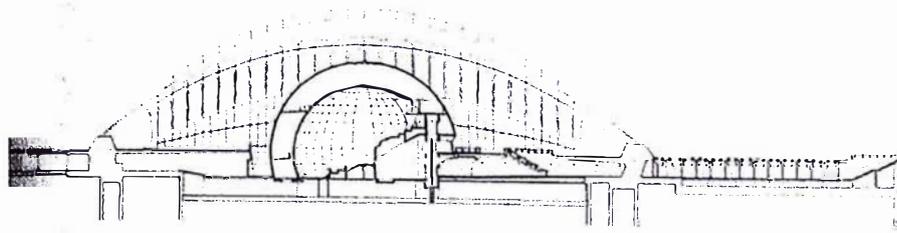


Figura 43. Detalle de estructura del Hemisferio.

Fuente: Santiago Calatrava: *The Poetics of Movement*-Alexander Tzonis

<sup>23</sup> Fuente: [fperezgaldos.iespana.es/fperezgaldos/ciudad%20de%20las%20artes%20y%20las%20ciencias.htm](http://fperezgaldos.iespana.es/fperezgaldos/ciudad%20de%20las%20artes%20y%20las%20ciencias.htm)



**Figura 44. Corte Longitudinal del Hemisferio-Valencia, España.**

Fuente: Santiago Calatrava: *The Poetics of Movement*-Alexander Tzonis

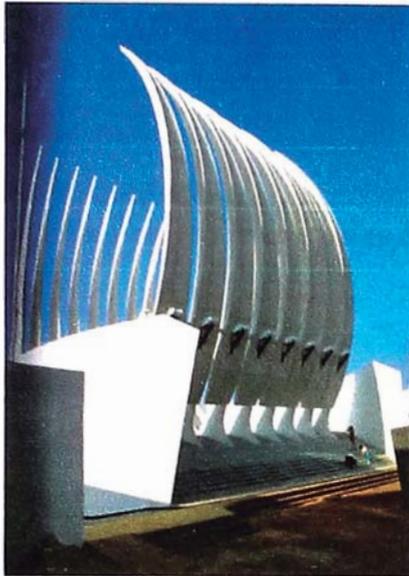
*Santiago Calatrava como un gran ojo humano que se abre al mundo. Es una creación arquitectónica realizada para que el espectador pueda, en un mismo espacio, experimentar las sensaciones ofrecidas por un planetario convencional junto a las extraordinarias percepciones que provocan las proyecciones cinematográficas de formato IMAX Dome y junto a espectáculos de láser Omnicand de última generación.*

*Rodeado por un estanque espectacular de 24.000 metros cuadrados que permite ver reflejada una esfera completa en el agua, este edificio de 14.000 metros cuadrados que posee el sistema de proyección astronómica más moderno, controlado por ordenador, para la representación completa del cielo y de los cuerpos celestes sobre una superficie de 24 m de diámetro y con 30 grados de inclinación. El láser Omnicand, a diferencia del láser unidireccional y lineal, cubre la totalidad de la cúpula de proyección.*

### **3.2. Pabellón de Kuwait, Santiago Calatrava, 1992 (Sevilla, España)<sup>24</sup>**

*Diseñado y construido por Santiago Calatrava para la Exposición de Sevilla de 1992, con una superficie construida de 1270 m<sup>2</sup> y una altura máxima del pabellón de 24.6 metros. Es un edificio de doble planta rectangular. La planta superior, tiene la función de ser espacio público (plaza) y espacio de transición a los demás pabellones de los países árabes (escalinata) y la planta inferior, semienterrada, es el espacio de exposición propiamente dicho. Está dividido en una zona central, deambulatorio lateral ampliamente conectado con esa zona central y zonas de servicios e instalaciones. Los elementos arquitectónicos más singulares son la cubierta móvil, la plataforma y la sala de exposiciones.*

<sup>24</sup> Fuente: [www.arquitectura.com/arquitectura/inter/perfiles/calatrava/calatrava.asp](http://www.arquitectura.com/arquitectura/inter/perfiles/calatrava/calatrava.asp)



**Figura 45.**  
**Pabellón de**  
**Kuwait-Sevilla,**  
**España.**

Fuente: Santiago Calatrava: *The Poetics of Movement*- Alexander Tzonis

La cubierta está formada por un conjunto de 17 segmentos independientes

que se entrelazan creando un umbráculo sobre la plaza, con una longitud de unos 25 metros. Cada uno de estos segmentos está realizado en madera, y puede ser accionado de forma independiente por medio de un motor que permite la rotación del mismo entorno a un eje horizontal, de 45 a 90°, creándose así una serie de juegos de formas entre los dos



**Figura 46. Detalle de la estructura**

Fuente: Santiago Calatrava: *The Poetics of Movement* Alexander Tzonis



**Figura 47. Detalle del Pabellón de Kuwait Sevilla, España**

Fuente: Santiago Calatrava: *The Poetics of Movement* Alexander Tzonis

extremos: completamente cerradas, para resguardar del sol durante el día, y todas abiertas durante la noche para permitir proyecciones sobre una pantalla de 30 metros cuadrados, colocada en una posición elevada sobre una de las paredes.

La plataforma configura el espacio público por excelencia del Pabellón. A él se puede acceder libremente a través de dos escalinatas que forman conjuntamente con la plataforma la imagen de un puente. El pavimento es de mármol de Macael, y la zona central se ha iluminado hasta dejarlo

*translucido, con lo que se permite la entrada de la luz a la sala de exposiciones inferior. Es sostenido por una serie de cerchas paralelas de madera.*

*La Sala de Exposiciones tiene una serie de muros perimetrales de concreto*



*armado enfoscados o enlucidos y recibe la luz natural a través del techo translucido de la plataforma o a través de aperturas laterales de menor tamaño, y su pavimento es de piedra natural, mármol de Macael y granito negro absoluto.*

**Figura 48. Pabellón de Kuwait Sevilla, España**

*Fuente: [expo92.blogspot.com/2006/03/pabelln-de-kuwait.html](http://expo92.blogspot.com/2006/03/pabelln-de-kuwait.html)*

### **3.3. Museo de Arte de Milwaukee, Santiago Calatrava, 2001 (Wisconsin, USA)<sup>25</sup>**

*El Museo de Arte de Milwaukee, ubicado junto al lago Michigan, ocupaba*



*inicialmente las dos plantas inferiores de un edificio diseñado en 1957 por Eero Saarinen, como monumento de guerra y fue ampliado en 1975 por David Kahler.*

**Figura 49. Vista peatonal del Museo de Arte de Milwaukee.**

*Fuente: [www.epdip.com/arquitecto.php?id=29](http://www.epdip.com/arquitecto.php?id=29)*

*El conjunto Saarinen-Kahler, una estructura de cemento de geometría rectangular conectada a la ciudad mediante un puente de cemento, era*

<sup>25</sup> Fuente: [www.arq.com.mx/noticias/Detalles/8221.html](http://www.arq.com.mx/noticias/Detalles/8221.html)

notable por su carácter sólido pero carecía de identidad arquitectónica y funcionalidad. Todo ello unido a la creciente importancia que iba adquiriendo el Museo hizo necesario replantear una nueva ampliación cuyo diseño y ejecución se encargó a Calatrava.

El arquitecto valenciano propuso una construcción concebida como entidad independiente que contrasta con el conjunto existente en su geometría y materiales. La estructura, cuya forma recuerda un barco, está realizada en acero blanco y cemento y se comunica con la Wisconsin Avenue a través de un puente peatonal atirantado.

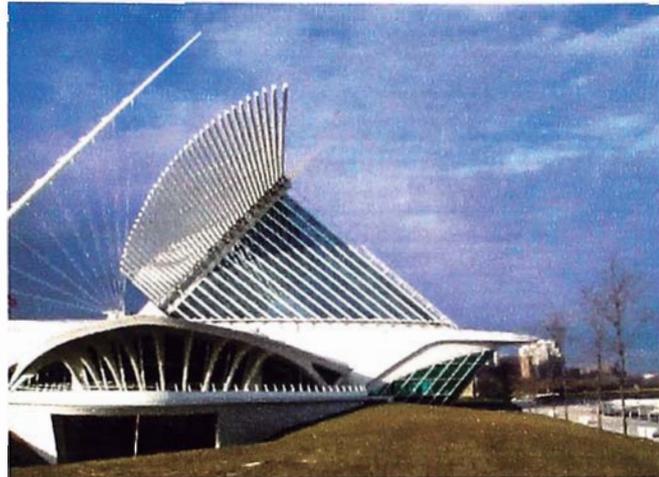


Figura 50. Vista peatonal con la estructura abierta.  
Fuente: skyscrapercity.com/showthread.php?t=157119

El diseño está rematado por una espectacular estructura cinética realizada en cristal y acero que se abre y cierra como las alas de un gran pájaro y cuyo eje es un mástil inclinado 47 grados, paralelo al mástil del puente peatonal adyacente. A nivel de la orilla la ampliación alberga un atrio; un espacio de 1.500 metros cuadrados destinado a exhibiciones temporales; un centro educativo con un auditorio con capacidad para 300 personas; una tienda de regalos; y un restaurante para cien comensales, situado en el centro del edificio, con vistas panorámicas sobre el lago Michigan.

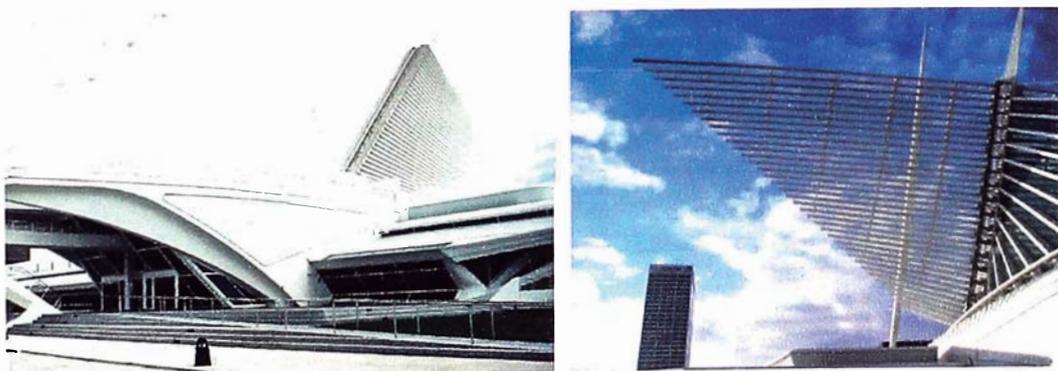
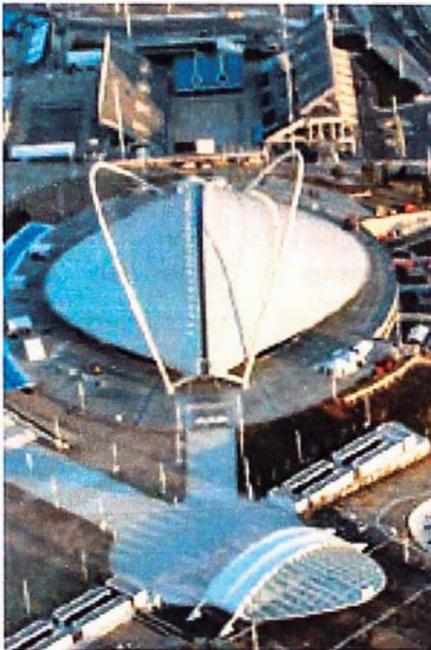


Figura 51. Estructura del museo cerrado (izquierda), detalle de la estructura móvil (derecha).  
Fuente: www.arq.com.mx/noticias/Detalles/8221.html, skyscrapercity.com/showthread.php?t=157119

### 3.4. Velódromo del Complejo Deportivo Olímpico de Atenas, Santiago Calatrava, 2004 (Atenas, Grecia)<sup>26</sup>

*El techo del velódromo olímpico de los Juegos de Atenas, concebido por el arquitecto español Santiago Calatrava, es una cobertura móvil que se desliza hasta la pista sobre unas vías de 135 metros de longitud, y tiene un peso de 4.000 toneladas.*



*Muchos de los retos que presentaba el estadio principal se repitieron en el velódromo. Era necesario cumplir los requisitos de la televisión, los atletas, jueces y espectadores, respetando al mismo tiempo el diseño arquitectónico de Santiago Calatrava.*

*La remodelación del velódromo incluyó 5.250 localidades de asiento, una pista de 250 m y rampas de hasta 42°, así como una estructura de cubierta diseñada por Santiago Calatrava.*

*Figura 52. Vista aérea del velódromo del complejo olímpico.*

*Fuente: [forums.cjb.net/mayor-about1813.htmlt=157119](http://forums.cjb.net/mayor-about1813.htmlt=157119)*



*Figura 53. Vista interior del velódromo del complejo olímpico.*

*Fuente: [www.calatrava.info/viewWork.asp?id=31](http://www.calatrava.info/viewWork.asp?id=31)*

*En lo referente a las especificaciones de iluminación, la AOB exigía una iluminancia vertical mínima de 1.400 lux en la pista y 1.000 lux en la zona central.*

<sup>26</sup> Fuente: [www.lighting.philips.com/es\\_es/project/sport\\_area/olympic\\_velodrome\\_athens.php?main=es\\_es&parent=1&id=es\\_es\\_project&lang=es](http://www.lighting.philips.com/es_es/project/sport_area/olympic_velodrome_athens.php?main=es_es&parent=1&id=es_es_project&lang=es)

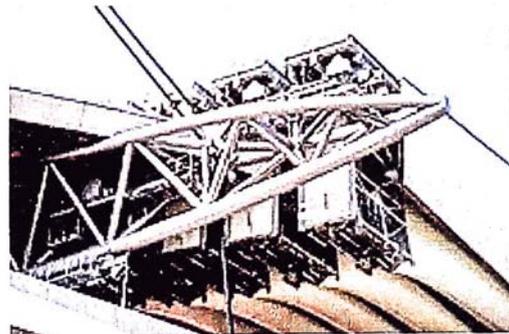
### 3.5. **Estadio Toyota, Kisho Kurokawa, 2001 (Toyota, Japón)<sup>27</sup>**

*El estadio realizado en la ciudad japonesa, sobre un proyecto de Kisho Kurokawa, fue construido con ocasión del quincuagésimo aniversario del municipio de Toyota, pero sobre todo en previsión de los campeonatos mundiales de fútbol.*

*Sin embargo la ciudad no entró después entre las elegidas para albergar las manifestaciones deportivas y fue necesario redefinir el proyecto, en particular en lo que se refiere a sus dimensiones. Se pasó, así, de una capacidad de 60.000 espectadores a 45.000 y fueron adoptadas soluciones capaces de dotar a la estructura de una mayor versatilidad de empleo.*

*Hoy, de hecho, el gran complejo, nacido por necesidades sobre todo deportivas, es utilizado también para albergar conciertos y acontecimientos de gran reclamo. Su estructura tiene un diámetro de 230 metros en las partes en superficie, pero las plantas subterráneas, que albergan servicios y oficinas, presentan dimensiones incluso mayores.*

*La estética de la construcción, de fuerte impacto visual, está caracterizada por la presencia de cuatro grandes pilares sobre los que se apoya la cubierta móvil. Cada uno de ellos tiene una inclinación de cerca de 7° y, además de sustentar la estructura metálica para la cubierta, le confiere un aspecto especialmente poderoso y monumental a todo el complejo. Igualmente imponentes son los muros externos de hormigón, que sustentan los graderíos para los espectadores.*



**Figura 54.**  
*Vista aérea del Estadio Toyota de Kisho Kurokawa (superior izquierda)*  
*Detalle de la estructura (superior derecha.)*

*Fuente: [www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html)*

<sup>27</sup> Fuente: [www.floornature.biz/articoli/articolo.php/id417/sez3/es-Laura Della Badia](http://www.floornature.biz/articoli/articolo.php/id417/sez3/es-Laura Della Badia)



**Figura 55.**

*Secuencia de transformación del Estadio Toyota (inferior izquierda, inferior derecha)*

*Fuente: [www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html)*

*Se han adoptado soluciones especiales para la cubierta: un sistema de vigas reticulares constituye la parte fija, la cual está dividida en dos áreas perfectamente iguales en sus formas y en sus dimensiones; en el centro, en correspondencia con el verdadero corazón del estadio, el espacio es abierto, carente de cubierta, pero dotado de un sistema móvil de fuelle en pvc.*

*En lo que respecta a los graderíos, la solución adoptada, además de ser particularmente sugestiva desde el punto de vista arquitectónico, ha sido estudiada sobre la base de las necesidades específicas de iluminación. Su trazado resulta, de hecho, sinuoso, ya que cada uno de los bloques tiene una altura diferente: mayor hacia el este y el oeste, va decreciendo hacia el sur y el norte. Se trata de una configuración especial, buscada por el proyectista, aparte de los clientes, para hacer posible la entrada de la luz natural en el campo de juego, lo que favorece el crecimiento del manto de hierba.*

*El complejo, que se desarrolla sobre un solar primitivo delimitado por varios cursos de agua, ha sido proyectado también para facilitar el movimiento de los visitantes en el interior y en el exterior. Escaleras, ascensores, recorridos peatonales y pasos permiten una circulación y un disfrute flexible de los diversos entornos.*

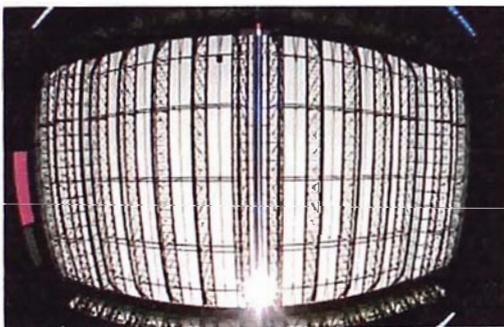
### 3.6. **Reliant Stadium, Hermes Reed Architects & Lockwood, 2002 (Texas, USA)<sup>28</sup>**



*Figura 56.*  
*Elevación longitudinal del edificio (arriba).*  
*Vista nocturna del edificio (izquierda).*

*Fuente:*  
*en.wikipedia.org/wiki/Reliant\_Stadium*

Localizado apropiadamente cerca del astrónomo y promocionado una vez como la 8va maravilla del mundo, el Reliant Stadium es en sí mismo una maravilla del diseño y de la ingeniería del deporte moderno. El estadio de 69 500 asientos tiene un campo de hierba natural y una cubierta retráctil, la primera en toda la NFL. Hay también 165 habitaciones privadas, 8.200 asientos del club, y más de 400 soportes de la concesión y stands novedosos.



*Figura 57. Vista de la cobertura cerrada (arriba izquierda).*  
*Vista de la cobertura abierta (arriba derecha).*

*Fuente:* [www.chron.com/content/chronicle/special/02/reliant/index.html](http://www.chron.com/content/chronicle/special/02/reliant/index.html)

Como cualquier otro proyecto de esta escala, el Reliant Stadium presenta muchos desafíos particulares en el diseño, la cubierta retráctil se puede utilizar según el uso requerido. Aunque la mayoría de los estadios deportivos de la última década han sido construidos para albergar un solo tipo de juego, el Reliant Stadium tuvo que acomodar el fútbol profesional

<sup>28</sup> Fuente: [www.c-b.com/information%20center/program%20management/ic.asp?tID=11&pID=72](http://www.c-b.com/information%20center/program%20management/ic.asp?tID=11&pID=72)

(un mínimo de 14 juegos al año) y el rodeo de Houston (40 días al año). El



campo de juego es entarimado y removible, permitiendo que los dueños agreguen una suficiente capa de arena para el rodeo, o utilizar el piso de concreto para los conciertos, las demostraciones comerciales, y las convenciones. El campo se puede utilizar también para el fútbol.

Figura 58. Detalle de la cobertura retráctil del estadio.

Fuente: [www.chron.com/content/chronicle/special/02/reliant/index.html](http://www.chron.com/content/chronicle/special/02/reliant/index.html)

### 3.7. **Bank One Ball Park, Ellerbe Becket y Bill Jonson, 1998 (Phoenix, USA)<sup>29</sup>**

Es un estadio con una capacidad para 48 569 espectadores, sólo es usado para el béisbol. Tiene 69 palcos de lujo localizados en el nivel medio y seis suites adicionales para reuniones. La cobertura se abre en diferentes posiciones para asegurarse de que la luz que entre sea la apropiada para el gras natural, sin interferencia del concreto o el acero del estadio, permitiendo que el estadio se ventile rápida y eficientemente.

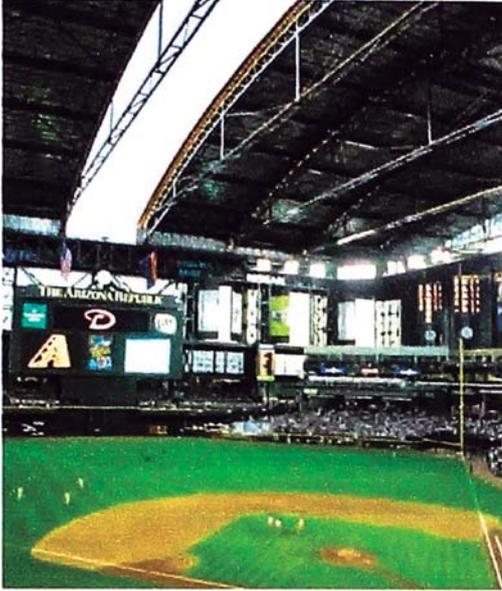


Figura 59. Vista aérea del estadio con el techo cerrado (arriba izquierda) y con el techo abierto (Arriba derecha).

Fuente: [www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm)  
[phoenix.gov/FILMPHX/film27.html](http://phoenix.gov/FILMPHX/film27.html)

<sup>29</sup> Fuente: [www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm)

Con la cobertura de la estructura del techo cerrada, la mínima altura de

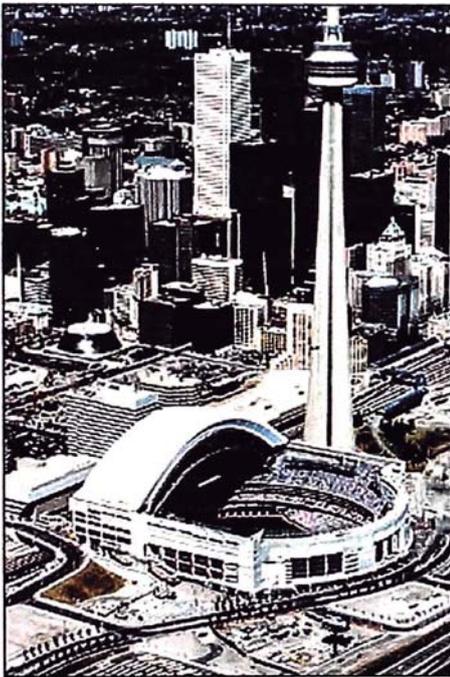


juego es de 55 m y la máxima altura es de 61 m. El Estadio cuenta con 1 580 m<sup>2</sup> para la ubicación de los sistemas electrónicos, de comunicación y de impresión, cuenta también con campos de práctica, lugares de bateo y de lanzamientos. Se le ha adicionado también una cantidad de 1 500 estacionamientos adyacentes al estadio.

Figura 60. Vista interior del estadio con la cobertura cerrándose.

Fuente: [www.jm.com/corporate/company\\_overview/static/bob.html](http://www.jm.com/corporate/company_overview/static/bob.html)

### 3.8. Skydome, Robbie/Young + Wright Architects, 1989 (Toronto, Canadá)<sup>30</sup>



El Skydome conocido ahora como el Centro Rogers, nos ofrece la primera cobertura retráctil y móvil del mundo, y se dice que es el más maravilloso centro de entretenimiento del mundo, el Skydome tiene un área de 186 000 m<sup>2</sup> y un diámetro de 205 m, lo suficientemente grande para albergar 8 Boeing 747 en su interior.

A diferencia de otros estadios del mundo, la cobertura del Skydome se separa en pedazos y desaparece de la vista en 20 minutos, destapando totalmente el campo de juego y el 91% de los asientos.

Figura 61. Vista aérea del estadio.

Fuente: [www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky2\\_dome.html](http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky2_dome.html)

<sup>30</sup> Fuente: [www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky.html](http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky.html)

COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL

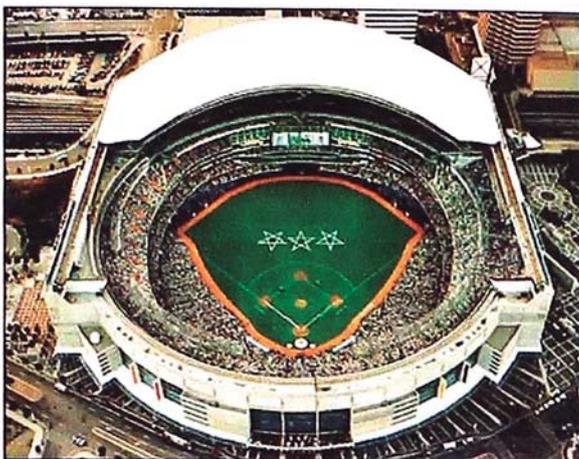


Figura 62. Vista del estadio con el techo replegado.

Fuente: [www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky2\\_dome.html](http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky2_dome.html)

La cubierta está compuesta de cuatro paneles de acero, uno de los paneles es fijo y los otros tres se deslizan por un sistema de rieles de acero. Cada panel está constituido por una estructura de acero con acero corrugado y una cubierta en membrana de plástico resistente al mal tiempo.

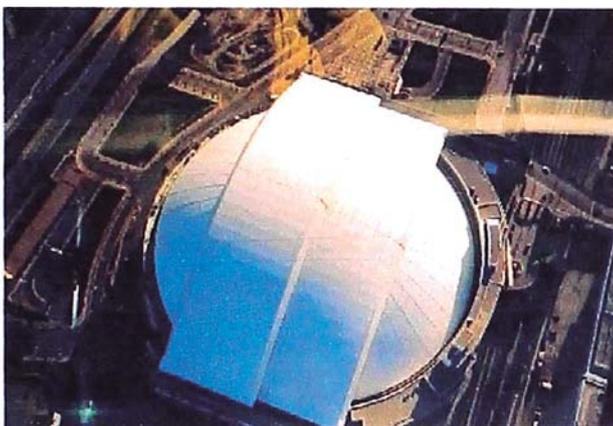


Figura 63. Vista del estadio con el techo cerrado.

Fuente: [www.adamandlyn.co.uk/country/tto\\_cn\\_skydome.shtml](http://www.adamandlyn.co.uk/country/tto_cn_skydome.shtml)

Para lograr abrir la cobertura, es necesario que los paneles se deslicen uno debajo del otro, hasta que todos se encuentren debajo del panel fijo. A pesar de su enorme peso, la cobertura pesa más de 11 000 toneladas, los paneles del techo se deslizan a una velocidad de 22 m por minuto.

### 3.9. Safeco Field, NBBJ, 1999 (Washington, USA)<sup>31</sup>



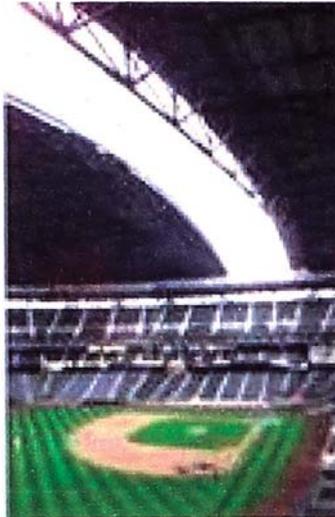
Figura 64. Vista aérea del estadio.

Fuente: [www.ballparks.com/baseball/american/seabpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/american/seabpk.htm)

El estadio cuenta con gras natural y se encuentra al aire libre, ofrece una cobertura retráctil que cubre todo el estadio de béisbol pero no la incluye. La cobertura cubre al 47% de los espectadores,

<sup>31</sup> Fuente: [www.ballparks.com/baseball/american/seabpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/american/seabpk.htm)

protegiéndolos de la nieve y la lluvia. El estadio tiene capacidad para 46 621 espectadores.



El estadio cuenta también con una tienda, un área de picnic, un área de juegos de niños, un restaurante y un museo del béisbol; cuenta con una variedad de concesiones y servicios higiénicos públicos y con dos niveles de instalaciones modernas para la prensa ubicadas detrás del lugar de bateo. La cobertura cuenta con tres paneles que en total miden 35410 m<sup>2</sup> con una altura de 65.5 m, pesa 9 980 toneladas y tiene un tiempo de apertura de 20 minutos.

Figura 65. Vista interior del estadio, cobertura cerrándose.

Fuente: [www.epinions.com/sprt-review-5DA2-294A3F70-3A03C1B1-prod3](http://www.epinions.com/sprt-review-5DA2-294A3F70-3A03C1B1-prod3)

### 3.10. Minute Maid Park, HOK Sport, 2000 (Texas, USA)<sup>32</sup>

Este estadio está hecho de concreto y de una estructura de acero revestida con ladrillo y piedra caliza. El estadio cuenta con gras natural y una cobertura retráctil. Todo el complejo abarca 29 acres, y la cubierta retráctil mide una altura de 74 m, logrando abrirse en 20 minutos.



Figura 66.  
Vista aérea del estadio.

Fuente:  
[www.worldstadiums.com/stadium\\_pictures/north\\_america/unit\\_ed\\_states/texas/houston\\_minute\\_maid.shtml](http://www.worldstadiums.com/stadium_pictures/north_america/unit_ed_states/texas/houston_minute_maid.shtml)

El complejo presenta aire acondicionado cuando la cobertura se encuentra cerrada. Cuenta con 60 suites, el Diamond Club, que es un salón que tiene la capacidad de 300 personas, instalaciones espaciales, concesiones disponibles en cada nivel, escaleras móviles y elevadores, áreas renovadas

<sup>32</sup> Fuente: [www.ballparks.com/baseball/national/bpkaus.htm](http://www.ballparks.com/baseball/national/bpkaus.htm)

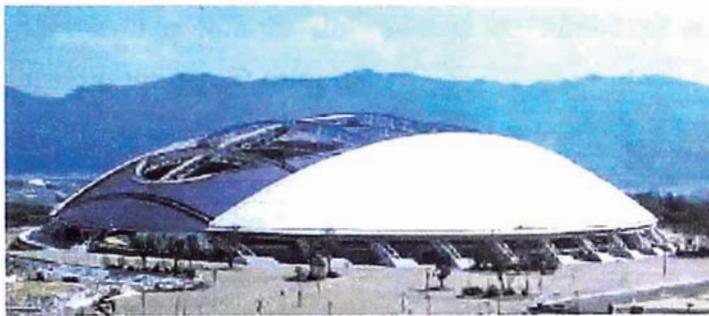


**Figura 67.** Vista aérea, cobertura cerrada (superior izquierdo)  
Vista interior del estadio, cobertura cerrada (inferior izquierdo)

Fuente: [remote.rexross.com/HPDHelicopter/28.jpg](http://remote.rexross.com/HPDHelicopter/28.jpg)  
[www.worldstadiums.com/stadium\\_pictures/north\\_america/uinted\\_states/texas/houston\\_minute\\_maid.shtml](http://www.worldstadiums.com/stadium_pictures/north_america/uinted_states/texas/houston_minute_maid.shtml)

de la Union Station incluyendo espacios de descanso y cafés, oficinas administrativas y un teatro para turistas.

### 3.11. Oita Stadium, Kurokawa Kisho Architectural Urban Design, Takenaka Corporation, 2001 (Oita, Japón)<sup>33</sup>



**Figura 68.**  
Vista aérea del estadio con la cobertura abierta (superior izquierda) y con la cobertura cerrada (inferior izquierda).

Fuente:  
[www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html)  
[www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/majorworks\\_e/topics/2001/winn/01-2.html](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/majorworks_e/topics/2001/winn/01-2.html)

El Oita Stadium más conocido como "El Gran Ojo" es una maravilla de la ingeniería y la arquitectura, el nombre que le han puesto es absolutamente conveniente debido a que el estadio tiene la forma de un ojo mirando hacia el cielo, con un techo retráctil que puede abrirse y cerrarse como un párpado.

El techo se encuentra suspendido en una estructura revestida de titanio que se encuentra sobre la base del techo, la cubierta retráctil está hecha de teflón translúcido, este material es más ligero que el vidrio, además que tiene una gran flexibilidad y es impermeable.

<sup>33</sup> Fuente: [www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html)

Tiene una capacidad para 43 000 espectadores, presenta un área de terreno de 92 882 m<sup>2</sup>, un área construida de 51 830 m<sup>2</sup> y un área techada de 29 000 m<sup>2</sup> y la cobertura esta inclinada en un ángulo de 33 grados. El edificio es de tres pisos y dos sótanos. La cobertura retráctil es

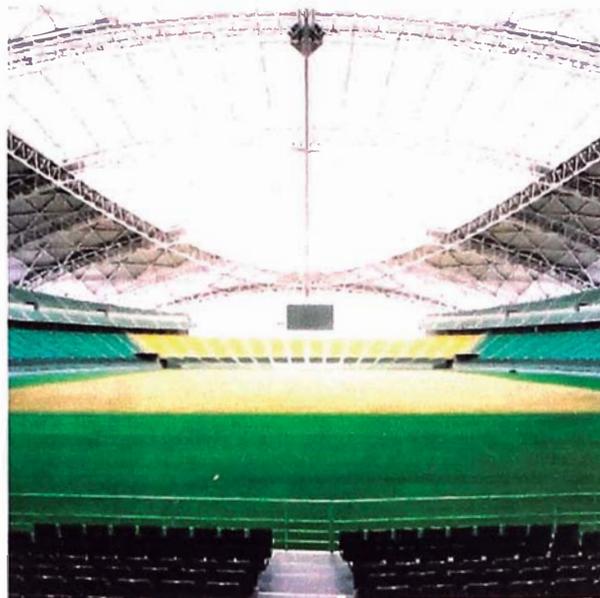


Figura 69. Vista interior del estadio, cobertura cerrada.

Fuente: [www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html)

manejada mediante un sistema de alambres a tracción y logra abrirse totalmente en 20 minutos.

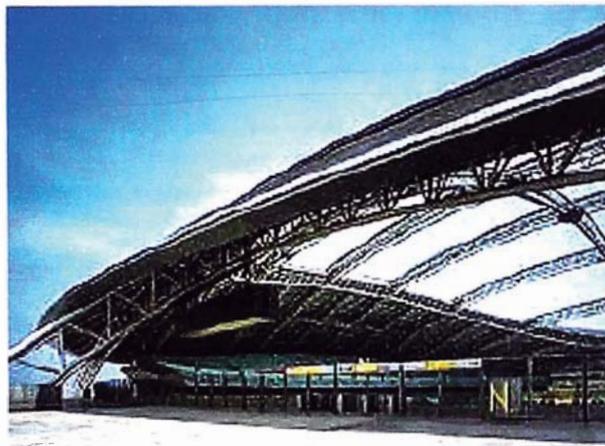


Figura 70. Detalle exterior del estadio.

Fuente: [www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html)

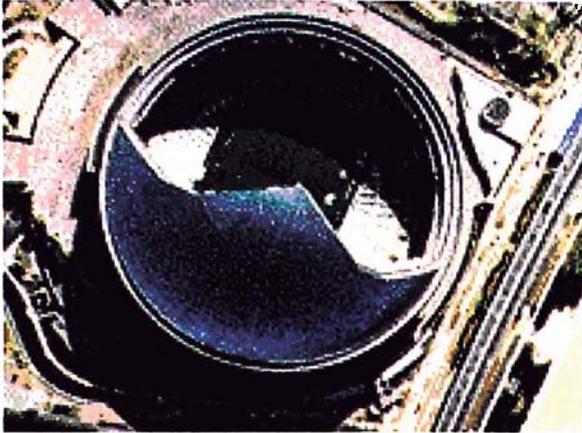
### 3.12. **Fukuoka Dome, Takenaka Corp. and Maeda Corp, 1993 (Fukuoka, Japón)**<sup>34</sup>

El estadio tiene un área de terreno de 176 000 m<sup>2</sup> y un área construida de 70 000 m<sup>2</sup>, tiene una altura máxima de 84 m, una capacidad para 52 mil espectadores y consta de 7 niveles a partir del campo.

Este estadio es el primer domo con cubierta retráctil en el Japón, es el estadio con mayor diámetro, que es de 222 m.

<sup>34</sup> Fuente: [web-japan.org/atlas/architecture/arc24.html](http://web-japan.org/atlas/architecture/arc24.html)

*El área del campo es de 13 500 m<sup>2</sup> El estadio es usado para los juegos de béisbol, otros deportes, eventos, conciertos, etc. El techo está compuesto*



*de tres paneles, con un área de 50 000 m<sup>2</sup>, cada uno de los paneles tiene un espesor de 4 m. El peso total de la cubierta es de 12 000 toneladas. El techo está soportado por 24 montajes de rueda donde dos de los paneles se deslizan debajo del tercero que es fijo; la apertura de la cubierta dura alrededor de 20 minutos.*

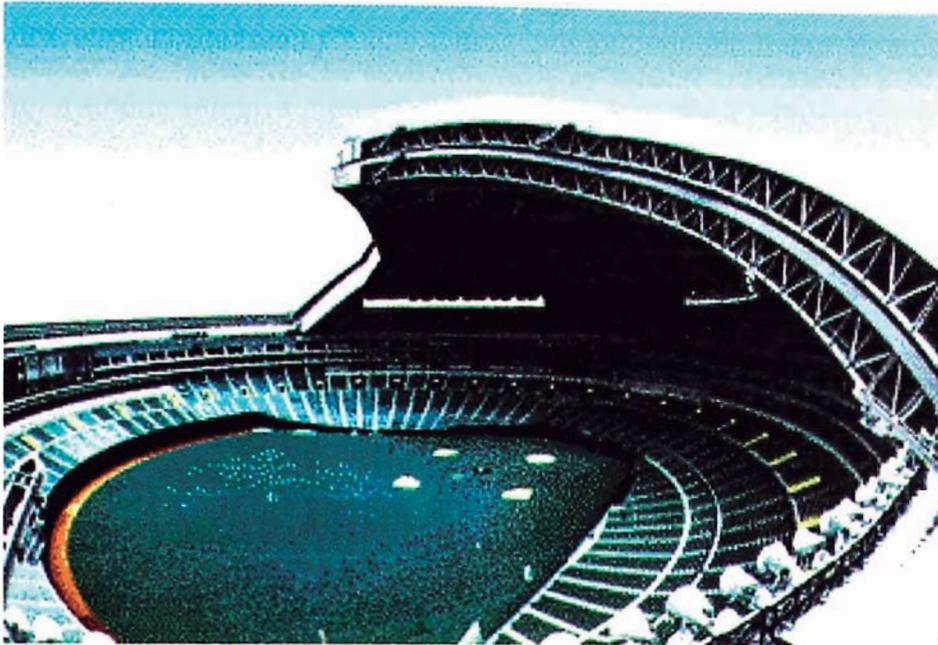


**Figura 71.**  
*Vista aérea del estadio con la cobertura abierta (superior izquierda).  
Vista del estadio con la cobertura cerrada (inferior izquierdo).*

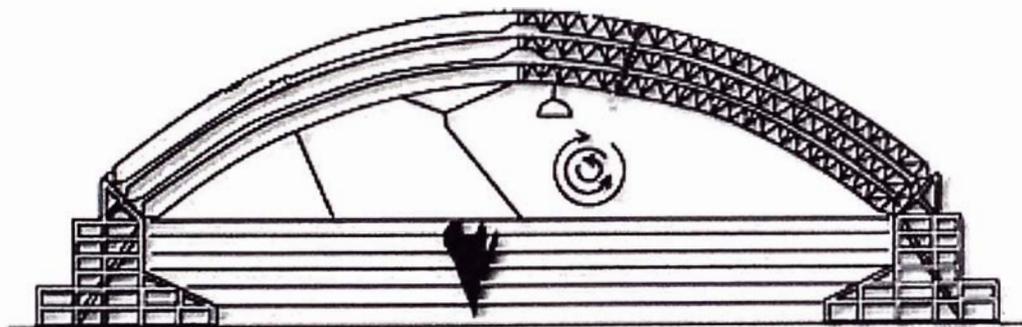
*Fuente:*  
[www.playballx.com/yakyu/park/NPB-park002.htm](http://www.playballx.com/yakyu/park/NPB-park002.htm)  
[files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg](http://files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg)

*Esta estructura presenta controladores de vibración en la cúpula, los cuales permiten que en caso de fuertes vientos o terremotos los paneles no choquen entre sí. El estadio puede usarse para otros deportes, además del béisbol, moviendo 6000 de los asientos, creando un campo rectangular.*

*Otra de las innovaciones del estadio están referidas al medio ambiente: por ejemplo, el agua de lluvia que cae en los techos se recoge, se filtra y se reutiliza para los tocadores.*



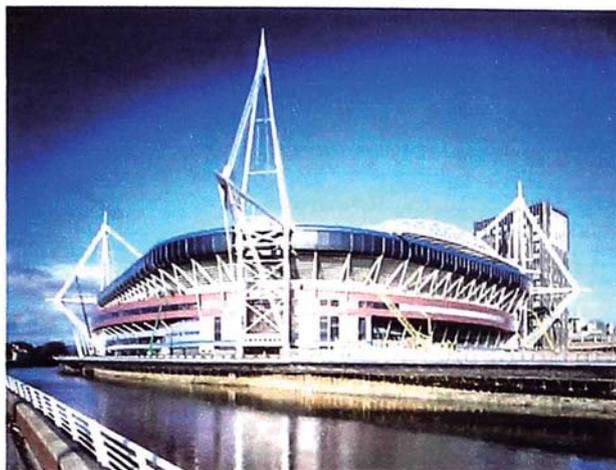
**Figura 72.**  
*Vista del techo abierto (superior izquierdo). Corte esquemático del edificio (inferior izquierdo).*  
Fuente: [annaoginga.blog.is/blog/annaoginga/](http://annaoginga.blog.is/blog/annaoginga/)  
[www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/techno/11\\_kai/11\\_kai.htm](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/techno/11_kai/11_kai.htm)



**Figura 73.**  
*Vista interior del estadio cerrado (izquierda) y abierto (derecha).*  
Fuente: [www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/techno/11\\_kai/11\\_kai.htm](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/techno/11_kai/11_kai.htm)

### 3.13. Millennium Stadium, HOK+LOBB Partnership y WS Atkins, 1999 (Cardiff, Inglaterra)<sup>35</sup>

La cobertura retráctil se encuentra a 90 m de altura con respecto al campo y esta sostenido por cuatro pilares exteriores, para que las columnas no obstruyan la visión del espectador, la cobertura está



compuesta de dos paneles de 55 m de longitud que se encuentran a la parte media, en total hay una abertura de 110 m de longitud.

Figura 74.  
Vista exterior del estadio.

Fuente:  
[www.sportsvenue-technology.com/projects/cardiff](http://www.sportsvenue-technology.com/projects/cardiff)



Figura 75. Vista aérea de la cobertura del estadio.

Fuente: [www.sportsvenue-technology.com/projects/cardiff/](http://www.sportsvenue-technology.com/projects/cardiff/)

Los espectadores siempre se encuentran protegidos, así que no importa las condiciones del tiempo. La cubierta fija tiene un área de 27 000 m<sup>2</sup> y la cobertura retráctil un área de 9 500 m<sup>2</sup>.



Figura 76. Vista interior del estadio.

Fuente: [www.stadiumguide.com/millennium.htm](http://www.stadiumguide.com/millennium.htm)

Tiene una capacidad para 72 500 espectadores y cada asiento tiene una excelente vista hacia el campo. Este campo es usado para el fútbol o el rugby. La cobertura tarda 20 minutos en abrirse completamente.

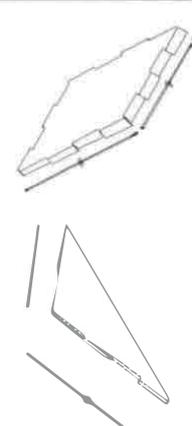
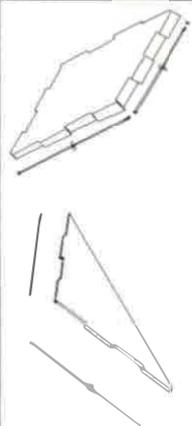
<sup>35</sup> Fuente: [www.bigcardiff.co.uk/articles.php?article\\_id=50](http://www.bigcardiff.co.uk/articles.php?article_id=50)

# IV

## CAPÍTULO IV

### COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL: CRITERIOS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO

**CAPITULO IV: COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL**  
**CRITERIO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO**

| CARACTERÍSTICAS   |  | CALIFICACIÓN     |             |                |              |                   |
|---|--|------------------|-------------|----------------|--------------|-------------------|
| OBSERVACIONES   |  | MUY MALO         | MALO        | REGULAR        | BUENO        | MUY BUENO         |
| <b>CONFORMABILIDAD O FLEXIBILIDAD</b><br>        | Medido en metros, y dado por la luz que existe entre cada estructura.  | 0-5 m            | 5-10 m      | 10-15 m        | 15-40 m      | 40-más            |
|   | Medido en porcentaje de área variable en el interior de la estructura.   | MUY MALO<br>0%   | MALO<br>25% | REGULAR<br>50% | BUENO<br>75% | MUY BUENO<br>100% |
| <b>AMPLITUD, VERSATILIDAD O VARIABILIDAD</b><br> | Medido en porcentaje de movilidad de la estructura, con respecto a la cantidad de apertura de la estructura.                 | MUY MALO<br>0%   | MALO<br>25% | REGULAR<br>50% | BUENO<br>75% | MUY BUENO<br>100% |
|   | Medido en porcentaje, con respecto al tipo de estructura que es, si tiene módulos, el montaje y desmontaje, transporte, etc. | MUY MALO<br>100% | MALO<br>75% | REGULAR<br>50% | BUENO<br>25% | MUY BUENO<br>0%   |
| <b>MOVILIDAD</b><br>                             | Medido en porcentaje, con respecto a su reutilización.   | MUY MALO<br>0%   | MALO<br>25% | REGULAR<br>50% | BUENO<br>75% | MUY BUENO<br>100% |
|   | Medido en porcentaje, con respecto a su reutilización.   | MUY MALO<br>0%   | MALO<br>25% | REGULAR<br>50% | BUENO<br>75% | MUY BUENO<br>100% |
| <b>FABRICACIÓN O ECONOMÍA</b><br>              |  |                  |             |                |              |                   |
|   |  |                  |             |                |              |                   |
| <b>PLANIFICACIÓN DE PERIODO ÚTIL</b><br>       |  |                  |             |                |              |                   |
|   |  |                  |             |                |              |                   |

NO ADAPTABLE      REGULAR ADAPTABLE      ADAPTABLE

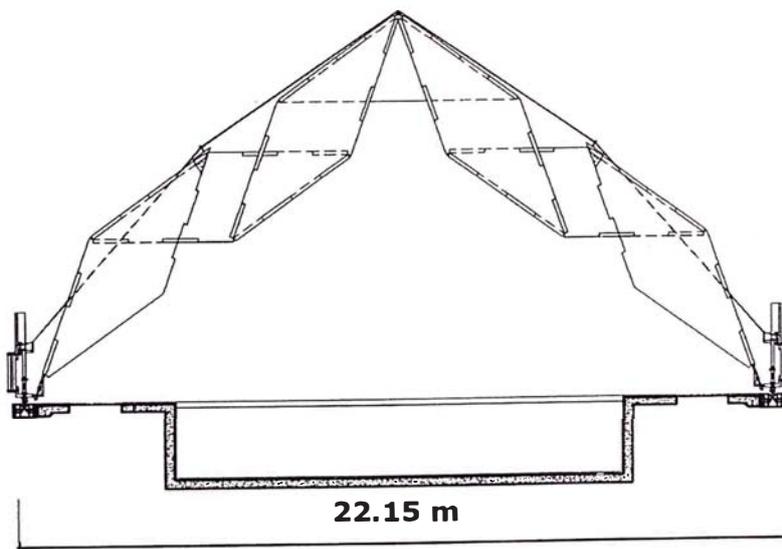
## 1. CONCLUSIONES DE LOS CRITERIO DE ADAPTABILIDAD

### 1.1. CONFORMABILIDAD O FLEXIBILIDAD

Para que una estructura sea conformable, se puede medir mediante la luz que tenga dicha estructura, debido a que si presenta mayor luz el espacio interior se convierte en una planta libre, y de esta manera la envoltura no depende mucho de la función; en este análisis se plantea que con una luz de 10 a 15 metros la estructura es regularmente adaptable, sin embargo, con una luz mayor de 15 metros la estructura se torna más adaptable. Por lo tanto, se propone una estructura con una luz mayor a 15 metros para que su conformabilidad sea buena o muy buena.

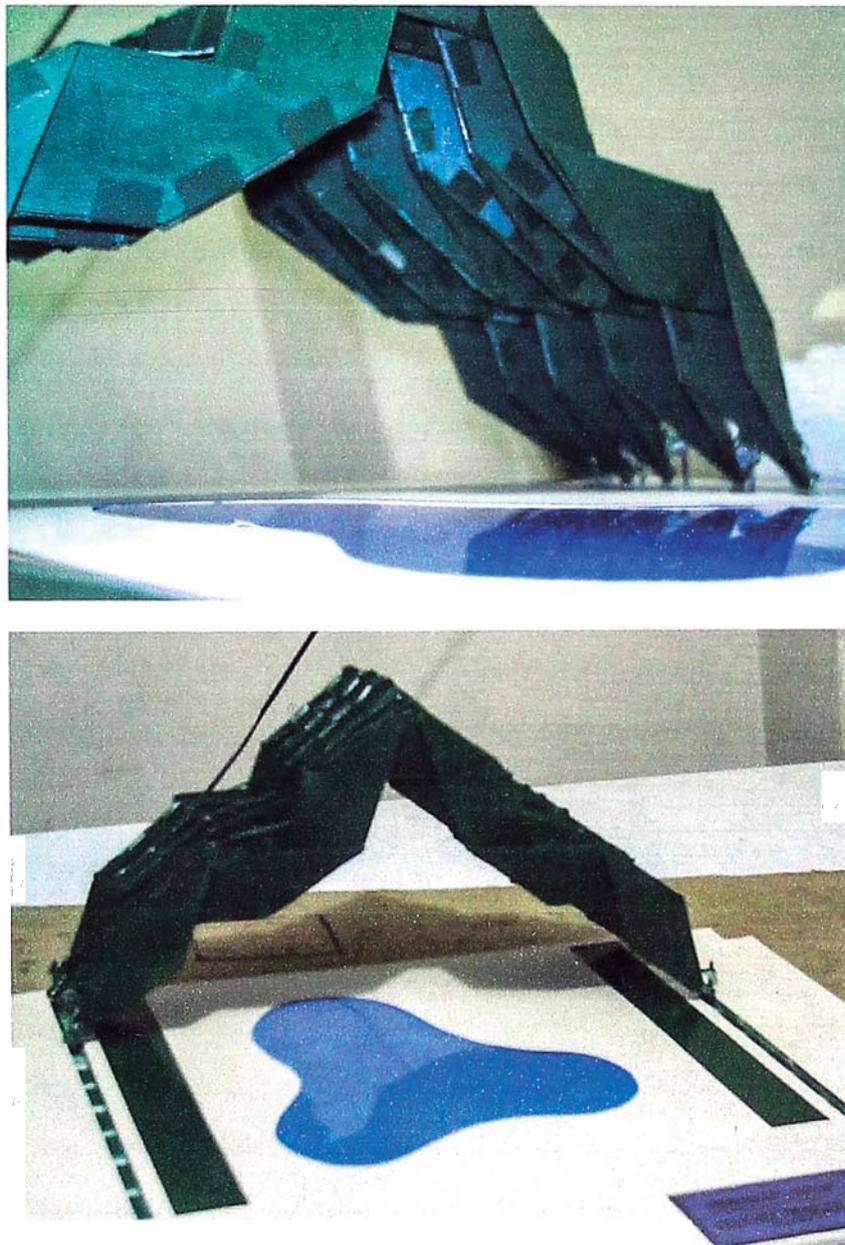


Figura 77. Vista en elevación del prototipo (arriba)  
Plano de elevación de la propuesta (abajo)



## 1.2. AMPLITUD, VERSATILIDAD O VARIABILIDAD

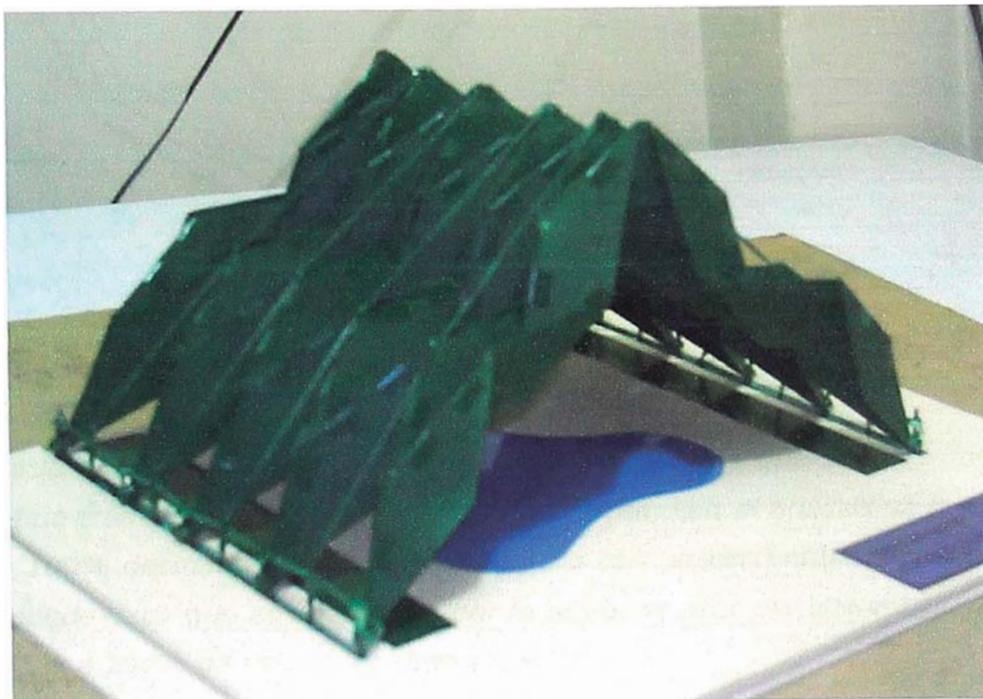
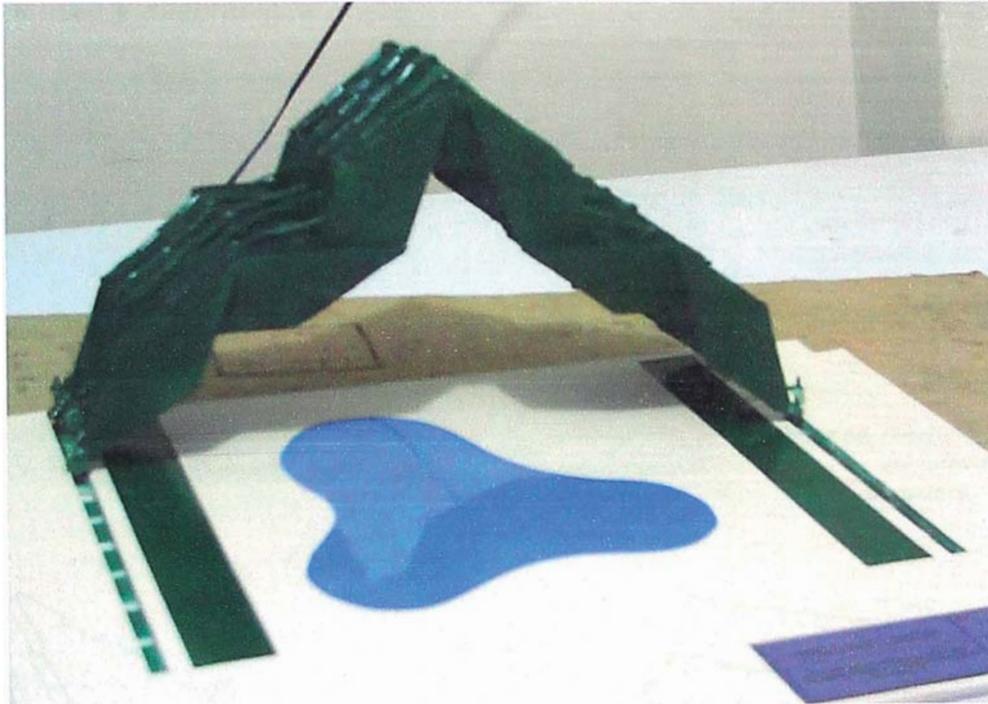
La variabilidad o versatilidad de una estructura se plantea como el área interior de la misma que puede ser variado o cambiado sin transformarse el exterior; se entiende por más versátil la estructura que puede variar su interior totalmente. En el análisis se mide la versatilidad con el porcentaje de área interior variable, entonces se propone una estructura con un porcentaje del 75%-100% del área interior variable para que sea una estructura más versátil.



*Figura 78. Vista peatonal de la propuesta (arriba)  
Vista aérea de la propuesta (abajo)*

### 1.3. MOVILIDAD

La movilidad la entendemos por el cambio de posición de una estructura, total o parcialmente; en este caso la medimos en porcentaje de área móvil, o sea el porcentaje de área que cambia de lugar, en este caso se propone una movilidad del 50% para una estructura regularmente móvil y un porcentaje mayor al 50% para una estructura móvil y por lo tanto adaptable.



*Figura 79. Vista de la estructura abierta (arriba).  
Vista de la estructura cerrada (abajo).*

#### 1.4. FABRICACIÓN O ECONOMÍA

En el análisis la economía está dada por el gasto total de la estructura, medida mediante costo de elementos, mano de obra, si el elemento es estandarizado, que tanto demoraría montarlo, etc. Se propone mediante este análisis una estructura ligera, con piezas estandarizadas y rápido montaje, que en porcentaje sería menor del 50% del gasto para que sea una estructura económica y adaptable.

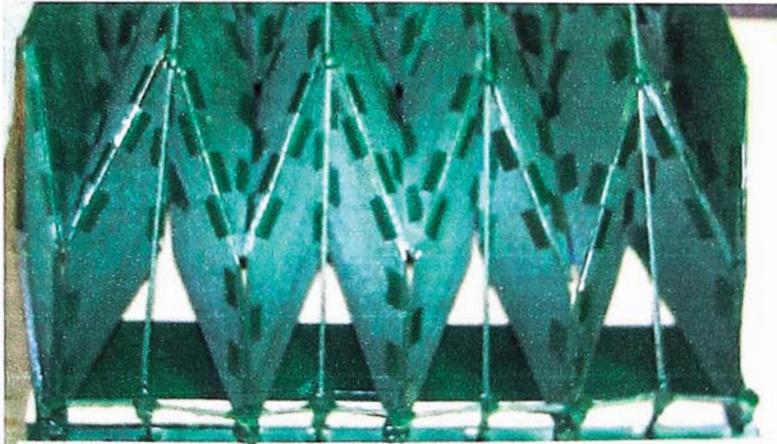


Figura 80. Detalle de los módulos de la estructura.

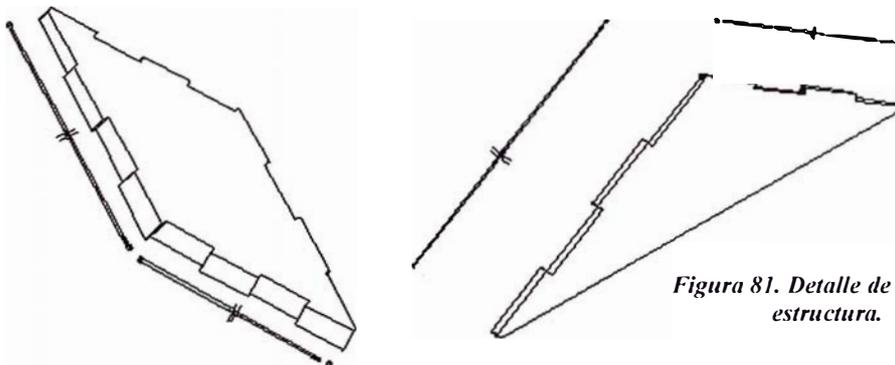


Figura 81. Detalle de los módulos de la estructura.

#### 1.5. PLANIFICACIÓN DE PERIODO ÚTIL

Para la planificación del periodo útil debe cumplir con que sea desmontable, fácil de transportar y poder usarse para otro fin, con el análisis se busca que sea 100% desmontable y reutilizable, pero con un porcentaje mayor al 50% se puede decir que es adaptable; por lo tanto, se propone una estructura con el 75% a 100% de elementos desmontables.

### CRITERIO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO

| CARACTERÍSTICAS  |  | CALIFICACIÓN   |                                      |                                      |                                 |                                       |
|--|--|--|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| FORMA  | OBSERVACIONES  | MUY MALO   | MALO                                 | REGULAR                              | BUENO                           | MUY BUENO                             |
|    | <p>Esto se refiere a que si la estructura formal con la estructura orgánica que emula. Medido con una numeración del 0-4.</p>  | 0<br>No tiene relación   | 1<br>Poca relación                   | 2<br>Se relaciona                    | 3<br>Parecido                   | 4<br>Muy semejante                    |
|   |  | <td>MUY MALO</td> <td>MALO</td> <td>REGULAR</td> <td>BUENO</td> <td>MUY BUENO</td> | MUY MALO                             | MALO                                 | REGULAR                         | BUENO                                 |
| <b>FUNCIÓN</b><br>          | <p>Se refiere si la función, una característica o el movimiento del ser orgánico se relaciona con la estructura. Medido con una numeración del 0-4.</p>                              | 0<br>No se relaciona   | 1<br>Poca relación                   | 2<br>Se relaciona                    | 3<br>Parecido                   | 4<br>Muy semejante                    |
| <b>ENTORNO</b><br>       |  | <td>MUY MALO</td> <td>MALO</td> <td>REGULAR</td> <td>BUENO</td> <td>MUY BUENO</td> | MUY MALO                             | MALO                                 | REGULAR                         | BUENO                                 |
| <b>MATERIAL</b><br>   | <p>Esto se refiere a si el material puede emular a las formas orgánicas de la naturaleza (formas ondeadas, curvas, variedad de formas, etc.). Medido con una numeración del 0-4.</p> | 0<br>No emula al material orgánico   | 1<br>Emula poco al material orgánico | 2<br>Emula algo al material orgánico | 3<br>Emula al material orgánico | 4<br>Emula mucho al material orgánico |
|  |  | <td>MUY MALO</td> <td>MALO</td> <td>REGULAR</td> <td>BUENO</td> <td>MUY BUENO</td> | MUY MALO                             | MALO                                 | REGULAR                         | BUENO                                 |
|  |  | NO ORGANICO      REGULAR ORGANICO      ORGANICO                                    |                                      |                                      |                                 |                                       |

## 2. CONCLUSIONES DE LOS CRITERIO ORGÁNICOS

### 2.1. FORMA



La forma de la estructura debe emular a la forma orgánica a la que pretende parecerse para que formalmente sea una estructura orgánica, o sea, debe ser parecido o muy semejante a la forma orgánica de la cual se basa; en el

Figura 82. Vista en elevación de la estructura.

análisis se mide esta semejanza mediante un número del cero al cuatro dependiendo de que tanto se asemejan, en este caso se propone una medida de tres o cuatro para que la estructura tenga un parecido formal o semejante con la forma orgánica.

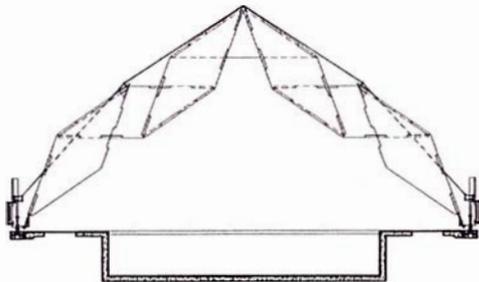
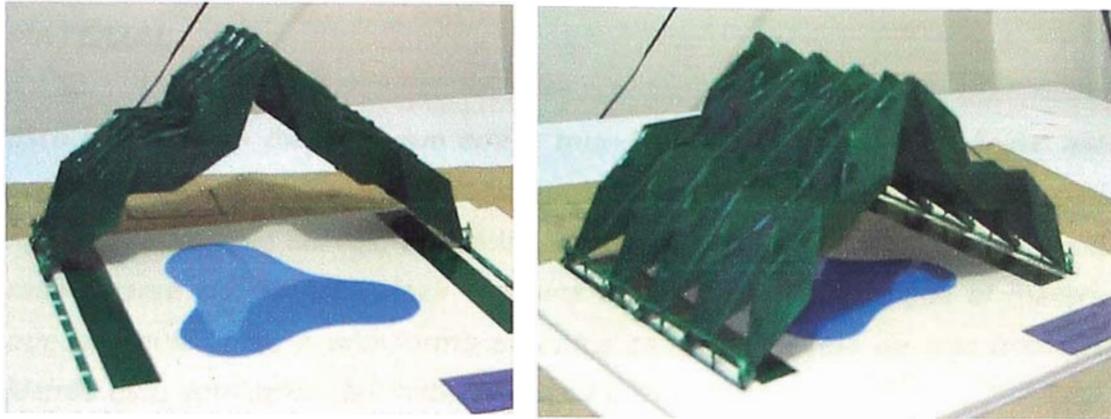


Figura 83. Plano de elevación de la estructura (arriba).  
Forma orgánica que emula la estructura (abajo)

Fuente: [www.marenostrum.org](http://www.marenostrum.org)

### 2.2. FUNCIÓN

En cuanto a este rubro, la estructura debe realizar una función o alguna característica funcional parecida o muy semejante al del ser orgánico; en el análisis se medirá mediante un número del cero al cuatro, se propone una medida de tres o cuatro cuando la característica es parecida o muy semejante a la del ser orgánico al que emula.

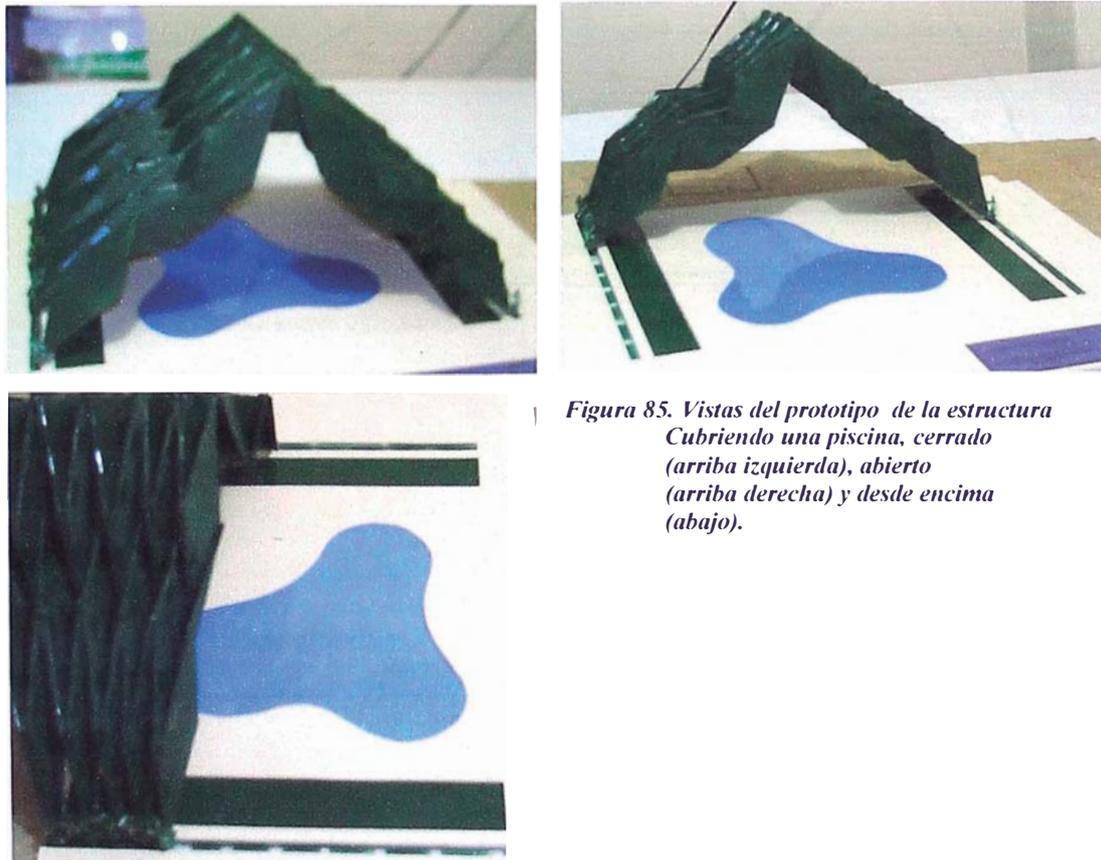


*Figura 84. Movimiento de la estructura cuando se encuentra abierto o cerrado (arriba izquierda y derecha), emulando al movimiento que realiza el cangrejo aunque en dos ejes paralelos y no uno solo.*

### 2.3. ENTORNO

Con el entorno se refiere a que si la estructura tiene relación con el uso que se le va a dar, teniendo una relación con el lugar, donde la estructura es colocada; por ejemplo, por la conformación que se propone para la estructura esta puede ser usada para cubrir espacios que tengan mucha concurrencia de gente, en un entorno más libre.

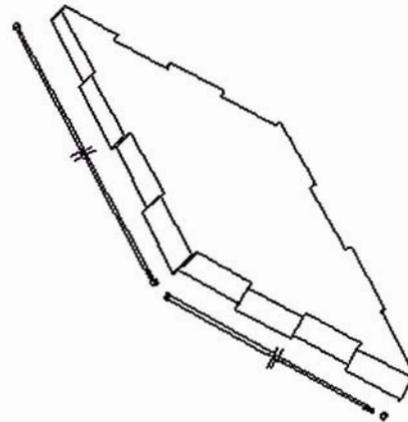
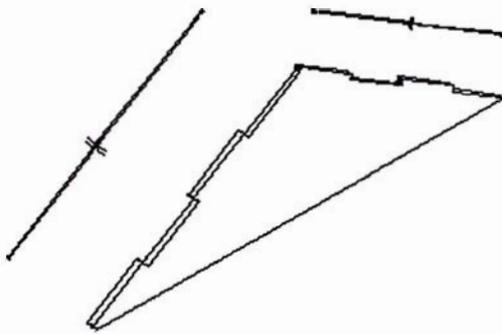
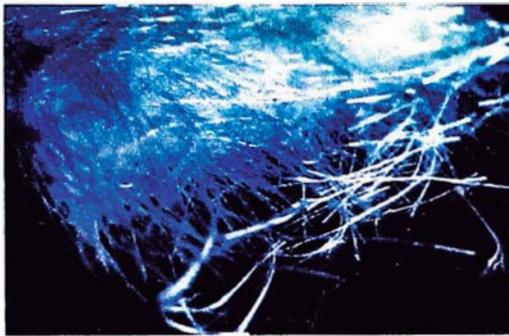
Se propone una estructura con una relación de tres a cuatro, que sea buena o muy buena, con respecto al uso que se le va a dar.



*Figura 85. Vistas del prototipo de la estructura Cubriendo una piscina, cerrado (arriba izquierda), abierto (arriba derecha) y desde encima (abajo).*

## 2.4. MATERIAL

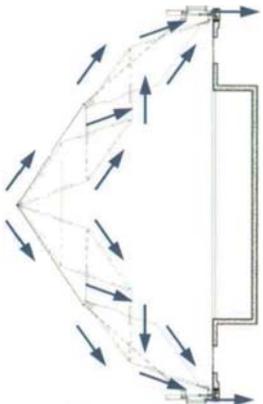
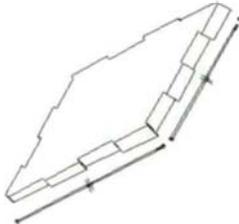
*Este debe ser un material que emule muy bien a la estructura orgánica, esto quiere decir, que el material pueda igualar o parecerse a las formas que da la naturaleza (formas curvas, ondeadas, etc.), para que su representación pueda mimetizarse con la naturaleza orgánica del ser; se propone que el material pueda emular más a una forma orgánica con una medida de tres a cuatro, siendo esta emulación del material buena o muy buena.*

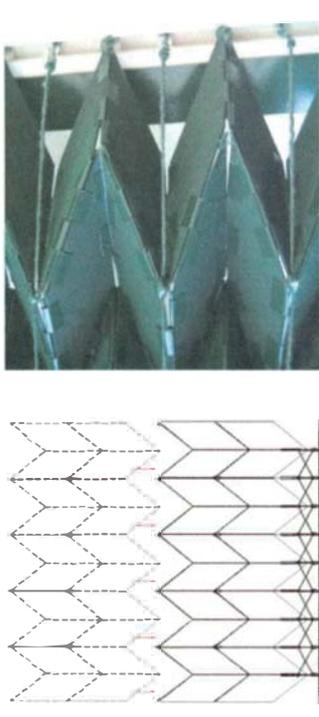
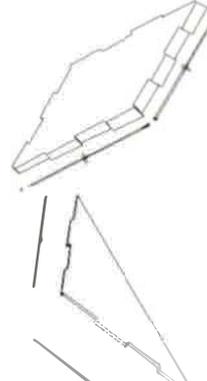
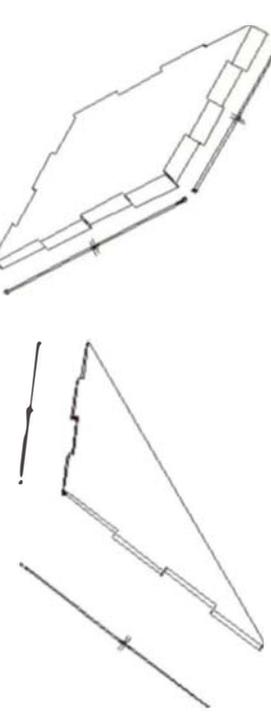
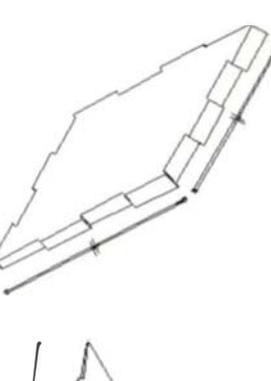


*Figura 86. Gráfico de la composición de la fibra de vidrio.  
Dos tipos de modelos, en isometría, de las piezas de la estructura*

*Fuente: [es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glas\\_fibre.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glas_fibre.jpg)*

### CRITERIO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO

| CARACTERÍSTICAS  |   | OBSERVACIONES   | CALIFICACIÓN   |  |  |   |  |
|--|---|---|--|--|--|---|--|
| EFICIENCIA ESTRUCTURAL   | ESTABILIDAD   | ESPACIALIDAD  | MUY MALO   | MALO   | REGULAR  | BUENO   | MUY BUENO  |
| <br>     |  |    | <p><b>0%</b><br/><b>Distribución deficiente</b></p>  | <p><b>25%</b><br/><b>Poca distribución</b></p>   | <p><b>50%</b><br/><b>Distribución regular</b></p>  | <p><b>75%</b><br/><b>Buena Distribución</b></p>                 | <p><b>100%</b><br/><b>Distribución eficiente</b></p>                     |
|  |   |   | <p><b>MUY MALO</b><br/><b>No resiste</b></p>   | <p><b>MALO</b><br/><b>25%</b><br/><b>Poca resistencia</b></p>  | <p><b>REGULAR</b><br/><b>50%</b><br/><b>Regular resistencia</b></p>  | <p><b>BUENO</b><br/><b>75%</b><br/><b>Buena resistencia</b></p> | <p><b>MUY BUENO</b><br/><b>100%</b><br/><b>Muy buena resistencia</b></p> |
|  |   |   | <p><b>MUY MALO</b><br/><b>0-5 m</b><br/><b>Nada de luz</b></p>   | <p><b>MALO</b><br/><b>5-10 m</b><br/><b>Poca luz</b></p>   | <p><b>REGULAR</b><br/><b>10-15 m</b><br/><b>Regular luz</b></p>  | <p><b>BUENO</b><br/><b>15-40 m</b><br/><b>Buena luz</b></p>     | <p><b>MUY BUENO</b><br/><b>40-más</b><br/><b>Bastante luz</b></p>        |
|  |   |   | <p><b>MUY MALO</b><br/><b>0%</b><br/><b>Ningún módulo</b></p>  | <p><b>MALO</b><br/><b>25%</b><br/><b>Pocos módulos</b></p>   | <p><b>REGULAR</b><br/><b>50%</b><br/><b>Regulares módulos</b></p>  | <p><b>BUENO</b><br/><b>75%</b><br/><b>Modular</b></p>           | <p><b>MUY BUENO</b><br/><b>100%</b><br/><b>Totalmente modular</b></p>    |
| <br> |   | <p>Si las cargas se distribuyen eficientemente sobre toda la estructura hacia el suelo. Medido en porcentajes del 0-100%.</p> | <p>Si las cargas que actúan sobre la estructura son contrarrestadas por los elementos de la misma. Medido en porcentajes del 0-100%.</p> | <p>Si la luz es amplia, la espacialidad interior es mayor. Medido en metros desde 0 metros hasta más de 40 metros.</p> | <p>Si la estructura es totalmente modular, o si solo son algunas partes modulares. Medido en porcentajes del 0-100%.</p> |   |  |
|  |   |   | NO ESTRUCTURAL   | REGULAR ESTRUCTURAL  | ESTRUCTURAL  |   |  |

| CARACTERÍSTICAS   |   | OBSERVACIONES  | CALIFICACIÓN                  |                               |                                       |                          |                                     |
|---|---|--|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| VERSÁTIL  |   |  | MUY MALO                      | MALO                          | REGULAR                               | BUENO                    | MUY BUENO                           |
|    |    | <p>Si la forma puede cambiar o aumentar de tamaño adicionándole módulos. Medido en porcentajes del 0-100%.</p>               | <p>0%<br/>Nada versátil</p>   | <p>25%<br/>Poco versátil</p>  | <p>50%<br/>Regularmente versátil</p>  | <p>75%<br/>Versátil</p>  | <p>100%<br/>Totalmente versátil</p> |
| BAJO PESO   |   |  | MUY MALO                      | MALO                          | REGULAR                               | BUENO                    | MUY BUENO                           |
|    |    | <p>Si la estructura es ligera en comparación con otros sistemas. Medido en porcentajes del 0-100%.</p>                       | <p>0%<br/>Nada ligero</p>     | <p>25%<br/>Poco ligero</p>    | <p>50%<br/>Regularmente ligero</p>    | <p>75%<br/>Ligero</p>    | <p>100%<br/>Muy ligero</p>          |
| ECONÓMICO   |   |  | MUY MALO                      | MALO                          | REGULAR                               | BUENO                    | MUY BUENO                           |
|  |  | <p>Si el costo de su construcción es bajo (modular, desmontable, transportable, etc.). Medido en porcentajes del 0-100%.</p> | <p>0%<br/>No es económico</p> | <p>25%<br/>Poco económico</p> | <p>50%<br/>Regularmente económico</p> | <p>75%<br/>Económico</p> | <p>100%<br/>Muy económico</p>       |

NO ESTRUCTURAL      REGULAR ESTRUCTURAL      ESTRUCTURAL

### 3. CRITERIO ESTRUCTURAL

#### 3.1. EFICIENCIA ESTRUCTURAL

Este sistema estructural es muy eficiente debido a que las fuerzas en cada nodo se distribuyen y se dividen en dos o más fuerzas de menor dimensión a medida que bajan de la parte más superior de la estructura hacia la parte inferior de la misma, y las fuerzas que no se dividen van directamente hacia el punto de apoyo de la estructura hacia el suelo.

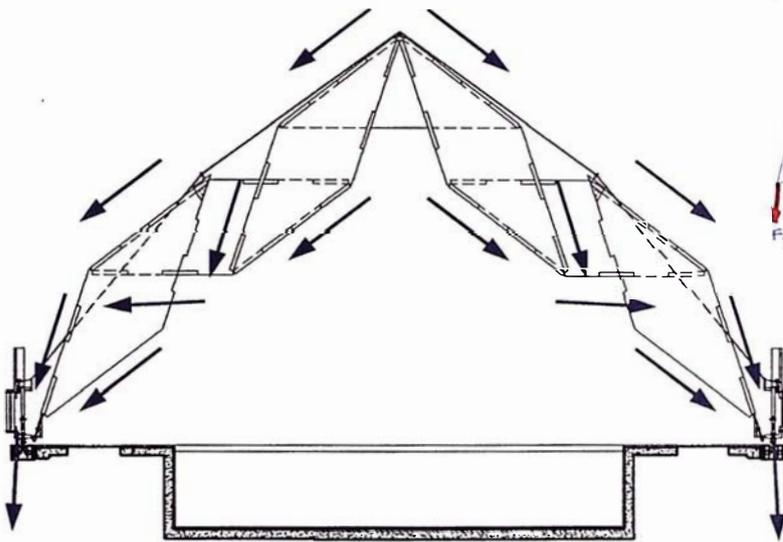


Figura 87.  
 Elevación mostrando las cargas que intervienen en cada punto y como estas se distribuyen al suelo (izquierda).  
 Distribución de cargas en los módulos (arriba).

Al ser una cobertura viga columna, se puede decir que ésta se basa en distribuir las cargas de cada módulo de la estructura hacia el siguiente módulo y así sucesivamente hasta distribuir las cargas totales hacia el suelo.

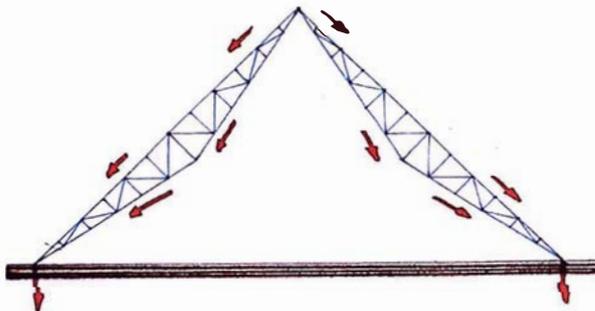


Figura 88. Representación esquemática de las vigas triangulares en comparación con la estructura propuesta.

Funciona como 2 vigas triangulares unidas en un solo punto, distribuyendo las cargas hacia los apoyos y teniendo más peralte en la zona interior donde realiza mayor esfuerzo para resistir el peso de la cobertura.

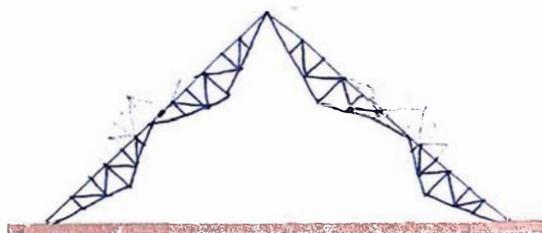
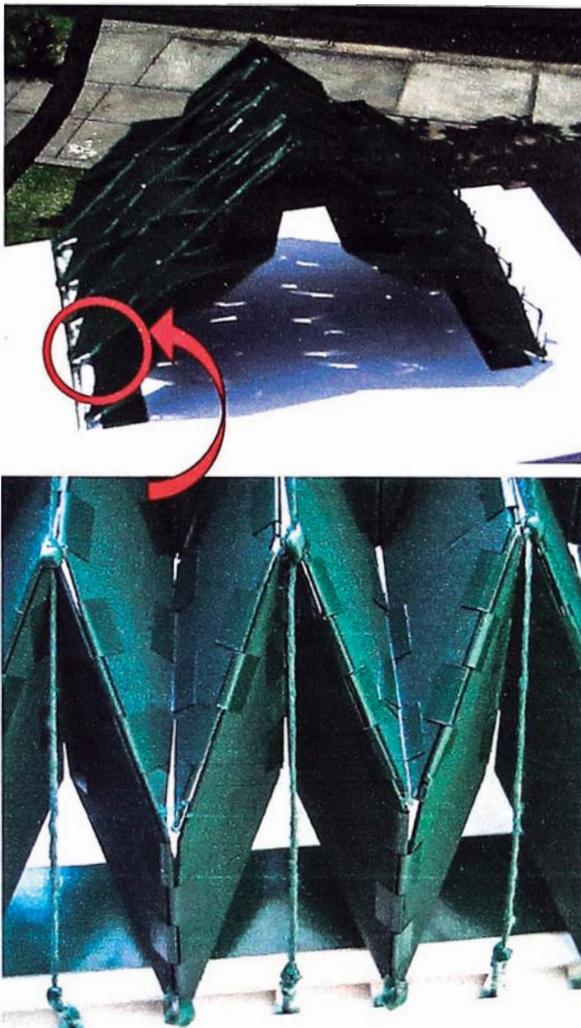


Figura 89.  
 Variante de la viga triangular invertida, mostrada anteriormente.

### 3.2. ESTABILIDAD



Cada módulo de la estructura sería poco estable individualmente pero si todos éstos son unidos de la forma que se propone se lograría una estructura muy estable, ya que las cargas se distribuyen muy eficientemente como se mencionó anteriormente, además que la estructura cuenta con cinco apoyos móviles en cada lado y también cuenta con cuatro tensores en cada lado de la estructura que sirven como refuerzos.

La mayoría de los nudos que se encuentran dentro de la estructura están unidos por cuatro módulos, en la mayoría de casos, y esto permite que la estructura no se mueva en ningún sentido y

Figura 90. Detalle de los elementos anclados al suelo.

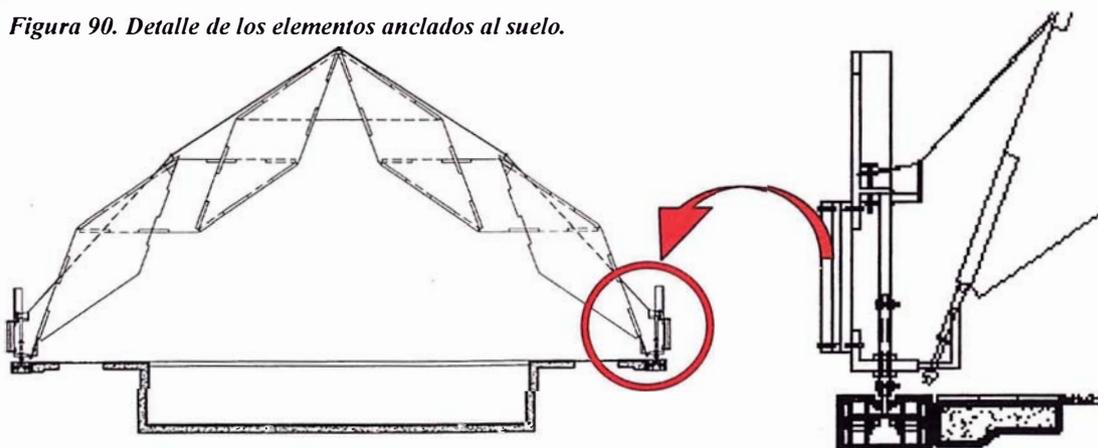


Figura 91. Detalle en planos del sistema de anclaje al suelo.

tampoco que rote, ya que se encuentra unida en 18 puntos mediante un sistema de rieles, que anclan la estructura al suelo; todo lo antes mencionado no permite que la estructura se levante del lugar donde está, por supuesto, que también ayuda la carga distribuida por el peso de los módulos desde la parte superior hacia la inferior, ayudando en la estabilidad de la estructura.

### 3.3. ESPACIALIDAD



Figura 92. Vista de la estructura mostrando la luz y la espacialidad en su interior.



Figura 93. Vista peatonal mostrando la espacialidad interior de la estructura.

Esta es una característica que debe tener este tipo de estructuras para que sea factible: debe ser una alternativa de cobertura para grandes luces.

Este sistema estructural permite cubrir amplios espacios sin estructuras intermedias, ya que está formado de una especie de columnas vigas que permiten tener amplias luces a medida que se aumentan los módulos. Con esta característica podrían ser cubiertas áreas deportivas, locales de espectáculos, instalaciones de exposiciones temporales y otros ambientes de una manera eficiente y atractiva sin perjudicar el desplazamiento o la visión interior.

### 3.4. MODULACIÓN

Éste es un aspecto muy importante en esta estructura porque la modulación o trabajar con módulos, hace más versátil la estructura, además de tener una cualidad interesante: puede cubrir mayor superficie si le adicionamos más módulos a la estructura, permitiendo el trabajo en serie, agilizando enormemente la fabricación del producto, abaratando costos y mejorando la calidad total. En las propuestas y en los posibles diseños se trabajará con un

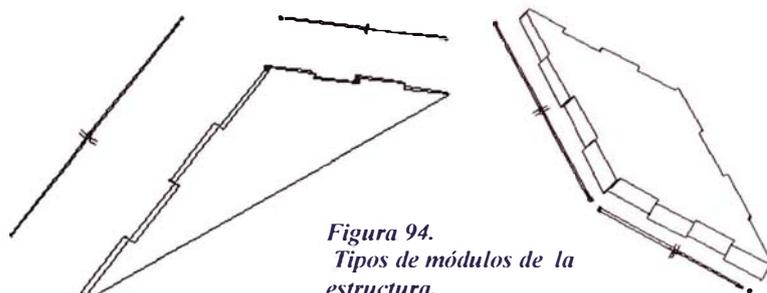


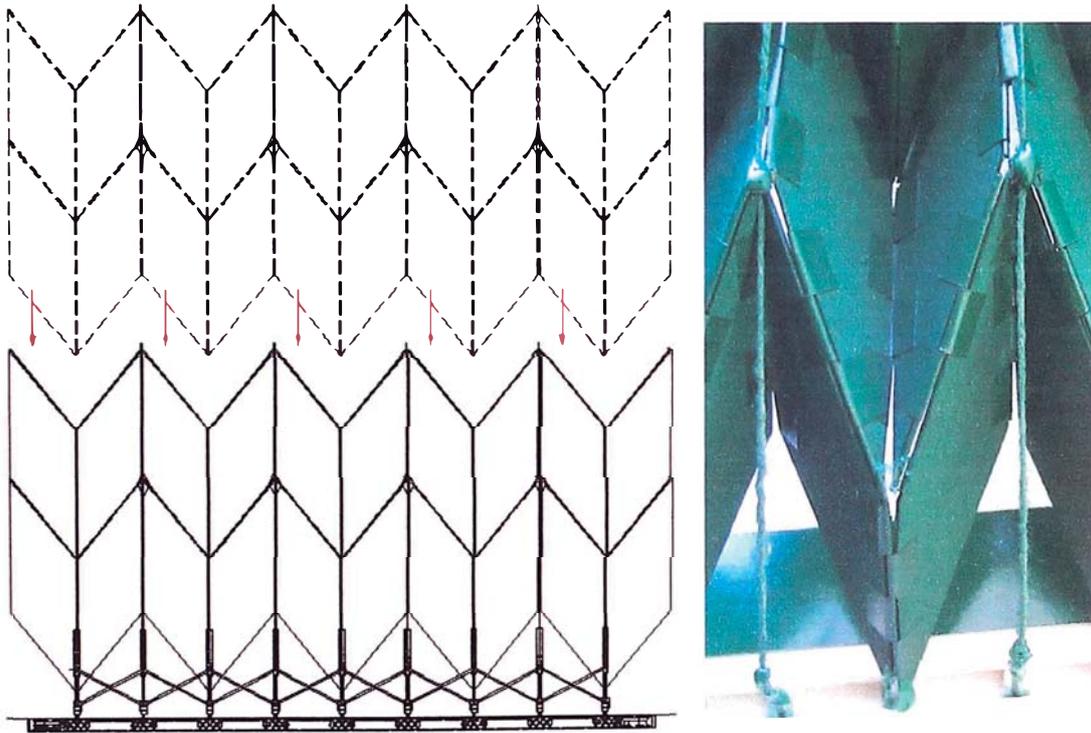
Figura 94. Tipos de módulos de la estructura.

solo tipo de estructura para no hacer muy extenso el estudio.

### 3.5. VERSATILIDAD

*Esta estructura con este tipo de módulos nos permiten una variedad de formas dependiendo como son colocados los diferentes módulos, en qué posición, la forma del módulo, etc.; de manera que a la vez de ser funcionales cuentan con un atractivo formal, que se complementa con la variedad de modalidades en el cerramiento.*

*Gracias a esta facultad del diseño, este puede ser usado para satisfacer los diferentes requerimientos y funciones más variadas, como en la industria (almacenes, campamentos, talleres), el comercio (ferias, centros comerciales, lugares de alta concurrencia), institucional (universidades, clubes, estadios, coliseos, colegios), así como en locales particulares y residenciales.*



*Figura 95. Elevación de la estructura mostrando la adición de módulos (izquierda).  
Vista de cuatro módulos unidos (derecha).*

### 3.6. BAJO PESO

*Ciertamente esta estructura no es la más ligera que existe (estructuras tensionadas), pero al estar hecho de fibra de vidrio, se forma una estructura mucho más ligera, en comparación con las estructuras metálicas, madera, concreto, etc.*

*Igualmente se podría decir que es una estructura ligera, y siendo así presenta unas cualidades adicionales que se pueden resumir en su fácil montaje y desmontaje, transporte y almacenaje.*

### **3.7. ECONOMICO**

*Esta estructura al ser hecha con módulos puede ser mucho menos costosa mientras mayor sea el tamaño de la superficie a cubrir, también presenta muchas ventajas en el costo, especialmente respecto a otros tipos de coberturas más bien convencionales.*

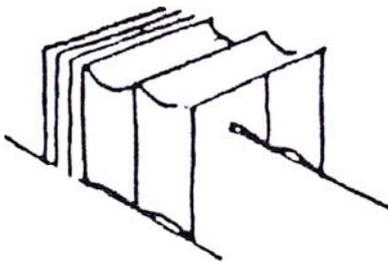
*Entre estas características podemos mencionar: el poco peso, por lo tanto la reducción del costo en el transporte e instalación; el sistema de modulación, que nos permite un trabajo en serie; el corto tiempo de armado, que atenúa la variación de precios y el empleo de horas – hombre; y el periodo útil, que nos permite desmontar la estructura y reusarla en otro lugar, o poder almacenarla (al ser módulos no ocupan mayor cantidad de espacio).*

#### 4. CRITERIO CINETICO

*La cobertura retráctil que se propone realizar se encuentra en el rubro de las estructuras móviles rígidas, debido a que la conformación de sus partes es de elementos poco flexibles.*

*Esta cobertura también es plegable, debido a que el movimiento que realiza consiste en contraer y expandir la estructura; la última característica de esta cobertura es que presenta un movimiento paralelo, debido a que la cobertura realiza un movimiento paralelo sobre dos ejes.*

*En conclusión se podría decir que la estructura es una **COBERTURA RÍGIDA** con un movimiento **PLEGABLE** en forma **PARALELA**.*



**Figura 96. Cobertura Rígida y Plegable.**

*Fuente: Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (I.L.). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.*

## 5. CONCLUSIONES DEL ANALISIS

*Del análisis de adaptabilidad se puede demostrar que un edificio debe ser más adaptable para ajustarse mejor a las necesidades de las personas que en ella habitan o se desenvuelven. Debe ser adaptable también a los diferentes cambios climáticos o fenómenos de la naturaleza, y a su vez debe pretender cierta economía en su construcción, para que sea factible de realizar.*

*Con el análisis biológico se logra demostrar que los edificios o las estructuras no se realizan con la forma que tienen, sola y exclusivamente por la forma, sino que se toma la forma, conjuntamente con algún concepto, o con alguna función que realice ésta, imprimiendo en la arquitectura las características o las propiedades de ese ser al que emula, ya sea animal o vegetal; dándole espacios claramente ondulante, que le dan al edificio mucha dinámica además de una visión de la arquitectura como una escultura (un edificio que sirve y es para vivir o para el desarrollo de las necesidades de las personas, pero que a su vez es algo que simplemente se puede observar y nos puede deleitar por su forma). En estos edificios orgánicos la función del espacio también tiene un papel fundamental, debido a que éste es creado o diseñado para las personas y por lo tanto debe de satisfacer todas sus necesidades, sin ningún problema, funcionando de tal manera que las personas sientan un confort al estar ahí.*

*En cuanto al análisis estructural se podría concluir que todas esas formas que son usadas están estrechamente ligadas a la estructura que la sostiene, y por lo tanto son hechas de esa forma debido a que las fuerzas y los esfuerzos que sobre ella actúan lo requieren o que el arquitecto que las diseña, debido a que requiere de dicha tensión o esfuerzo, concluye su búsqueda con esa forma. Se demuestra también que dicha forma responde no solo a esfuerzos interiores sino que también a esfuerzos exteriores o fuerzas de la naturaleza.*

*En conclusión, se logra demostrar que la estructura está ligada a la forma, mediante las fuerzas y los esfuerzos que en ella actúan. Entonces, el material o la materia también tiene una importancia vital debido a que, dependiendo del material que se use van a surgir nuevas características en la estructura, debido a que cada material reacciona de diferente manera a los esfuerzos,*

*siendo así que un material podría funcionar muy bien a compresión, pero no a la tracción (concreto).*

*Por lo tanto, la concepción del espacio, la función del mismo, la idea de la arquitectura como una escultura, las fuerzas, los esfuerzos y los materiales o materia nos dan por resultado una forma definida y realizable.*

*Del análisis cinético se demuestra que se puede tener una cobertura que sea orgánica y retráctil, observando cómo esta cobertura al contraerse o al expandirse provoca diferentes percepciones del espacio, y diferentes sensaciones en las personas. Esta transformación puede venir seguida de cambios de función en un mismo espacio, siendo éstos multifuncionales al realizarse la transformación de la cobertura.*

*Este movimiento también es sustentado en la medida que, al realizar esta transformación, se haga con el fin de protegerse de la intemperie o de los fenómenos naturales que azotan el lugar, o sea, por ejemplo, que pueda utilizarse en un espacio público cuando hay un clima cálido soleado; y cuando hay lluvia o nieve pueda tener un cerramiento en la cobertura que los proteja de estos fenómenos antes mencionados.*

*Finalmente, esta cobertura orgánica y retráctil, te daría resultados no solo formales, espaciales, funcionales, de fuerzas o materias, sino que también nos beneficiaría para protegernos de los fenómenos del medio ambiente.*

*De esto, podemos concluir, que es verdadera la hipótesis dada, porque se demuestra mediante el análisis que si se puede realizar una **COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL** a partir de un modelo en origami (papel doblado).*



## CAPÍTULO V

# COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL: CRITERIOS DE DISEÑO CONTRA VIENTOS Y SISMOS

## **CAPÍTULO V: COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL**

### **CRITERIO DE DISEÑO PARA VIENTOS Y SISMOS**

#### **1. CRITERIOS BASICOS**

*Los criterios básicos que hay que tener sobre la resistencia de la estructura a los fenómenos naturales, son los efectos de sismos, lluvias, vientos, etc., pero siendo esta cobertura una estructura ligera los fenómenos principales a los que hay que dar mayor importancia son a los efectos de sismos y vientos.*

##### **1.1. EFECTOS DE SISMO<sup>36</sup>**

*Los sismos son en esencia vibraciones de la corteza terrestre producidas por fallas subterráneas del terreno. Ocurren varias veces al día en diversas partes de la Tierra, aun cuando sólo unos cuantos al año son de suficiente magnitud como para producir daños significativos en los edificios. Los grandes terremotos ocurren con más frecuencia en áreas particulares de la Tierra que son llamadas áreas de alta probabilidad. Sin embargo, en teoría es posible que haya un gran terremoto en cualquier parte de la Tierra en algún tiempo.*

*Durante un sismo, la superficie de la Tierra se mueve en todas direcciones. Por lo general los efectos más dañinos en las estructuras los causan los movimientos en la dirección paralela a la superficie del terreno (esto es, horizontalmente) debido a que las estructuras se diseñan de rutina para cargas de gravedad. Por tanto, para fines de diseño por lo general se considera (en función de la fuerza horizontal) que el efecto principal de un sismo es similar al efecto del viento.*

<sup>36</sup> "Diseño simplificado de edificios para carga de vientos y sismos", James Ambrose-Dimitry Vergun, Ed. Limusa Primera Edición 1986, México.

El cálculo de la fuerza horizontal del sismo está dado por:

$$H = \frac{ZUSCP}{R_d}$$

donde: *Z*: Factor de zona  
*U*: Factor de uso  
*S*: Factor de suelo  
*C*: coeficiente sísmico  
*P*: peso del edificio  
*R<sub>d</sub>*: Factor de ductibilidad

Como la masa de la cobertura no es muy grande el efecto de sismo no va a ser muy importante, y por lo tanto, éste no afectaría en mucho a la estructura.

## 1.2. EFECTOS DE VIENTOS<sup>37</sup>

El viento es el aire en movimiento. El aire tiene una masa particular (densidad o peso) y se mueve en una dirección particular y a una velocidad particular. Por tanto, tiene energía cinética de forma expresada como:

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

donde: *m*: masa  
*v*: velocidad del viento

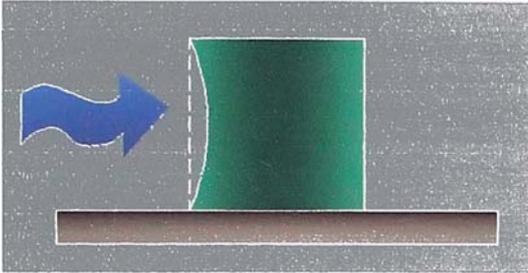
Cuando el aire fluido en movimiento encuentra un objeto estacionario, tiene varios efectos que se combinan para ejercer una fuerza en el objeto.

<sup>37</sup> "Diseño simplificado de edificios para carga de vientos y sismos", James Ambrose-Dimitry Vergun, Ed. Limusa Primera Edición 1986, México.

### 1.2.1. EFECTOS GENERALES DEL VIENTO<sup>38</sup>

#### 1.2.1.1. EFECTOS PRINCIPALES

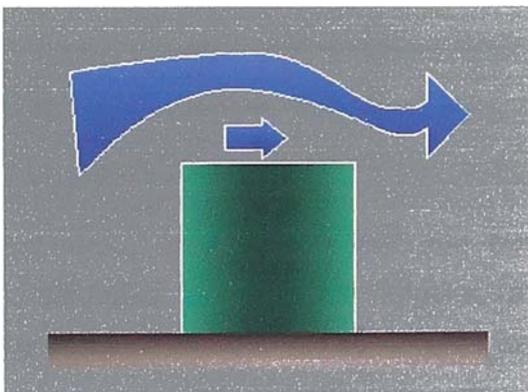
##### a) Presión Positiva Directa



Las superficies que se oponen directamente al viento y que son perpendiculares a su trayectoria reciben el efecto de un impacto directo del movimiento de la masa del aire, lo cual, por lo

general produce la mayor parte de la fuerza que actúa sobre el objeto, a menos de que éste tenga forma en extremo aerodinámica.

##### b) Arrastre Aerodinámico

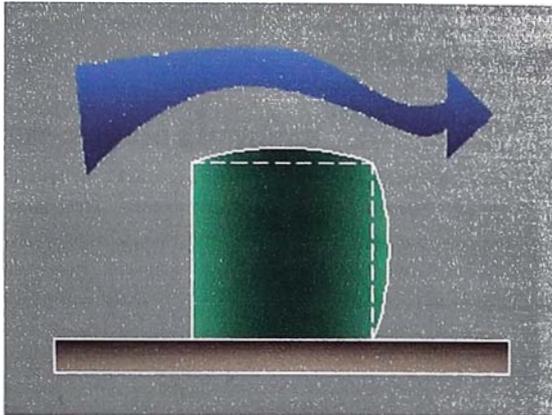


Debido a que el viento no se detiene después de dar en contra del objeto sino que fluye alrededor de él como un fluido, existe un efecto de arrastre sobre las superficies que son paralelas a la dirección del viento. Estas superficies también pueden tener aplicadas a ellas presiones hacia

dentro o hacia fuera, pero es el efecto de arrastre el que se agrega a la fuerza general sobre el objeto en la dirección de la trayectoria del viento.

<sup>38</sup> "Diseño simplificado de edificios para carga de vientos y sismos", James Ambrose-Dimitry Vergun, Ed. Limusa Primera Edición 1986, México.

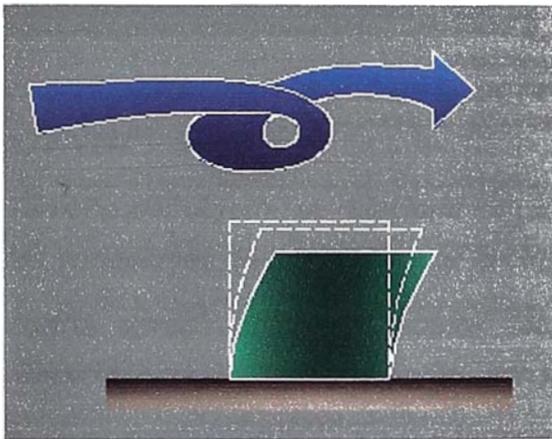
**c) Presión Negativa o Succión**



Es el lado a sotavento del objeto (opuesto a la dirección del viento) por lo general existe un efecto de succión, que consiste en una presión hacia fuera de la superficie del objeto. Al compararla con la presión en el lado a barlovento, ésta se denomina presión negativa.

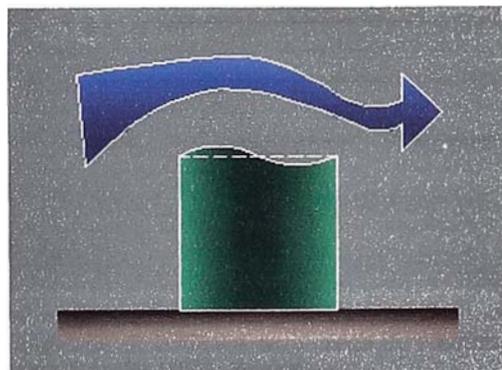
**1.2.1.2. EFECTOS SECUNDARIOS**

**a) Efecto de Tambaleo**



Durante las tormentas de viento, rara vez la velocidad del viento y su dirección son constantes. Son frecuentes las ráfagas y los vientos arremolinados, de manera que el objeto que se encuentre en la trayectoria del viento tienda a ser zarandeado, tambaleado, sacudido, etc. Los objetos que tengan partes sueltas, o que posean conexiones con alguna holgura, o cuyas superficies sean altamente flexibles (como son las superficies de tela que no están tensadas) son los más susceptibles a sufrir estos efectos.

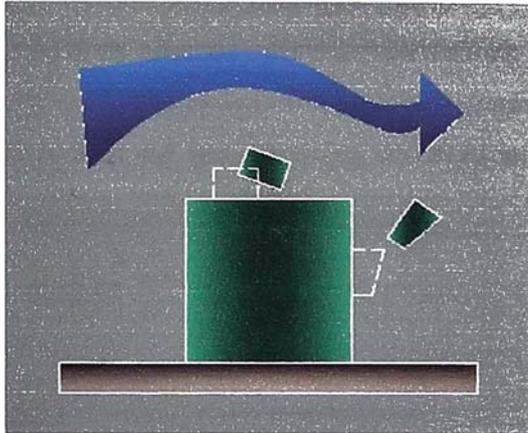
**b) Efectos Armónicos**



Cualquiera que toque un instrumento de viento puede apreciar que el viento puede producir vibración, silbidos, flameo, etc. Estos efectos pueden ocurrir tanto en bajas velocidades como en condiciones tormentosas de viento.

*Esto tiene que ver con alguna relación entre la velocidad del viento y el periodo natural de vibración del objeto o de sus partes.*

**c) Efectos de Limpieza**



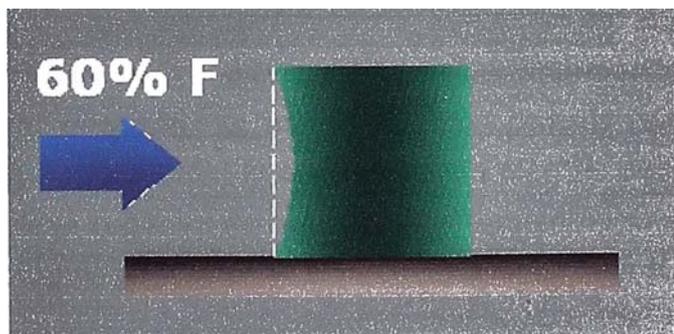
*El efecto de fricción de la masa de viento que fluye tiende a pulir los objetos en su recorrido. Este hecho es de particular importancia para objetos que sobresalen de la masa general del edificio, como son doseles, parapetos, chimeneas y letreros.*

**1.2.2. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS ANTE LOS EFECTOS DEL VIENTO<sup>39</sup>**

- a) *Tamaño del objeto (se relaciona con el efecto relativo de las ráfagas, con las variaciones de la presión por encima del nivel del suelo, etc.).*
- b) *Forma aerodinámica del objeto (determina la naturaleza crítica del arrastre, succión, levantamiento, etc.).*
- c) *Periodo fundamental de vibración del objeto o de sus partes.*
- d) *Rigidez relativa de las superficies, rigidez de las conexiones, etc.*

**1.2.3. CRITERIOS ESTRUCTURALES ANTE LOS EFECTOS DEL VIENTO<sup>40</sup>**

**a) Presión hacia adentro sobre paredes exteriores**



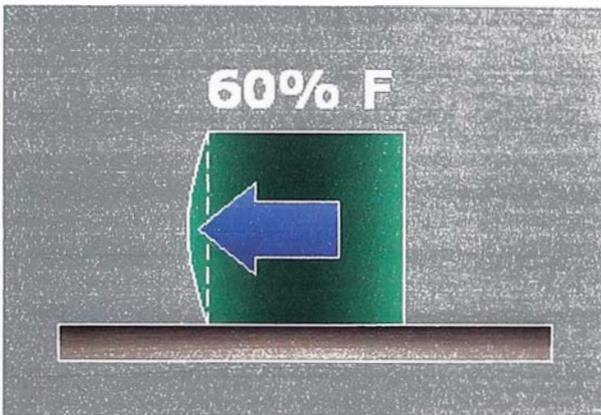
*Por lo general se requiere que las paredes que se oponen directamente al viento se diseñen para toda la presión base, aun*

<sup>39</sup> "Diseño simplificado de edificios para carga de vientos y sismos", James Ambrose-Dimitry Vergun, Ed. Limusa Primera Edición 1986, México.

<sup>40</sup> Idem.

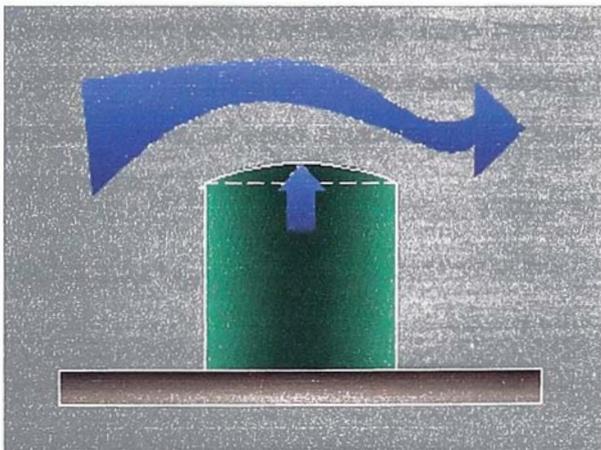
cuando esto es algo conservador, debido a que por lo regular la fuerza de barlovento únicamente explica alrededor del 60% de la fuerza total en el edificio. Sin embargo, diseñar únicamente para parte de la fuerza total, se compensa en parte por el hecho de que las presiones base por lo general no se encuentran relacionadas con los efectos de ráfaga, los cuales tienden a producir menos efectos sobre el edificio como un todo y mayores efectos sobre las partes del mismo.

**b) Succión en las paredes exteriores**



La mayoría de los códigos también requieren que la succión sobre las paredes exteriores sea la presión base total, aun cuando los comentarios precedentes acerca de la presión hacia adentro también son aplicables aquí.

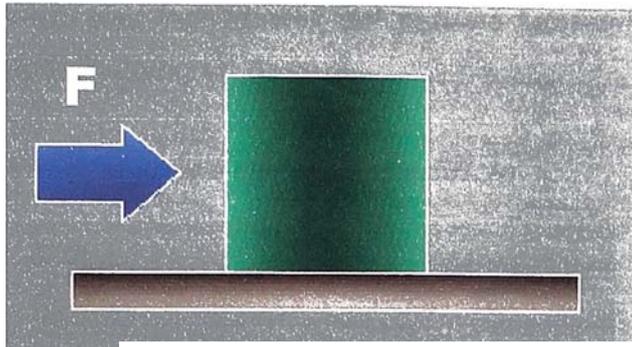
**c) Presión sobre superficies de cubierta**



Dependiendo de su forma real, así como de la del edificio como un todo, las superficies inclinadas pueden estar sujetas bien sea a presiones hacia adentro o succión debido al viento. En realidad dichas superficies pueden

experimentar ambos tipos de presión a medida en que el viento cambia de dirección. La mayoría de los códigos requieren una presión hacia arriba (succión) igual a la presión total de diseño a la elevación del nivel de la cubierta. Por lo general la presión hacia adentro se relaciona con el ángulo de la superficie respecto a la horizontal.

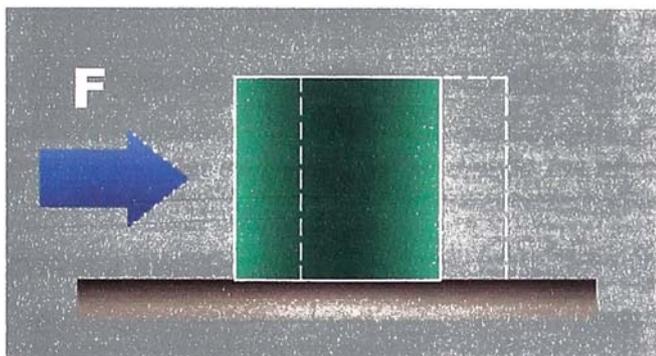
**d) Fuerza horizontal total en el edificio**



La fuerza horizontal total se calcula como una presión horizontal sobre la silueta del edificio, tal como se describió con anterioridad, haciendo ajustes para tener en

cuenta la altura sobre el terreno. El sistema estructural lateralmente resistente del edificio es diseñado para esta fuerza.

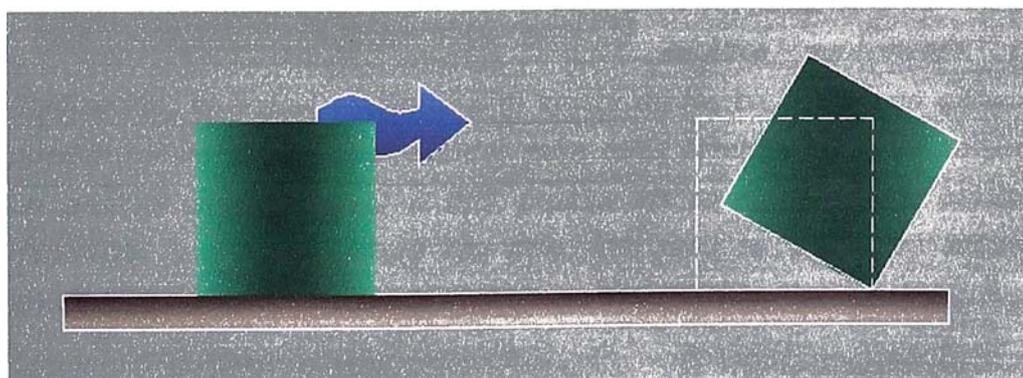
**e) Deslizamiento horizontal del edificio**



Además del desplome del sistema lateralmente resistente, existe la posibilidad de que la fuerza horizontal total pueda deslizar al edificio por su cimentación. Para un edificio alto con

cimentación poco profunda, esto también puede constituir un problema para la transferencia de la fuerza entre la cimentación y el terreno. En ambos casos, el peso muerto del edificio genera una fricción que ayuda a resistir esta fuerza.

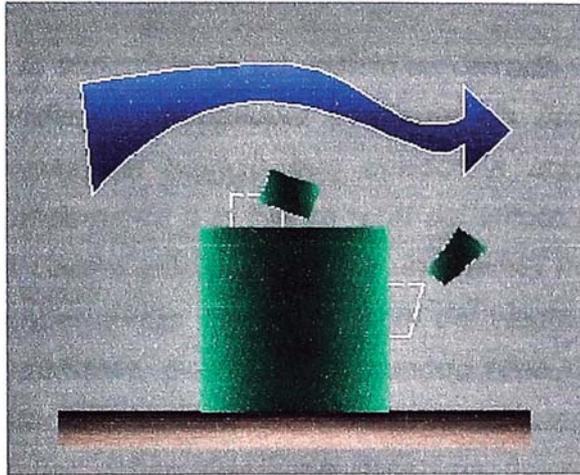
**f) Efecto de volteo**



Al igual que con el deslizamiento horizontal, el peso muerto tiende a resistir el efecto del volteo, o volcadura. En la práctica por lo general el

efecto del volteo se analiza en función del volteo de los elementos verticales individuales del sistema lateralmente resistente, en lugar del edificio como un todo.

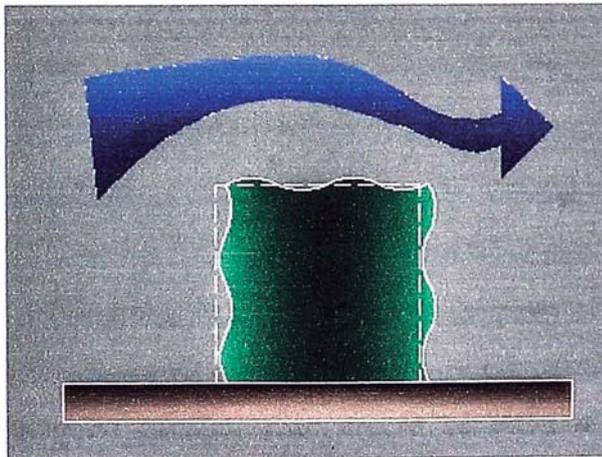
**g) Vientos sobre partes del edificio**



El efecto de limpieza analizado previamente es crítico para los elementos que sobresalen de la masa general del edificio. En algunos casos, para dichos elementos los códigos requieren presiones de diseño más altas que la presión base, de manera

que se tengan en cuenta en el diseño los efectos de ráfaga y de limpieza.

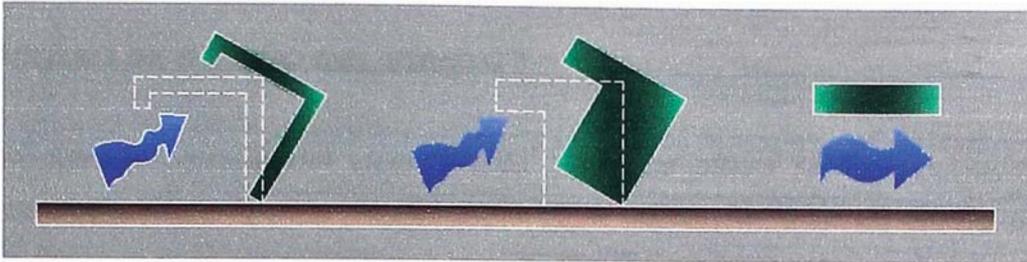
**h) Efectos armónicos**



El diseño para considerar vibración, sacudimiento, azotamiento, desplazamiento lateral multinodal, etc., requiere un análisis dinámico y no puede ser tenido en cuenta cuando se emplea el método de la carga estática equivalente. La

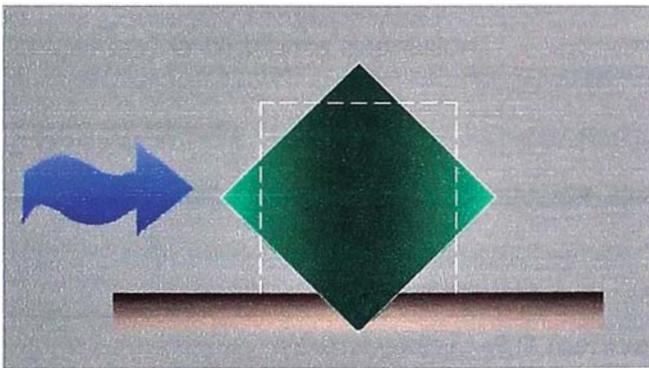
rigidización, el arriostramiento, y el ajuste de los elementos en general pueden minimizar las posibilidades para tales efectos, pero únicamente un análisis dinámico real o una prueba en túnel de viento pueden garantizar que la estructura sea adecuada para resistir estos efectos armónicos.

**i) Efecto de las aberturas**



Si la superficie de un edificio es cerrada y razonablemente lisa, el viento se desliza rodeándolo mediante un flujo fluido. Las aberturas o las formas del edificio que tienden a acopar el viento pueden afectar grandemente a la fuerza total del viento sobre el edificio. Es difícil tener en cuenta estos efectos en un análisis matemático, excepto de manera muy empírica. El acopamiento del viento puede llegar a ser efecto muy importante, por ejemplo, cuando todo un lado del edificio es abierto. Estacionamientos, hangares, cascarones y otros edificios de forma similar deben diseñarse para una fuerza incrementada que no puede estimarse a menos que se efectúe una prueba en túnel de viento.

**j) Efecto torsional**



Si un edificio no es simétrico con respecto a su silueta la viento, o bien si el sistema lateralmente resistente no es simétrico dentro del edificio, la fuerza del viento puede producir un

efecto de torsión. Este efecto se debe a un desalineamiento entre el centroide las fuerzas de viento y el centroide del sistema lateralmente resistente (denominado centro de rigidez) y producirá una fuerza adicional en algunos elementos de la estructura.

Aun cuando en un área pueden existir direcciones típicas del viento dominante, debe considerarse que el viento es capaz de soplar en cualquier dirección. Dependiendo de la forma del edificio y del arreglo de la estructura, se puede requerir un análisis de viento para las varias direcciones posibles.

## 2. CÁLCULO DE LAS TENSIONES EN LA ESTRUCTURA

### 2.1. VELOCIDAD DE DISEÑO DEL VIENTO<sup>41</sup>

La velocidad de diseño del viento hasta 10 m de altura será la velocidad máxima adecuada a la zona de ubicación de la edificación pero no menos de 75 Km./h; para este caso usaremos  $V = 75 \text{ Km./h}$ :

$$V_h = V (h/10)^{0.22}$$

Donde:

$V_h$ : veloc. de diseño en la altura  $h$ , en Km./h

$V$ : veloc. de diseño hasta 10 m de altura en Km./h

$h$ : altura sobre el terreno en metros (10.50 m)

$$V_h = 75 (10.90 / 10)^{0.22}$$

$$V_h = 76.44 \text{ Km./h}$$

### 2.2. CARGA EXTERIOR DEL VIENTO<sup>42</sup>

Se calculará con la siguiente expresión:

$$P_h = 0.005 C V_h^2$$

Donde:

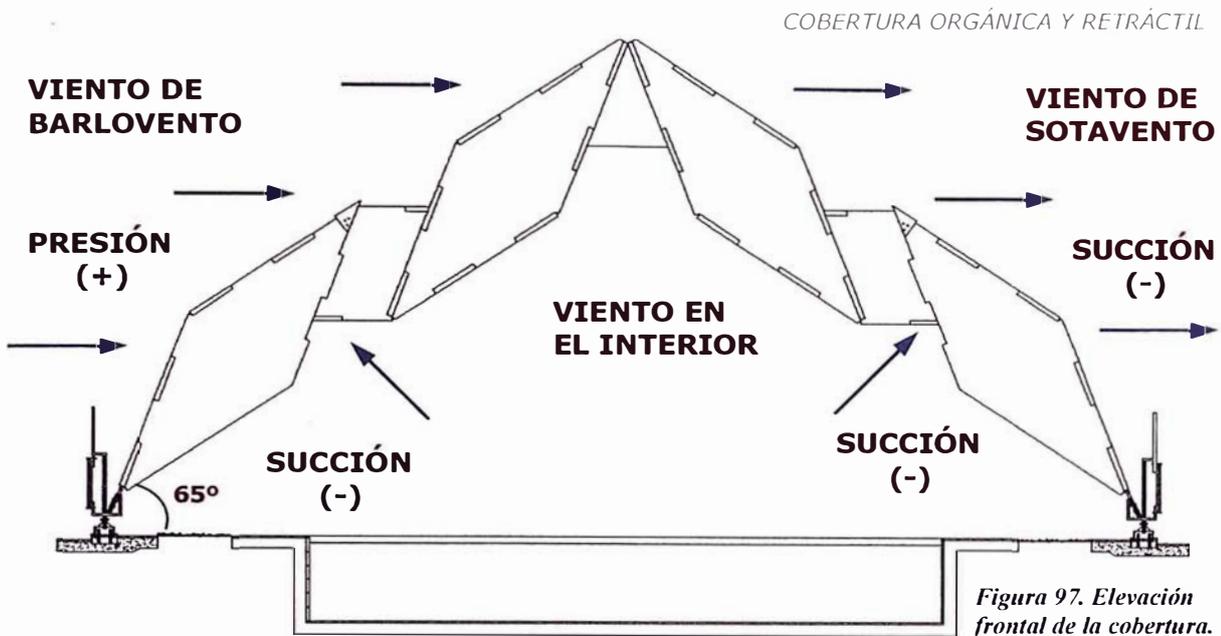
$P_h$ : presión o succión del viento a una altura  $h$ , en  $\text{Kg/m}^2$

$C$ : factor de forma adimensional; para este caso +0.7 (barlovento), -0.3 (sotavento)

$V_h$ : velocidad de diseño en la altura  $h$ , en Km./h (75.8 Km./h)

<sup>41</sup> Fuente: Norma Peruana de Estructuras (2001-2002), Segunda Edición, ACI PERÚ

<sup>42</sup> Idem.



$$P_{hp} = 0.005 (+0.7 (76.44)^2)$$

$$P_{hp} = + 20.45 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hp} = P_{hp} \times S$$

$$F_{hp} = +20.45 \times 162.75$$

donde:

S: área (162.75 m<sup>2</sup>)

F<sub>hp</sub>: Fuerza del viento

$$F_{hp} = +3 328 \text{ Kg} \approx +3.33 \text{ T}$$

Para el caso de succión exterior:

$$P_{hs1} = 0.005 (-0.3 (76.44)^2)$$

$$P_{hs1} = - 8.77 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs1} = P_{hs1} \times S$$

$$F_{hs1} = -8.77 \times 162.75$$

donde:

S: área (162.75 m<sup>2</sup>)

F<sub>hp</sub>: Fuerza del viento

$$F_{hs1} = -1 427 \text{ Kg} \approx -1.43 \text{ T}$$

Para el caso de succión interior:

$$P_{hs2} = 0.005 (-0.6 (76.44)^2)$$

$$P_{hs2} = - 17.53 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs2} = P_{hs2} \times S$$

$$F_{hs2} = -17.53 \times 162.75$$

donde:

S: área (162.75 m<sup>2</sup>)

F<sub>hp</sub>: Fuerza del viento

$$F_{hs1} = -2\ 853\ Kg \approx -2.85\ T$$

El signo positivo indica presión y el signo negativo succión.

La suma de todas las fuerzas sería 3.33 T + 1.43 T + 2.85 T, esto daría como resultado una fuerza de 7.61 T, por lo tanto, como la estructura tiene un peso de 15 T, estas fuerzas no lograrían levantar la estructura.

### 2.3. CARGA INTERIOR DEL VIENTO<sup>43</sup>

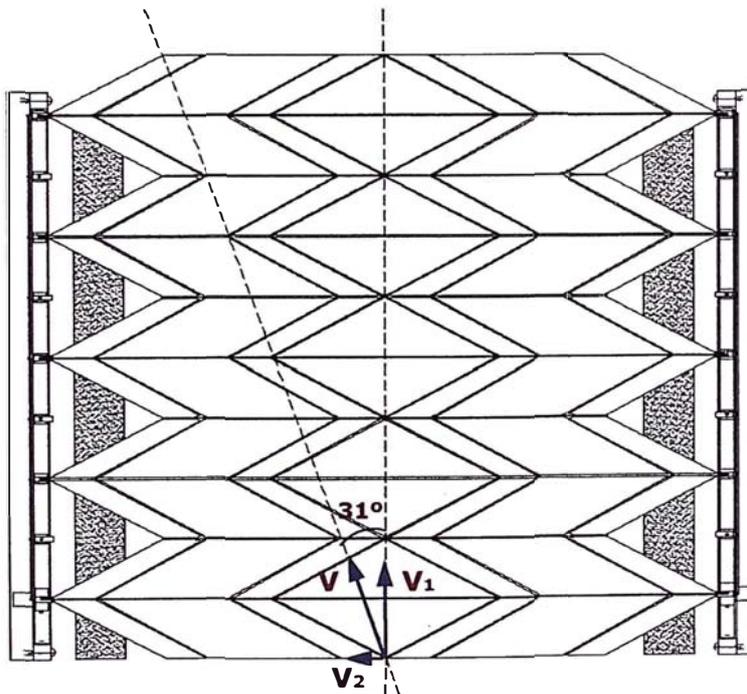


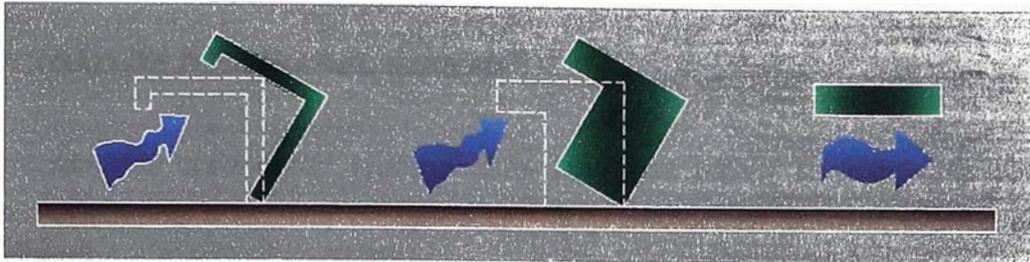
Figura 98. Vista en planta de la cobertura.

Para la figura anterior:

$$V = 76.44\ Km/h$$

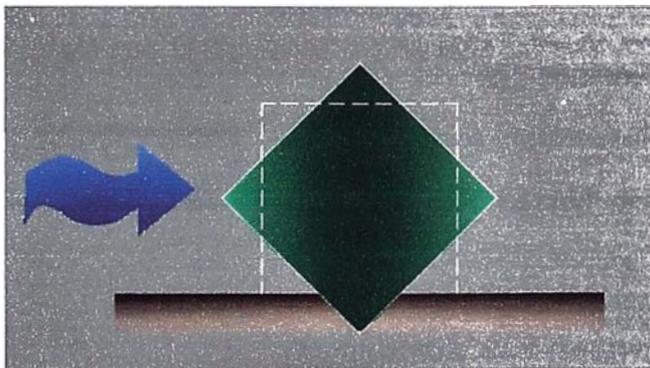
<sup>43</sup> Fuente: Norma Peruana de Estructuras (2001-2002), Segunda Edición, ACI PERU

**i) Efecto de las aberturas**



Si la superficie de un edificio es cerrada y razonablemente lisa, el viento se desliza rodeándolo mediante un flujo fluido. Las aberturas o las formas del edificio que tienden a acopar el viento pueden afectar grandemente a la fuerza total del viento sobre el edificio. Es difícil tener en cuenta estos efectos en un análisis matemático, excepto de manera muy empírica. El acopamiento del viento puede llegar a ser efecto muy importante, por ejemplo, cuando todo un lado del edificio es abierto. Estacionamientos, hangares, cascarones y otros edificios de forma similar deben diseñarse para una fuerza incrementada que no puede estimarse a menos que se efectúe una prueba en túnel de viento.

**j) Efecto torsional**



Si un edificio no es simétrico con respecto a su silueta la viento, o bien si el sistema lateralmente resistente no es simétrico dentro del edificio, la fuerza del viento puede producir un efecto de torsión. Este efecto se debe a un desalineamiento entre el centroide las fuerzas de viento y el centroide del sistema lateralmente resistente (denominado centro de rigidez) y producirá una fuerza adicional en algunos elementos de la estructura.

Aun cuando en un área pueden existir direcciones típicas del viento dominante, debe considerarse que el viento es capaz de soplar en cualquier dirección. Dependiendo de la forma del edificio y del arreglo de la estructura, se puede requerir un análisis de viento para las varias direcciones posibles.

## 2. CÁLCULO DE LAS TENSIONES EN LA ESTRUCTURA

### 2.1. VELOCIDAD DE DISEÑO DEL VIENTO<sup>41</sup>

La velocidad de diseño del viento hasta 10 m de altura será la velocidad máxima adecuada a la zona de ubicación de la edificación pero no menos de 75 Km./h; para este caso usaremos  $V = 75 \text{ Km./h}$ :

$$V_h = V (h/10)^{0.22}$$

Donde:

$V_h$ : veloc. de diseño en la altura  $h$ , en Km./h

$V$ : veloc. de diseño hasta 10 m de altura en Km./h

$h$ : altura sobre el terreno en metros (10.50 m)

$$V_h = 75 (10.90 / 10)^{0.22}$$

$$V_h = 76.44 \text{ Km./h}$$

### 2.2. CARGA EXTERIOR DEL VIENTO<sup>42</sup>

Se calculará con la siguiente expresión:

$$P_h = 0.005 C V_h^2$$

Donde:

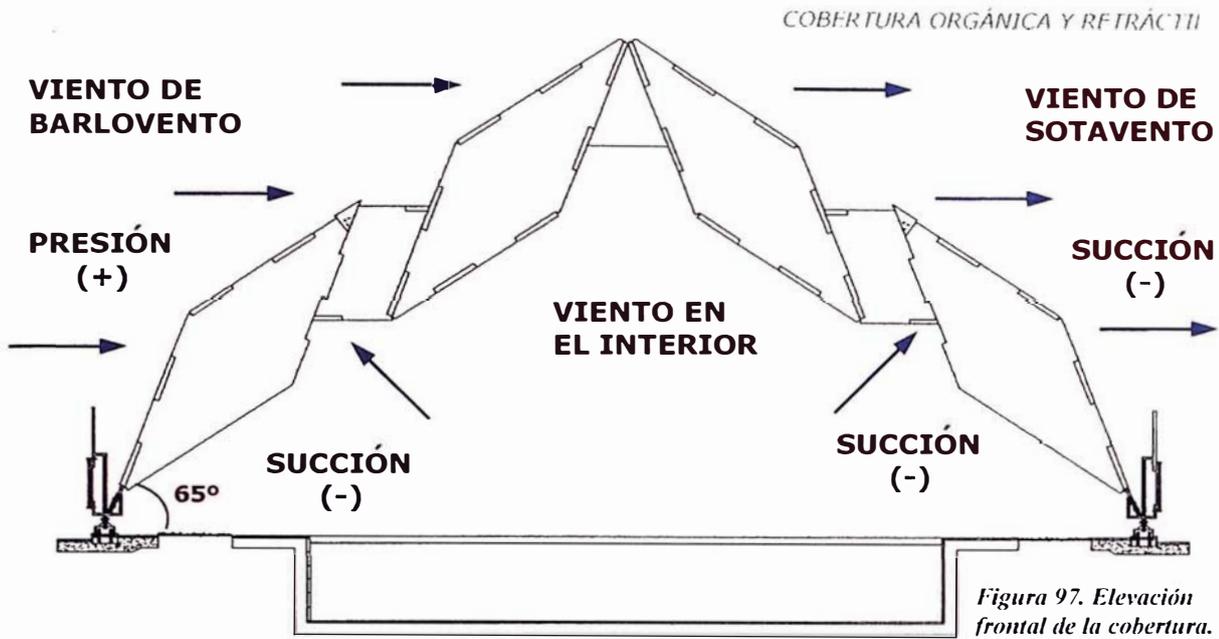
$P_h$ : presión o succión del viento a una altura  $h$ , en  $\text{Kg/m}^2$

$C$ : factor de forma adimensional; para este caso +0.7 (barlovento), -0.3 (sotavento)

$V_h$ : velocidad de diseño en la altura  $h$ , en Km./h (75.8 Km./h)

<sup>41</sup> Fuente: Norma Peruana de Estructuras (2001-2002), Segunda Edición, ACI PERU

<sup>42</sup> Idem.



$$P_{hp} = 0.005 (+0.7 (76.44)^2)$$

$$P_{hp} = + 20.45 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hp} = P_{hp} \times S$$

$$F_{hp} = +20.45 \times 162.75$$

$$F_{hp} = +3 328 \text{ Kg} \approx +3.33 \text{ T}$$

donde:

S: área (162.75 m<sup>2</sup>)

F<sub>hp</sub>: Fuerza del viento

Para el caso de succión exterior:

$$P_{hs1} = 0.005 (-0.3 (76.44)^2)$$

$$P_{hs1} = - 8.77 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs1} = P_{hs1} \times S$$

$$F_{hs1} = -8.77 \times 162.75$$

$$F_{hs1} = -1 427 \text{ Kg} \approx -1.43 \text{ T}$$

donde:

S: área (162.75 m<sup>2</sup>)

F<sub>hp</sub>: Fuerza del viento

Para el caso de succión interior:

$$P_{hs2} = 0.005 (-0.6 (76.44)^2)$$

$$P_{hs2} = - 17.53 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs2} = P_{hs2} \times S$$

$$F_{hs2} = -17.53 \times 162.75$$

donde:

$S$ : área ( $162.75 \text{ m}^2$ )

$F_{hp}$ : Fuerza del viento

$$F_{hs1} = -2\,853 \text{ Kg} \approx -2.85 \text{ T}$$

El signo positivo indica presión y el signo negativo succión.

La suma de todas las fuerzas sería  $3.33 \text{ T} + 1.43 \text{ T} + 2.85 \text{ T}$ , esto daría como resultado una fuerza de  $7.61 \text{ T}$ , por lo tanto, como la estructura tiene un peso de  $15 \text{ T}$ , estas fuerzas no lograrían levantar la estructura.

### 2.3. CARGA INTERIOR DEL VIENTO<sup>43</sup>

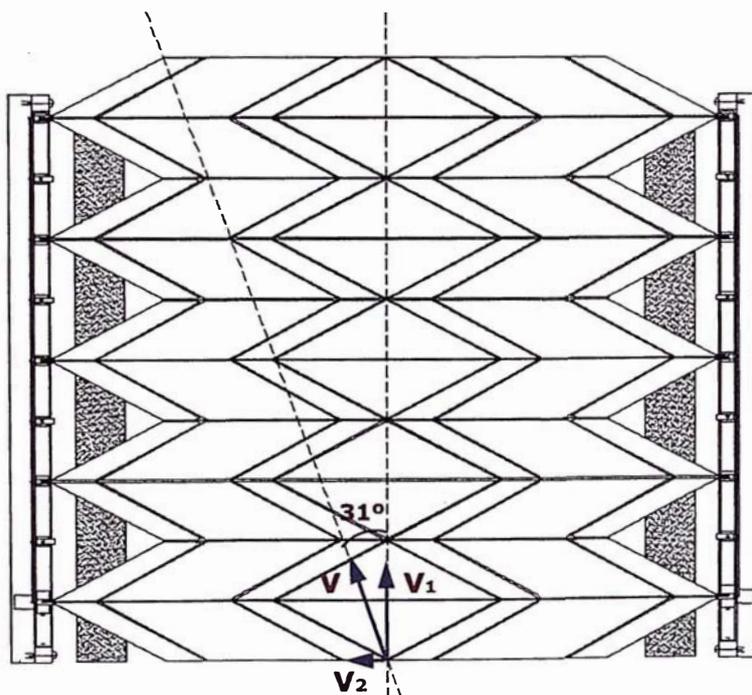


Figura 98. Vista en planta de la cobertura.

Para la figura anterior:

$$V = 76.44 \text{ Km/h}$$

<sup>43</sup> Fuente: Norma Peruana de Estructuras (2001-2002), Segunda Edición, ACI PERÚ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN

$$V_1 = V \times \cos 31^\circ$$

$$V_1 = 65.52 \text{ Km/h}$$

Entonces:

$$P_{hp} = 0.005 (+0.7 (65.52)^2)$$

$$P_{hp} = + 15.03 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hp} = P_{hp} \times S$$

$$F_{hp} = +15.03 \times 162.75$$

$$F_{hp} = +2 446 \text{ Kg} \approx +2.45 \text{ T}$$

$$P_{hs1} = 0.005 (-0.3 (65.52)^2)$$

$$P_{hs1} = - 6.44 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs1} = P_{hs1} \times S$$

$$F_{hs1} = -6.43 \times 162.75$$

$$F_{hs1} = -1 048 \text{ Kg} \approx -1.05 \text{ T}$$

$$P_{hs2} = 0.005 (-0.6 (65.52)^2)$$

$$P_{hs2} = - 12.88 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs2} = P_{hs2} \times S$$

$$F_{hs2} = -12.88 \times 162.75$$

$$F_{hs2} = -2 096 \text{ Kg} \approx -2.10 \text{ T}$$

El viento V1 no se utiliza porque de acuerdo a su dirección no afecta la cobertura.

$$V_2 = V \times \sen 31^\circ$$

$$V_2 = 39.37 \text{ Km/h}$$

Entonces:

$$P_{hp} = 0.005 (+0.7 (39.37)^2)$$

$$P_{hp} = + 5.43 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hp} = P_{hp} \times S$$

$$F_{hp} = +5.43 \times 162.75$$

$$F_{hp} = +884 \text{ Kg} \approx +0.88 \text{ T}$$

$$P_{hs1} = 0.005 (-0.3 (39.37)^2)$$

$$P_{hs1} = - 2.33 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs1} = P_{hs1} \times S$$

$$F_{hs1} = -2.33 \times 162.75$$

$$F_{hs1} = -379 \text{ Kg} \approx -0.38 \text{ T}$$

$$P_{hs2} = 0.005 (-0.6 (39.37)^2)$$

$$P_{hs2} = - 4.65 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs2} = P_{hs2} \times S$$

$$F_{hs2} = -4.65 \times 162.75$$

$$F_{hs2} = -757 \text{ Kg} \approx -0.76 \text{ T}$$

Se usa solo el viento V2 porque es el único que afecta la cobertura.

Si sumamos todas las fuerzas  $0.88 \text{ T} + 0.38 \text{ T} + 0.76 \text{ T}$  daría un resultado de  $2.02 \text{ T}$ , por lo tanto, esta fuerza no lograría levantar la cobertura por succión.

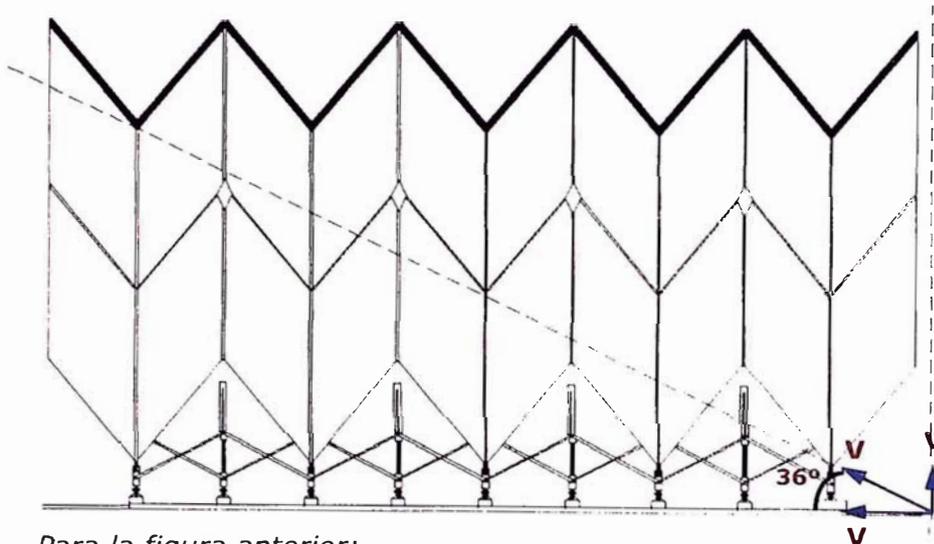


Figura 99. Vista en corte de la cobertura.

Para la figura anterior:

$$V = 76.44 \text{ Km/h}$$

$$V_3 = V \times \sin 36^\circ$$

$$V_3 = 44.93 \text{ Km/h}$$

Entonces:

$$P_{hp} = 0.005 (+0.7 (44.93)^2)$$

$$P_{hp} = + 7.07 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hp} = P_{hp} \times S$$

$$F_{hp} = +7.07 \times 162.75$$

$$F_{hp} = +1 151 \text{ Kg} \approx +1.15 \text{ T}$$

$$P_{hs1} = 0.005 (-0.3 (44.93)^2)$$

$$P_{hs1} = - 3.03 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs1} = P_{hs1} \times S$$

$$F_{hs1} = -3.03 \times 162.75$$

$$F_{hs1} = -493 \text{ Kg} \approx -0.49 \text{ T}$$

$$P_{hs2} = 0.005 (-0.6 (44.93)^2)$$

$$P_{hs2} = - 6.06 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs2} = P_{hs2} \times S$$

$$F_{hs2} = -6.06 \times 162.75$$

$$F_{hs2} = -986 \text{ Kg} \approx -0.99 \text{ T}$$

$$V_4 = V \times \cos 36^\circ$$

$$V_4 = 61.84 \text{ Km/h}$$

Entonces:

$$P_{hp} = 0.005 (+0.7 (61.84)^2)$$

$$P_{hp} = + 13.39 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hp} = P_{hp} \times S$$

$$F_{hp} = +13.39 \times 162.75$$

$$F_{hp} = +2 179 \text{ Kg} \approx +2.18 \text{ T}$$

$$P_{hs1} = 0.005 (-0.3 (61.84)^2)$$

$$P_{hs1} = - 5.74 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs1} = P_{hs1} \times S$$

$$F_{hs1} = -5.74 \times 162.75$$

$$F_{hs1} = -934 \text{ Kg} \approx -0.93 \text{ T}$$

$$P_{hs2} = 0.005 (-0.6 (61.84)^2)$$

$$P_{hs2} = - 11.47 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{hs2} = P_{hs2} \times S$$

$$F_{hs2} = -11.47 \times 162.75$$

$$F_{hs2} = -1 867 \text{ Kg} \approx -1.87 \text{ T}$$

Se usa solo la fuerza del viento  $V_3$  porque es la única que actúa para levantar la estructura que sería  $1.15 T + 0.49 T + 0.99 T$  que daría un resultado de  $2.63 T$ , por lo tanto, mediante esta fuerza del viento no es posible levantar la estructura.

## 2.4. CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

Primero hallaremos la velocidad lineal, se quiere que la estructura pueda expandirse en 10 minutos en su totalidad, entonces:

$$V_l = D_t / V_a$$

donde:

$$V_l = 15 \text{ m} / 10 \text{ min} \times 1 \text{ min} / 60 \text{ s}$$

$$V_l = 0.025 \text{ m/s}$$

$V_l$ : velocidad lineal

$D_t$ : distancia total apertura

$V_a$ : tiempo de apertura

Luego, hallaremos la velocidad angular:

$$w = V_l / R_r$$

donde:

$w$ : velocidad angular

$$w = 0.025 \text{ m/s} / 0.15 \text{ m}$$

$V_l$ : velocidad lineal

$$w = 0.16 \text{ s}^{-1}$$

$R_r$ : radio de la rueda

Después hallaremos las revoluciones por minuto:

$$RPM = w \times 60 / 2\pi$$

$$RPM = 0.16 \text{ s}^{-1} \times 60 / 2\pi$$

$$RPM = 1.6 \text{ rpm}$$

Finalmente hallaremos la potencia del motor:

$$m_f = m \times F_s$$

$$m_f = 15 \text{ T} \times 1.33 = 19.95 \approx 20 \text{ T}$$

donde:

$$m_f = 20 \text{ T}$$

$m_f$ : Masa final

$m$ : Masa

$F_s$ : Factor de seguridad

$$F_a = \mu \times P_f \times g$$

$F_a$ : Factor de arrastre

$$F_a = 0.2 \times 20\,000 \text{ Kg} \times 9.8 \text{ m/s}$$

$\mu$ : Coeficiente

$g$ : Aceleración de la gravedad

$$F_a = 39\,200 \text{ N}$$

$$P = F_a \times V_l$$

$P$ : Potencia

$$P = 39\,200 \text{ N} \times 0.025 \text{ m/s}$$

$P_f$ : Potencia final

$$P = 980 \text{ w}$$

$$P = 1.3 \text{ HP}$$

$$P_f = P \times F_s = 1.3 \times 2.3$$

$$P_f = 3 \text{ HP}$$

*La potencia que se necesita para mover la estructura es de 1.3HP, pero se le multiplica por un factor de seguridad de 2.3 debido a la inercia inicial, ya que siempre es necesario mucho más potencia que la constante para darle el primer impulso de movimiento a la cobertura.*

### **3. CONCLUSIONES**

*Deben tomarse en cuenta todos los criterios antes mencionados (presión directa, arrastre aerodinámico, succión, etc.) para poder lograr una cobertura estructural y formalmente eficiente; sobre todo los criterios acerca del recorrido del viento y las fuerzas que debido a éste actúan.*

*Estos criterios de diseño ante los efectos del viento deben ser tomados con mayor importancia, ya que, debido a que la estructura es una cobertura relativamente ligera, tiene mayores deficiencias, gracias a su peso, a ser afectado ante las fuerzas del viento.*

*Para poder contrarrestar estos efectos de los fenómenos naturales, es necesario reforzar la estructura de alguna manera, para hacer la estructura más eficiente estructuralmente.*

*Los cálculos matemáticos son necesarios para saber, o tener una noción de las dimensiones reales de los elementos que conforman dicha estructura; y a su vez, para corroborar que los criterios que se han tomado para dicho diseño sean los correctos.*

*Finalmente, se sabrá concretamente que esta estructura es factible de realizar si se toman en cuenta todos los criterios que se han mencionado anteriormente.*

#### **4. CONCLUSIONES GENERALES**

*Cuando desees realizar una estructura que tienda a una forma orgánica y sea retráctil, no debes copiar la forma que tienen los organismos vivos, sino debes analizar los principios estructurales por los cuales surgieron esas formas, así como conceptualizar el movimiento que tienen, para reformularlo en la arquitectura.*

*Para realizar dichas estructuras debes tener claro los conceptos de fuerzas y esfuerzos de la materia (compresión, tracción, flexión, corte y torsión), de esa manera puedes descubrir donde la estructura tiene que ser complementada con algún refuerzo.*

*Al hacer las estructuras móviles y transformables se debe tomar en cuenta el medio en el que se desarrolla, porque estas estructuras también sirven como protección contra los fenómenos de la naturaleza.*

*Una estructura orgánica debe transmitir algo más que una simple forma, debe transmitir el concepto espacial por el cual se creó esa forma.*

*Para realizar cualquier tipo de movimiento debe conocerse la mecanicidad de las cosas, o sea, los diferentes sistemas en que se mueven las cosas, los animales, las personas, en si los seres vivos, para poder dar soluciones más elaboradas a problemas establecidos.*

*Es muy importante también conocer el material con el que se va a desarrollar esta estructura de forma orgánica, móvil y transformable, para saber qué tipo de esfuerzos son los que prevalecen en dicho material y así poder contrarrestarlo, logrando que la estructura no ceda.*

*En conclusión, es importante tener en cuenta no sólo los criterios propios de la estructura misma, sino también es necesario tener en cuenta los diferentes criterios sobre los fenómenos naturales que actúan sobre las estructuras, ya sean: sismos, lluvias, nieve, granizo, vientos, etc. porque estos son fundamentales y decisivos en el diseño de estructuras, en especial aquellas que no son convencionales, como la que se propone realizar.*

# VI

## CAPÍTULO VI

### COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

## **CAPÍTULO VI: COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL**

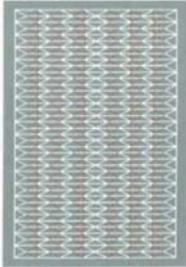
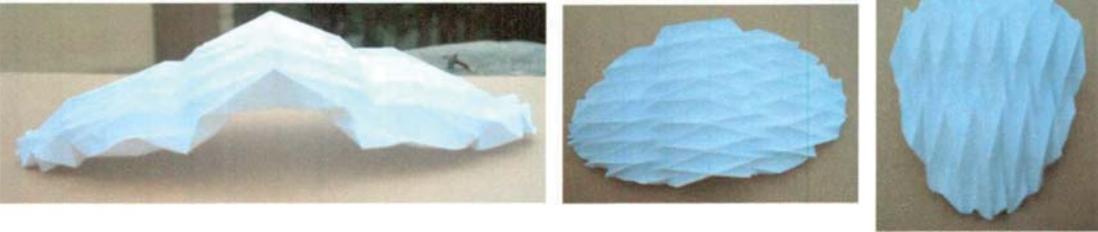
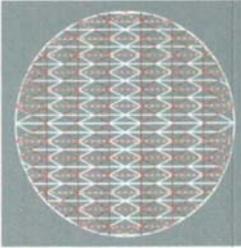
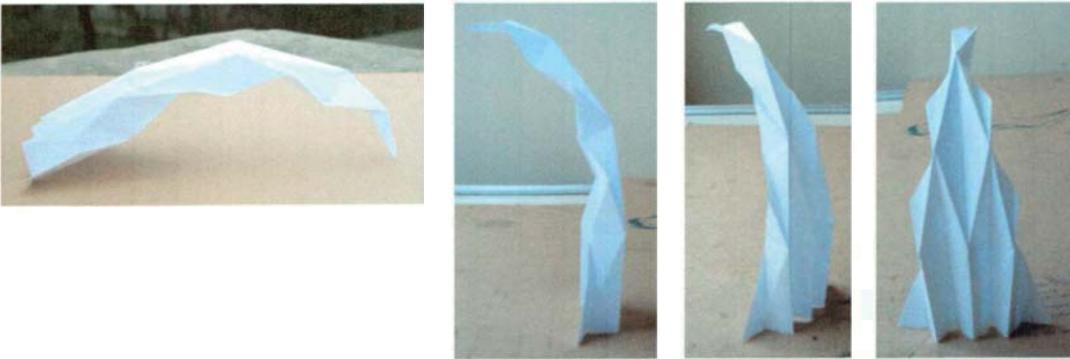
### **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

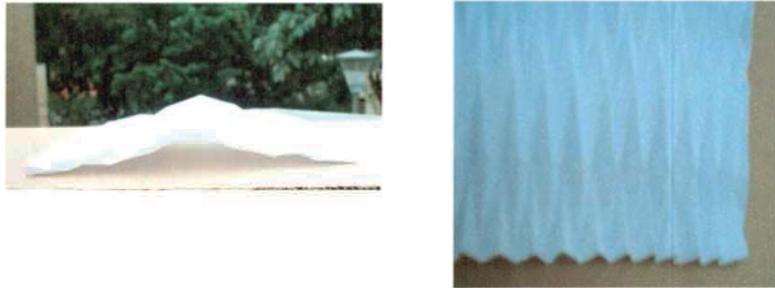
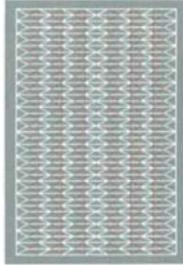
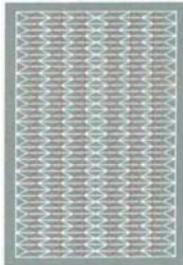
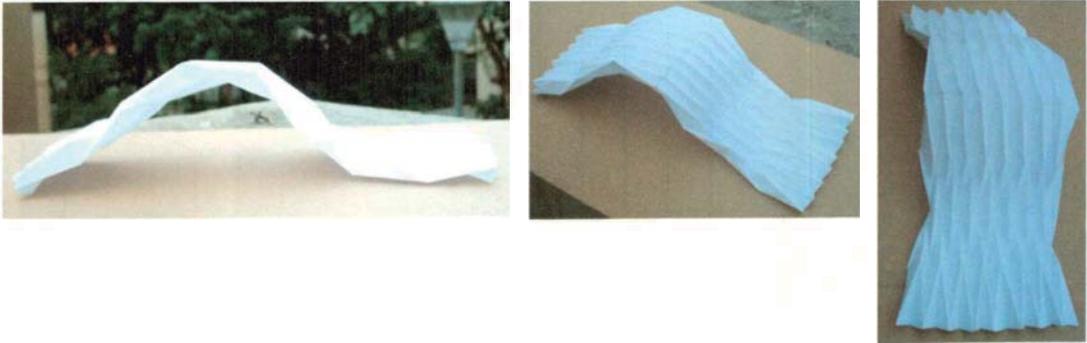
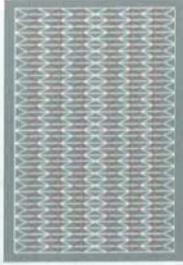
#### **1. PROTOTIPOS**

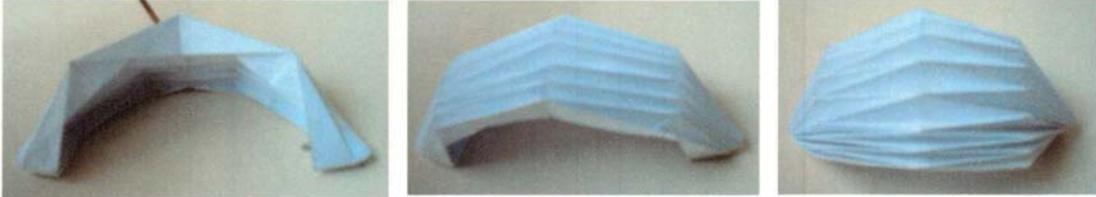
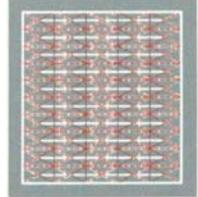
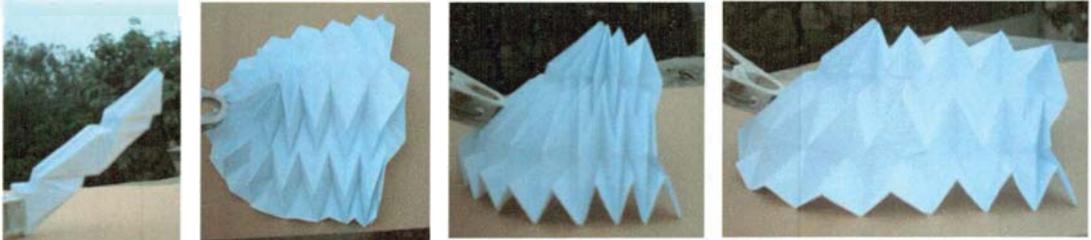
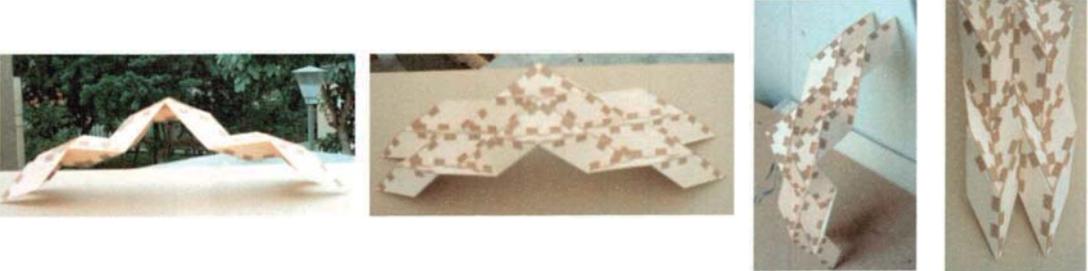
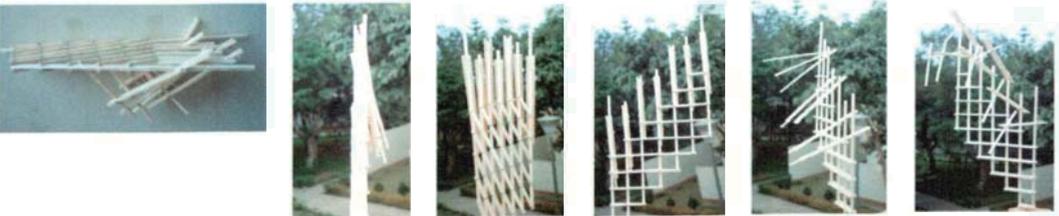
*Antes de llegar al modelo propuesto, se hicieron varias pruebas, en forma y estabilidad, con muchos prototipos en papel, con diferentes formas del papel, con diferentes tipos de dobleces y con diferente cantidad de dobleces.*

*Se ha hecho un análisis práctico de la estructura mediante la comprobación de cada una de estas posibilidades para experimentar y saber cuál es la que estructuralmente tiene mejores resultados.*

*A continuación, se mostrara un cuadro con todas las posibilidades que hemos encontrado (pero no son las únicas), ya que por motivos del estudio, y para no hacerlo muy extenso, no se han podido investigar los demás casos.*

| NOMBRE                 | GRÁFICOS   | PLANTA   | CANTIDAD DOBLECES             | SENTIDO DOBLECES           |
|------------------------|--|--|-------------------------------|----------------------------|
| <p><b>MODELO 1</b></p> |    |  <p><b>RECTANGULAR</b></p>  | <p><b>SEIS DOBLECES</b></p>   | <p><b>DOS SENTIDOS</b></p> |
| <p><b>MODELO 2</b></p> |    |  <p><b>CIRCULAR</b></p>     | <p><b>SEIS DOBLECES</b></p>   | <p><b>DOS SENTIDOS</b></p> |
| <p><b>MODELO 3</b></p> |  |  <p><b>TRIANGULAR</b></p> | <p><b>CUATRO DOBLECES</b></p> | <p><b>UN SENTIDOS</b></p>  |

| NOMBRE   | GRÁFICOS   | PLANTA   | CANTIDAD DOBLECES | SENTIDO DOBLECES |
|----------|--|--|-------------------|------------------|
| MODELO 4 |    | <br>RECTANGULAR   | OCHO DOBLECES     | DOS SENTIDOS     |
| MODELO 5 |    | <br>RECTANGULAR   | SIETE DOBLECES    | TRES SENTIDOS    |
| MODELO 6 |  | <br>RECTANGULAR | NUEVE DOBLECES    | TRES SENTIDOS    |

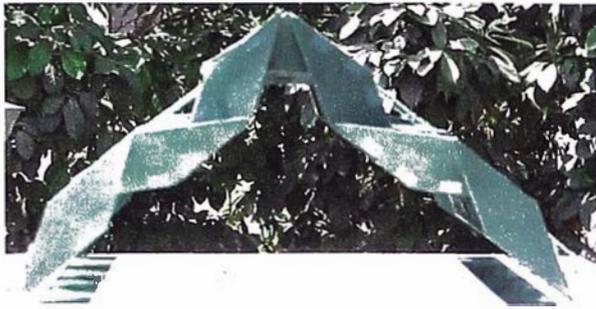
| NOMBRE    | GRÁFICOS   | PLANTA   | CANTIDAD DOBLECES      | SENTIDO DOBLECES    |
|-----------|--|--|------------------------|---------------------|
| MODELO 7  |    | <br><b>RECTANGULAR</b>  | <b>CUATRO DOBLECES</b> | <b>UN SENTIDO</b>   |
| MODELO 8  |    | <br><b>RECTANGULAR</b>  | <b>SEIS DOBLECES</b>   | <b>DOS SENTIDOS</b> |
| MODELO 9  |   | <br><b>RECTANGULAR</b> | <b>OCHO DOBLECES</b>   | <b>DOS SENTIDOS</b> |
| MODELO 10 |  | <p><b>LINEAL</b></p>   |                        |                     |

Finalmente, el modelo que se eligió por sus diferentes características fue una variante del modelo numero 9, porque es el que mayores beneficios presentaba.

**MODELO 9 – COBERTURA ORGÁNICA RETRÁCTIL**



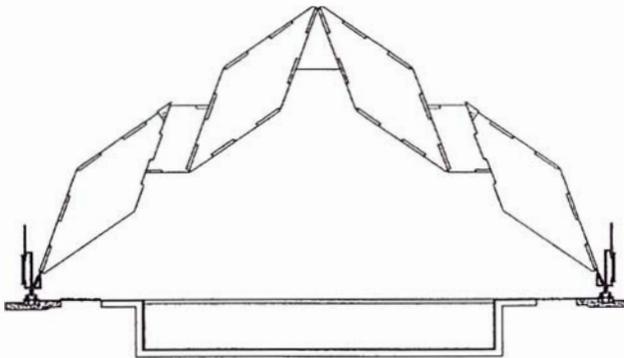
## 2. FORMA ORGÁNICA



Fuente: [www.mareostrum.org](http://www.mareostrum.org)

El prototipo que pensamos desarrollar es una analogía de la estructura corporal del cangrejo, debido a que la estructura también presenta un cuerpo central y estructuras laterales. El tipo de movimiento que realiza la cobertura también es en ejes paralelos como la forma de caminar del cangrejo.

## 3. LUCES DE LA ESTRUCTURA



Se ha pensado la estructura para cubrir grandes luces, pero por cuestiones de tiempo se realizará la estructura orgánica retráctil con una luz mucho más pequeña. Ésta se ha diseñado para cubrir una luz de 20 m, y un área de 15 m x 20 m (300 m<sup>2</sup>); con una altura de 10.5 m.

#### **4. DISEÑO DE LOS MÓDULOS**

*Se construirían tres tipos de módulos:*

- *Uno para la estructura superior de la cobertura, éstas son de forma triangular (en total 10).*
- *Módulos repetitivos para la parte inferior de la estructura, éstas serían de forma de paralelogramo regular (en total 20).*
- *Módulos repetitivos para las demás partes de la estructura, también de forma de paralelogramo regular (en total 40).*

#### **5. MATERIALES**

##### **5.1. FIBRA DE VIDRIO**

*Éste se puede utilizar de tres maneras: en fibra, en tela y en hilo. Todos estos se aglomeran con la resina, que le da al compuesto: resistencia química, dieléctrica y comportamiento a la intemperie; y el refuerzo de fibra, que sirve para dar volumen a la estructura puede ser carga, silico calcáreos o plásticos, estos refuerzos le dan al compuesto: resistencia mecánica, estabilidad dimensional y resistencia al calor.*

##### **5.1.1. Fibras de Vidrio**

*Cuando el vidrio se convierte en finas fibras su tensión de rotura a la tracción aumenta considerablemente. Para la fabricación de fibras en uso de plásticos reforzados se emplea el vidrio de tipo "E", el cual es un vidrio boro silícico con escaso contenido de álcalis (menos del 1%).*

*Puede ser de cuatro tipos:*

- *Mechas continuas o rovings, son la ejecución de miles de fibras básicas y se presentan en bovinas, su empleo abarca el moldeo por aspersion, enrollamiento, laminados continuos, etc.*
- *Fieltros o mats, constituyen un conjunto de fibras cortadas al azar, generalmente 50 mm de largo, afieltradas con resinas adecuadas. Se utilizan en moldeo manual, prensado, inyección y laminados continuos.*

- *Hilos cortados o chopped-strands, se obtienen cortando las mechas continuasen largos de 6 a 12 mm. Se emplean para reforzar termoplásticos y en pre compuestos (premix)*
- *Telas y tejidos, se elaboran a partir de hilados y rovings, poseen alta resistencia bidireccional o unidireccional. Se emplean cuando se requieren piezas de mayor resistencia.*

### **5.1.2. Resinas**

*Las más comúnmente utilizadas son el poliéster. Las mismas resultan de combinar ácidos polibásicos (saturados o insaturados) con glicoles. De los distintos compuestos usados y de las diferentes proporciones entre ellos, surgen diferentes tipos de resinas. En esta primera etapa son sólidos y para conferirle sus propiedades de polimerización se debe disolver en un monómero (generalmente estireno), obteniéndose un líquido espeso. Las resinas pasan del estado líquido al sólido por copolimerización del poliéster con el monómero, esta reacción química se efectúa con el aporte de un iniciador activo (catalizador) en combinación con otro producto químico (acelerador) o por aporte de calor.*

### **5.1.3. Gel Coat**

*En la mayoría de los casos se aplica una capa de terminación llamada "gel-coat" que consiste en una formulación especial a base de resinas poliéster. Se emplea para lograr un buen acabado superficial con excelente apariencia y resistencia al medio ambiente. El gel-coat puede pigmentarse con el color deseado. Se aplica sobre el molde antes de empezar a laminar. Sus cualidades son muy superiores a una pintura, pues forma parte de la pieza y tiene un espesor de 0.4 a 0.6 mm.*

### **5.1.4. Velo de Superficie**

*Está constituido por finísimas fibras de vidrio de elevada resistencia química ligadas entre sí por un aglomerante adecuado a cada aplicación. Estos velos tienen la particularidad de permitir la obtención de un laminado rico en resinas. Se lo emplea como primera capa inmediatamente posterior al gel-coat, en la constitución de barreras*

anticorrosivos y en laminados donde el esfuerzo de vidrio está próximo a la superficie. Con su incorporación se mejora la calidad de moldeo de la pieza, obteniéndose las siguientes ventajas: superficies libres de burbujas de aire, evita el marcado de la fibra, posibilita la obtención de cantos vivos, impide el afloramiento del esfuerzo.

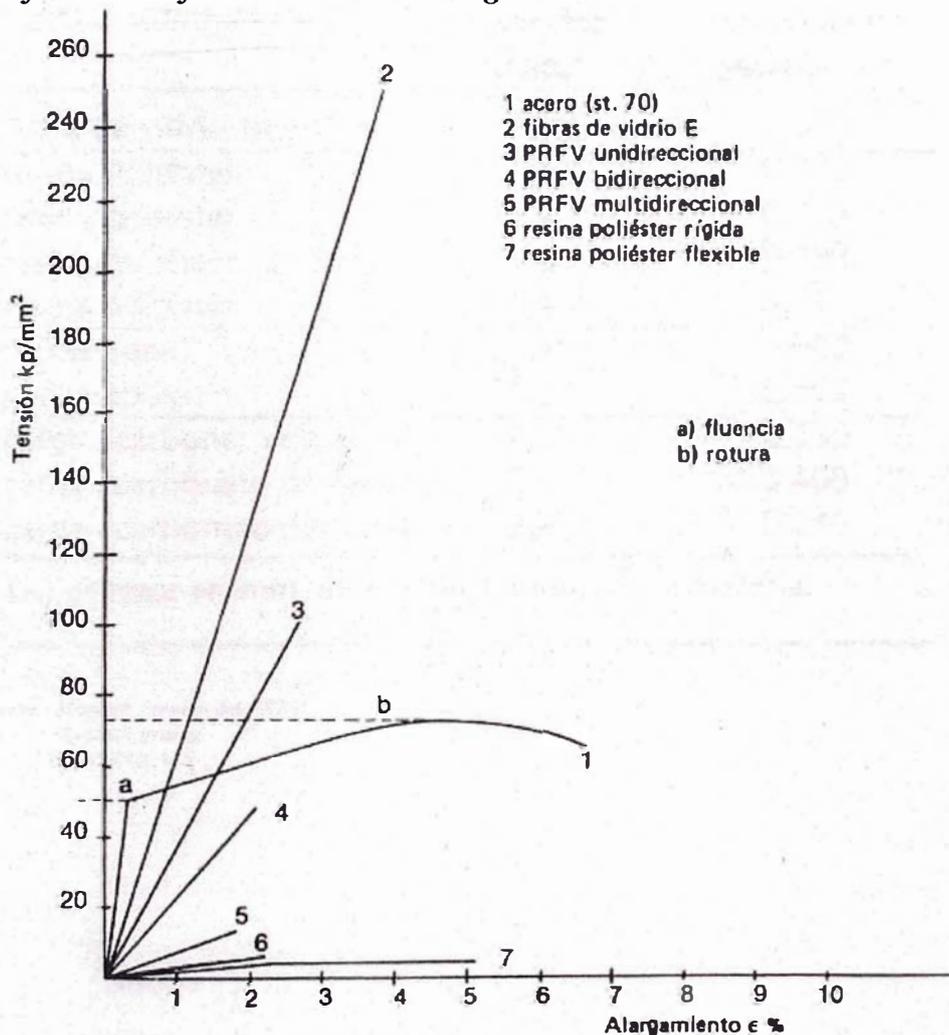
Sus aplicaciones típicas son: equipos anticorrosivos, piezas de inmersión en agua prolongadas, chapas translúcidas.

### 5.1.5. Propiedades de la Fibra de Vidrio

#### 5.1.5.1. Mecánica del Esfuerzo

La fibra de vidrio es un material elástico que cumple fielmente la Ley de Hooke en todo su rango de alargamiento. Las pruebas dan una línea recta y se llega a la rotura sin que ocurra fluencia. (Gráfico 1)

Gráfico 1. Gráfico de Tensión - Alargamiento



El diseño de esta fibra se lleva a cabo en la base de resistencia a la rotura usando un coeficiente de seguridad, mientras que en el acero el diseño se basa en la tensión de fluencia con factor de seguridad.

### 5.1.5.2. Obtención del Espesor

Uno de los requerimientos más importantes en el diseño es calcular la masa del material a emplear, para lograr el espesor que se necesita. Esta información se puede obtener conociendo el espesor de cada material. En la Tabla 1 se encuentran los datos necesarios para el cálculo. En el Gráfico 2 y 3 se han graficado algunos casos.

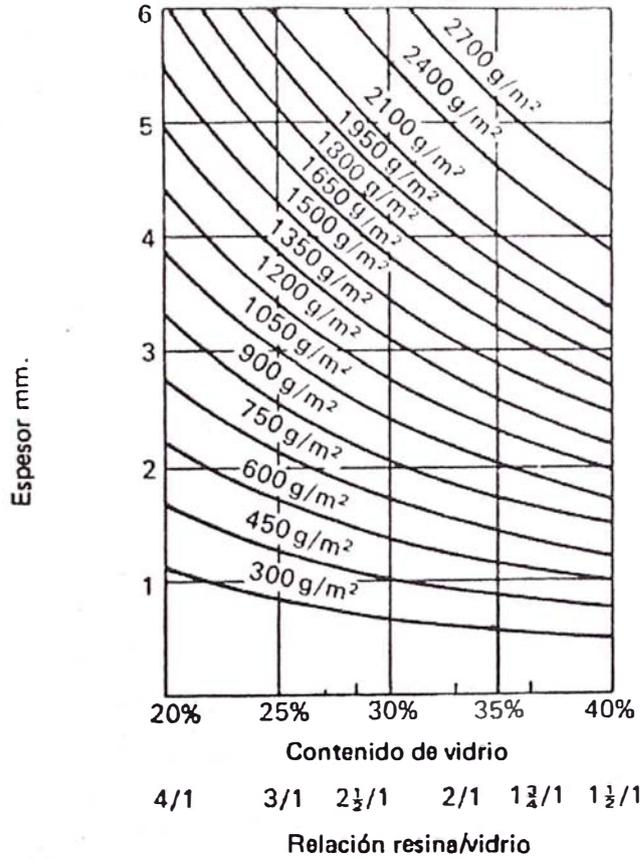
Tabla 1. Predicción del Espesor

|                             | densidad<br>g/cm. <sup>3</sup> | constante de<br>espesor (—) |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| fibra de vidrio tipo E      | 2,56                           | 0,391                       |
| resina poliéster            | 1,1                            | 0,909                       |
| resina poliéster            | 1,2                            | 0,833                       |
| resina poliéster            | 1,3                            | 0,769                       |
| resina poliéster            | 1,4                            | 0,714                       |
| resina epoxi                | 1,1                            | 0,909                       |
| resina epoxi                | 1,3                            | 0,769                       |
| carga - carbonato de calcio | 2,3                            | 0,435                       |
| carga - carbonato de calcio | 2,5                            | 0,400                       |
| carga - carbonato de calcio | 2,7                            | 0,345                       |

(—) espesor en mm. atribuible a 1 kg/m<sup>2</sup> de material

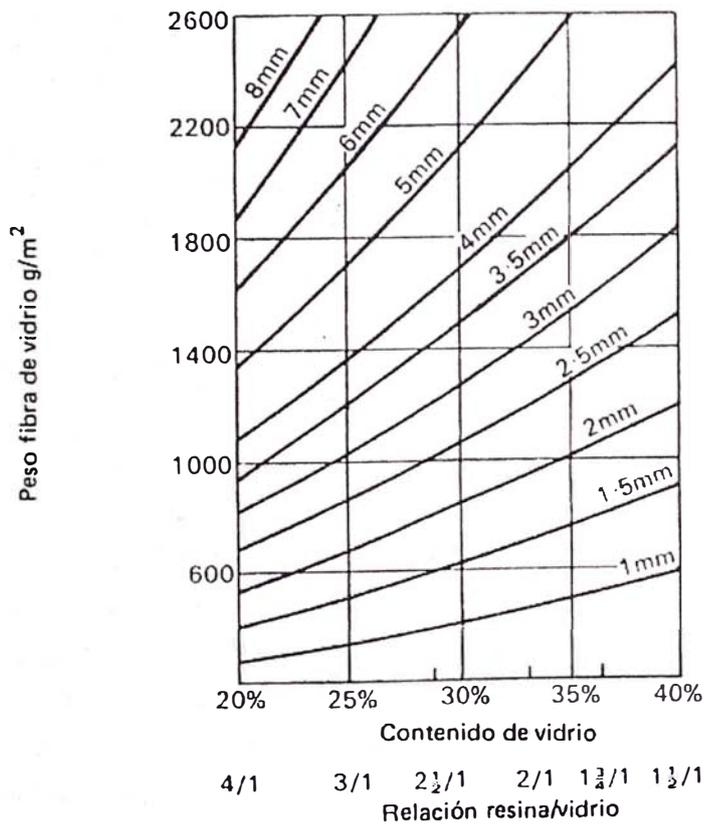
Fuente: Manual Técnico del PRFV  
Owens/Corning  
FIBERGLASS

**Gráfico 2. Predicción del Espesor**



Fuente:  
 Manual Técnico del PRFV  
 Owens/Corning  
 FIBERGLASS

**Gráfico 3. Predicción del Espesor**



Fuente:  
 Manual Técnico del PRFV  
 Owens/Corning  
 FIBERGLASS

### 5.1.5.3. Propiedades Físicas y Mecánicas

El término PRFV comprende una gran cantidad de materiales, aún si usamos la misma resina y fibra de vidrio, hay una gran variedad de relaciones resina/vidrio que se pueden obtener. (Tabla 2)

Tabla 2. Propiedades Físicas

| MATERIAL                        | % en peso de vidrio | coeficiente de dilatación $\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ | coeficiente de conductividad térmica kcal./h.m. $^\circ\text{C}$ |
|---------------------------------|---------------------|---|--|
| <b>UNIDIRECCIONAL</b>           |                     |   |  |
| Enrollamiento con epoxi         | 60-90               | 4-11  | 0,26-0,30  |
| Poltrusión con poliéster        | 50-75               | 5-14  | 0,26-0,30  |
| <b>BIDIRECCIONAL</b>            |                     |   |  |
| Tejido satín con poliéster      | 50-70               | 9-11  | 0,26-0,30  |
| Tejido reving con poliéster     | 45-60               | 11-16   | 0,18-0,26  |
| <b>MULTIDIRECCIONAL</b>         |                     |   |  |
| Preforma con poliéster          | 25-50               | 18-33   | 0,18-0,26  |
| Manual, aspersión con poliéster | 25-40               | 22-36   | 0,18-0,20  |
| <b>COMPUESTOS DE MOLDEO</b>     |                     |   |  |
| Premezclas con poliéster        | 10-40               | 24-34   | 0,18-0,22  |
| Preimpregnados con poliéster    | 20-35               | 18-33   | 0,18-0,22  |
| Nylon reforzado con vidrio      | 20-40               | 13-33   | 0,18-0,19  |
| <b>TERMOPLASTICOS</b>           |                     |   |  |
| Poliétileno A.D.                |                     | 110-130   | 0,095  |
| Poliestireno A.I.               |                     | 40-100  | 0,086-0,095  |
| Polipropileno                   |                     | 100-200   | 0,095  |
| Nylon                           |                     | 100-114   | 0,18-0,22  |
| <b>METALES</b>                  |                     |   |  |
| Acero común                     |                     | 11-14   | 40   |
| Aluminio                        |                     | 22-23   | 120-163  |
| Acero inoxidable                |                     | 16-18   | 95   |

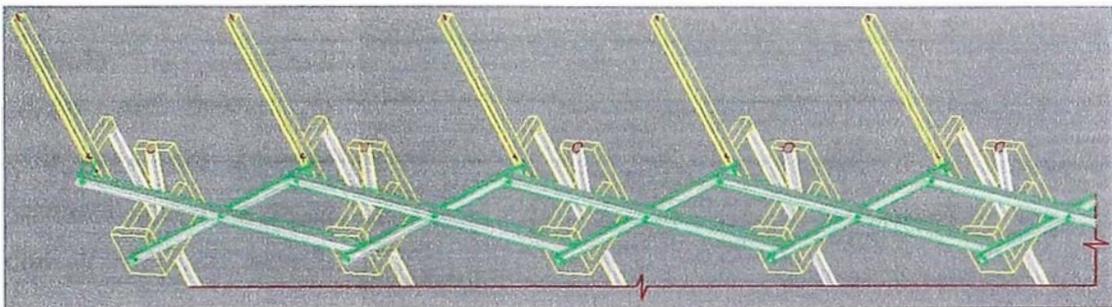
Fuente:  
Manual Técnico del PRFV  
Owens/Corning  
FIBERGLASS

Analizando las especificaciones antes mencionadas de la fibra de vidrio, podemos concluir que la cobertura orgánica y retráctil que se ha diseñado tendrá una fibra de vidrio tipo E (ver tabla 1), será desarrollado con telas de fibra de vidrio máximo de 4 mm. de espesor, con un 32 % de vidrio (ver gráfico 2 y 3); y finalmente, ya que éste presenta 32% de vidrio, tendrá que estar pre-impregnado con poliéster (ver tabla 2).

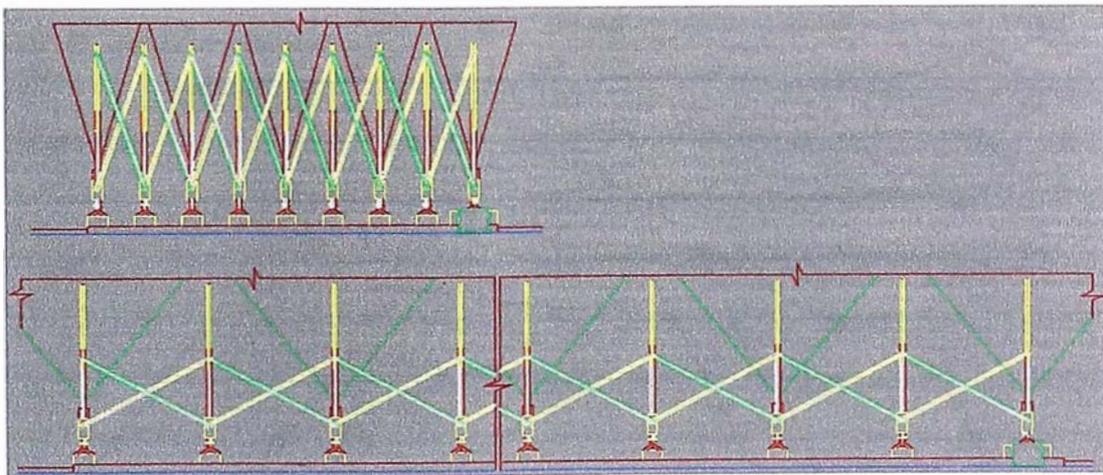
## 5.2. BARRAS DE ACERO

Estas barras se utilizarán como pasadores para unir los diferentes módulos de la estructura de fibra de vidrio, y estarán arriostrados en la parte superior y en la parte inferior de la estructura, tendrán una medida de 1" o 2" en el diámetro de su sección, dependiendo del módulo de la estructura al cual esté unido.

## 5.3. PANTÓGRAFO



Es un elemento metálico que está unido a cada uno de los elementos que sostienen las ruedas, que sirve para darle un movimiento armónico e igual a todos los elementos, asegurándonos que cada una de los elementos que sostienen la estructura se muevan perfectamente igual, además que le da estabilidad a la estructura (para ver más detalles ver lámina de planos de detalles de la estructura).



## 5.4. RIELES

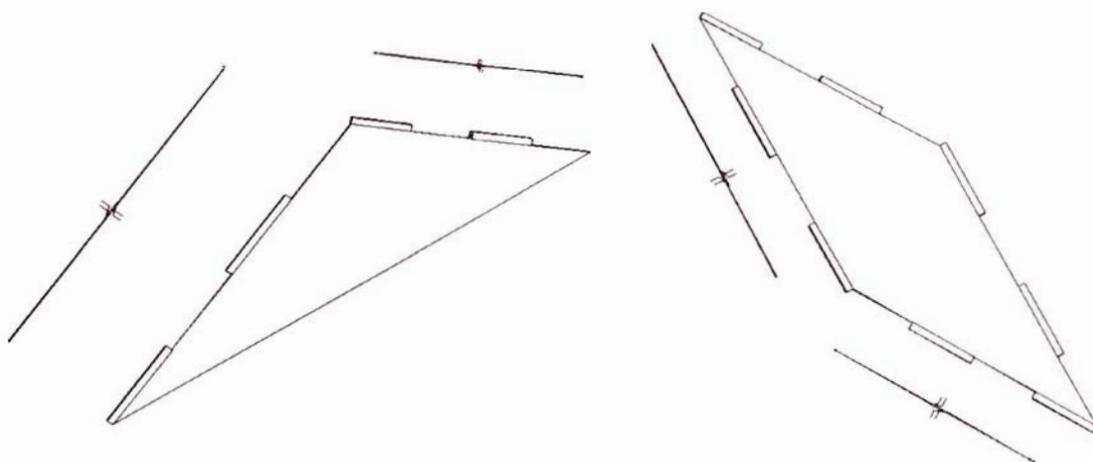
Los rieles son usados mediante unas piezas que sirven para arriostrar la base de la estructura con el suelo, de manera que la estructura no se voltee y pueda realizar el movimiento deseado.

### 5.5. LONA ELÁSTICA, FLEXIBLE E IMPERMEABLE.

*Esta vinilona se colocará encima de la estructura para proteger el interior de la caída de la lluvia, y para que esta no ingrese por las separaciones que existen entre módulo y módulo; este elemento será fijado a la estructura mediante unas placas metálicas y tornillos (ver planos de detalles).*

### 6. UNIONES

*Las uniones entre módulo y módulo serán en forma de bisagras, esta bisagra formará una sola pieza con el módulo, siendo la unión entre módulo y módulo con una barra de acero, arriostrado en la parte superior y en la parte inferior de la estructura; que a su vez le permita realizar el movimiento deseado.*



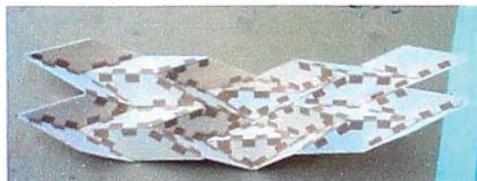
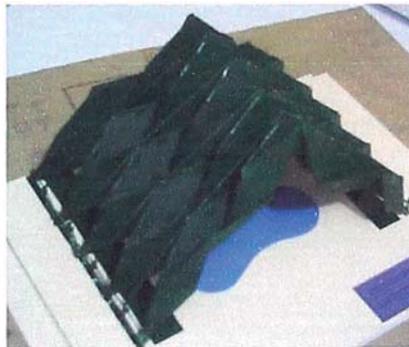
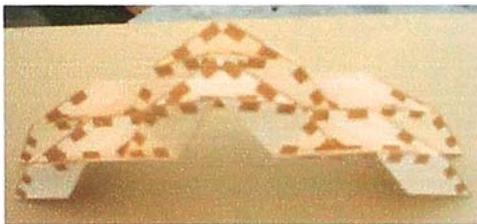
## 7. JUNTAS DE LA ESTRUCTURA

*Las juntas en los diferentes encuentros de módulos serán mediante una lona elástica, flexible e impermeable, para evitar el ingreso de la lluvia y para permitir a la estructura realizar el movimiento antes mencionado.*

## 8. POSICIONES DE LA ESTRUCTURA

*La estructura puede tomar cuatro diferentes posiciones, que pueden ser:*

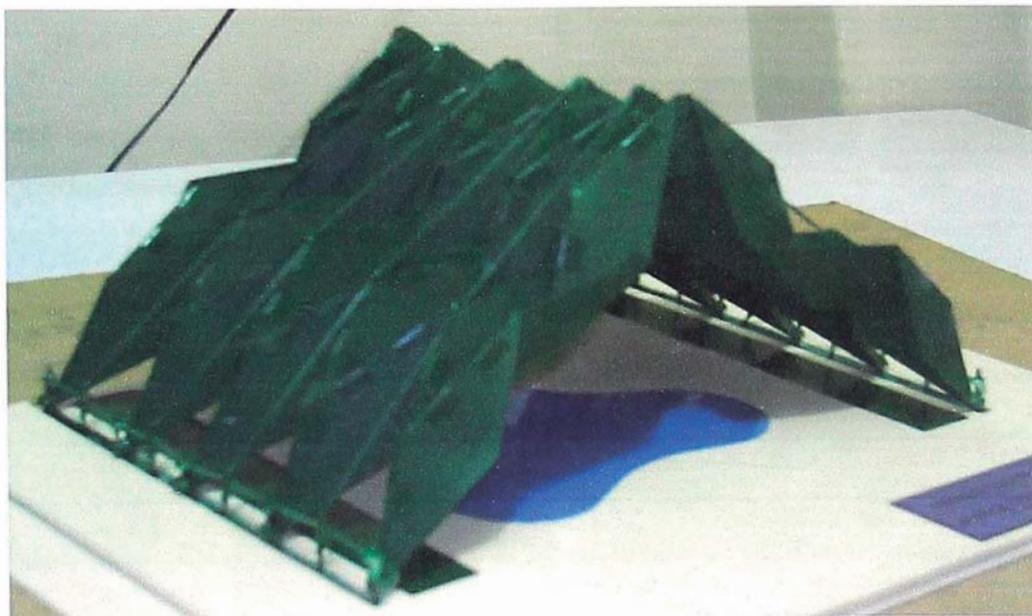
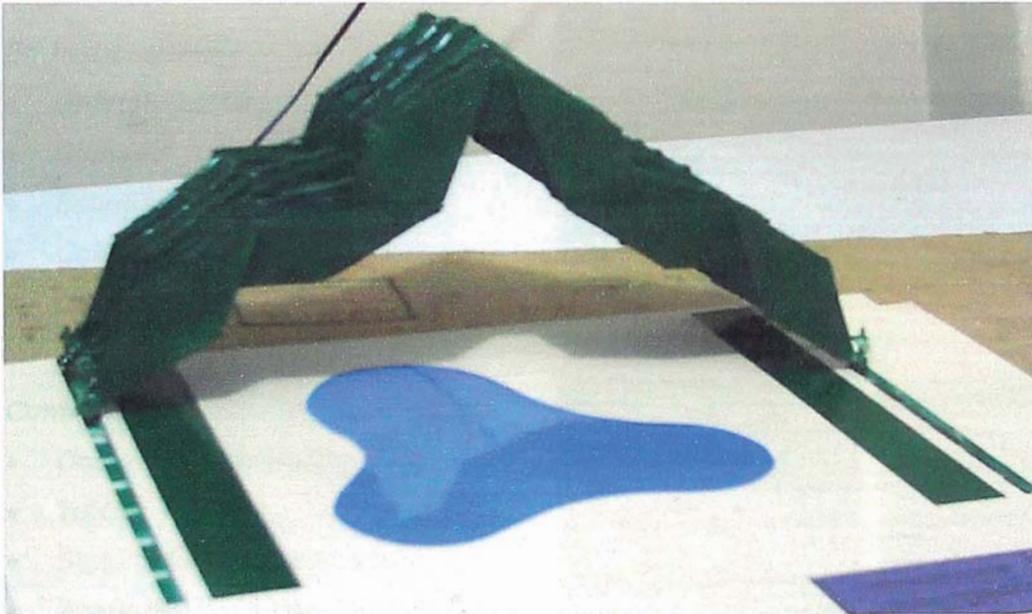
- *Horizontal con pliegues hacia fuera*
- *Horizontal con pliegues hacia dentro*
- *Vertical con pliegues hacia fuera*
- *Vertical con pliegues hacia dentro*
- *Recostado sobre el suelo o colgado en el techo*



## 9. TIPO DE MOVIMIENTO

*La estructura realiza un movimiento de plegadura paralela sobre dos ejes, que podrían ser en dos sentidos, una lineal y otra circular.*

*Esta cobertura que tiende a una forma orgánica, móvil y transformable realizará un movimiento en dos ejes paralelos mediante unos rieles bajo el suelo.*



## 10. USOS POSIBLES

Los posibles usos que puede tener la estructura son:

a) *En la Industria:*

- Almacenes
- Campamentos
- Talleres

b) *En el Comercio:*

- Ferias
- Centros Comerciales
- Lugares de Alta Concurrencia

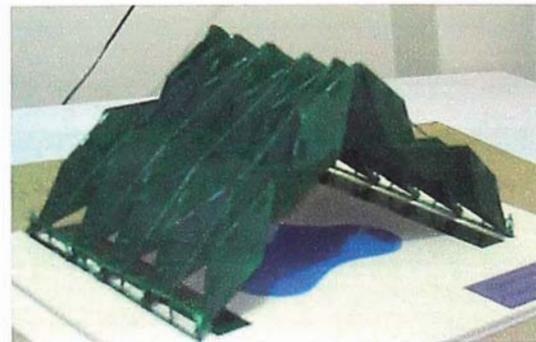
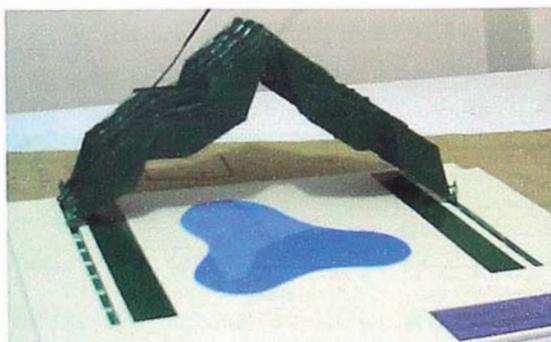
c) *En Instituciones:*

- Universidades
- Clubes
- Estadios
- Coliseos
- Colegios

d) *Como elemento:*

- Coberturas de piscinas
- Toldos
- Separadores de ambientes
- Acabados con propiedades acústicas

e) *Así como en locales particulares y residenciales.*



# VII

**CAPÍTULO VII**

**BIBLIOGRAFÍA**

**RELACIÓN DE GRÁFICOS Y PÁGINAS WEB**

**DICCIONARIO DE CONCEPTOS**

## **CAPÍTULO VII**

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. **"ARQUITECTURA ADAPTABLE"**, Seminario organizado por el Instituto de Estructuras Ligeras (IL.)  
Otto, Frei  
Editorial Gustavo Gili S.A.  
Barcelona, España 1979
2. **"DISEÑO SIMPLIFICADO DE EDIFICIOS PARA CARGAS DE VIENTO Y SISMO"**  
Ambrose, James – Vergun, Dimitry  
Editorial Limusa  
Primera Edición  
México 1986
3. **"NORMA PERUANA DE ESTRUCTURAS"**  
ACI PERÚ  
Segunda Edición  
Lima, Perú 2001-2002
4. **"DISEÑO ESTRUCTURAL PARA ARQUITECTOS"**.  
Ing. Machicao Relis, Roberto.  
Editorial Arius S.A.  
Primera Edición  
Lima, Perú Abril 1990
5. **"ESTRUCTURAS, O POR QUÉ LAS COSAS NO SE CAEN"**  
Gordon, J.E.  
Celeste Ediciones  
Madrid, España 1999
6. **"ARQUITECTURA MÓVIL"**  
Friedman, Yona  
Editorial Poseidón S. L.  
Primera Edición  
Barcelona, España 1978

7. "METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA"  
*Zavala, Abel Andrés*  
*Editorial San Marcos*  
*Lima, Perú 1997*
  
8. "DESPUÉS DEL MOVIMIENTO MODERNO, ARQUITECTURA DE LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX"  
*Montaner, Joseph María*  
*Editorial Gustavo Gili S.A.*  
*Barcelona, España 1993*
  
9. "ARQUITECTURA Y DESARROLLO URBANO"  
*Hitchcock, Henry-Russell - Buckminster Fuller, R. - Salvadori, Mario G. - Yamasaki, Minoru - Scully, Vincent J. - etc.*  
*Editorial Marymar*  
*Buenos Aires, Argentina 1975*
  
10. "LA ESTRUCTURA EN EL ARTE Y LA CIENCIA"  
*Kepes, Gyorgy*  
*Editorial Novaro S.A.*  
*México D.F., México 1970*
  
11. "GAUDÍ"  
*Constantino, María*  
*Editorial Libsa*  
*Madrid, España 1993*
  
12. "GAUDÍ, SU VIDA, SU TEORÍA, SU OBRA"  
*Martinell y Brunet, César*  
*Colegio de arquitectos de Cataluña y Baleares*  
*Barcelona, España 1967*
  
13. "GAUDÍ"  
*Bassegoda Nonell, Juan*  
*Salvat Editores S.A.*  
*Barcelona, España 1985*

14. **"ANTONIO GAUDÍ"**  
*Collins, George S.*  
*Editorial Bruguera*  
*Barcelona, España 1961*
  
15. **Manual Técnico del PRFV**  
*Owens - Corning*  
**FIBERGLASS**
  
16. **"IDEAS AND INTEGRITIES"**  
*Buckminster Fuller, Richard*  
*Macmillan Pub Co*  
*Abril 1969*
  
17. **"EL FUTURO DE LA ARQUITECTURA"**  
*Wright, Frank Lloyd*  
*Editorial Poseidón*  
*Barcelona, España 1978*
  
18. **"LA ARQUITECTURA MODERNA"**  
*Dorfles, Gillo*  
*Editorial Ariel*  
*Barcelona, España 1980*
  
19. **"THE DIMAXION WORLD OF BUCKMINSTER FULLER"**  
*Marks, Robert W.*  
*Reinhold Pub. Corp.*  
*New York, USA 1960*
  
20. **"BEYOND METABOLISM: THE NEW JAPANESE ARCHITECTURE"**  
*Ross, Michael Franklin*  
*Architectural Record Books*  
*New York, USA 1978*

21. "ARQUITECTURA Y NATURALEZA, LAS ANALOGÍAS BIOLÓGICAS EN EL DISEÑO"  
*Steadman, Philip*  
*Editorial H. Blume*  
*Primera Edición*  
*Madrid, España 1982*
  
22. "LA TEORÍA DEL FUNCIONALISMO EN LA ARQUITECTURA"  
*De Zurco, Edgard Robert*  
*Editorial Nueva Visión*  
*Buenos Aires, Argentina 1970*
  
23. "BIO-ARQUITECTURA"  
*Senosian Aguilar, Javier*  
*Editorial Limusa*  
*Primera Edición*  
*México*
  
24. "SANTIAGO CALATRAVA"  
*Podido, Philip*  
*Editorial Taschen*  
*Madrid, España 2001*
  
25. "CREATURES FROM THE MIND OF THE ENGINEER : THE ARCHITECTURE OF SANTIAGO CALATRAVA"  
*Harbison, Robert*  
*Editorial Ellipsis London*  
*Suiza 1992*
  
26. "BUILDING A NEW MILLENIUM = BAUEN IM NEVEN JAHRTAUSEND CONSTRUIRE UN NOUVEAU MILLÉNAIRE"  
*Jodido, Philip*  
*Editorial Taschen*  
*Coloni, Alemania 1999*

27. "SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"

*Alexander Tzonis*

*Editorial Universe Books*

*Italia 1997*

28. "ATLAS DE ARQUITECTURA ACTUAL"

*KÖNEMANN*

*Neue Stalling, Oldenburg*

*Alemania 2000*

**TESIS**

1. TESIS FAUA

*TG-FAUA 0153*

*"LAS ANALOGÍAS BIOLÓGICAS EN LA ARQUITECTURA DE SANTIAGO CALATRAVA"*

*Ninaquispe Romero, Liliana*

*Lima, Perú 2004*

2. TESIS FAUA

*TG-FAUA 0195*

*"SISTEMA DE ESTRUCTURAS TENSIONADAS"*

*Huauya Tomaylla, Raúl Nelson*

*Lima, Perú 1999*

3. TESIS FAUA (No se encontrón)

*TAG-FAUA 0180*

*"ESTRUCTURAS Y MOVIMIENTO"*

*Venero Monzón, Alberto*

*Lima, Perú 1975*

4. TESIS FAUA

*TAG-FAUA 0066*

*"ESTUDIO SOBRE LAS COBERTURAS MEMBRANALES"*

*Eguren, Fernando*

*Lima, Perú 1970*

5. **TESIS FAUA**

*TIS-FAUA 0043*

**"EL POLICARBONATO, ALTERNATIVA DE COBERTURA PARA LIMA"**

*De la Cruz Coz, Andrés Halmar*

*Lima, Perú 2002*

**REVISTAS**

1. *ARKINKA, Año 4, Número 38, Enero 1999*
2. *ARKINKA, Año 8, Número 92, Julio 2003*
3. *ARKINKA, Año 9, Número 103, Junio 2004*
4. *ARKINKA, Año 10, Número 117, Agosto 2005*
5. *CROQUIS EDITORIAL 1985*
6. *CROQUIS, Número 92, Mundos (tres) 1998*
7. *DOMUS, Número 858, Abril 2003*

**VIDEOS**

1. **VIDEO SOBRE SANTIAGO CALATRAVA**  
*TVE: Televisión Española*
2. **VIDEO SOBRE BUCKMINSTER FULLER**  
*Discovery Channel*
3. **VIDEO SOBRE KORYO MIURA**  
*Discovery Channel*
4. **VIDEO SOBRE CHARLES HOBERMAN**  
*Discovery Channel*
5. **VIDEO SOBRE LUIGI COLANI**  
*Discovery Channel*

6. **VIDEO SOBRE DISEÑOS DE LA NATURALEZA**  
*Discovery Channel*
  
7. **VIDEO SOBRE FRANK LLOYD WRIGHT**  
*Discovery Channel*

## RELACIÓN DE GRÁFICOS

**CARÁTULA**-[www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)

**CONTRA CARÁTULA**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"*-  
Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997

**FIGURA 1**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"*-Alexander  
Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997

**FIGURA 2**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"*-Alexander  
Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997

**FIGURA 3**-[www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)

*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"*-Alexander Tzonis-Editorial  
Universe Books-Italia 1997

[xdem.free.fr/uploaded\\_images/tenerife\\_opera\\_house\\_04-778512.jpg](http://xdem.free.fr/uploaded_images/tenerife_opera_house_04-778512.jpg)

**FIGURA 4**-DOMUS N° 858 – Abril 2003

[www.k12science.org/curriculum/dipproj2/03A/peru\\_FCS\\_medina/03-04-26\\_H20\\_Escarabajo%20Elmidae%201.jpg](http://www.k12science.org/curriculum/dipproj2/03A/peru_FCS_medina/03-04-26_H20_Escarabajo%20Elmidae%201.jpg)

**FIGURA 5**-DOMUS N° 858 – Abril 2003

[www.k12science.org/curriculum/dipproj2/03A/peru\\_FCS\\_medina/03-04-26\\_H20\\_Escarabajo%20Elmidae%201.jpg](http://www.k12science.org/curriculum/dipproj2/03A/peru_FCS_medina/03-04-26_H20_Escarabajo%20Elmidae%201.jpg)

**FIGURA 6**-[www.canadianarchitect.com/asf/principles\\_of\\_enclosure/enclosure\\_typologies/images/nervi1.gif](http://www.canadianarchitect.com/asf/principles_of_enclosure/enclosure_typologies/images/nervi1.gif)

**FIGURA 7**-[arscomica.org/nervi.html](http://arscomica.org/nervi.html)

[www.flair-twl.de/studienarbeit.htm](http://www.flair-twl.de/studienarbeit.htm)

**FIGURA 8**-*"ATLAS DE ARQUITECTURA ACTUAL"*-KÖNEMANN-Neue Stalling,  
Oldenburg-Alemania 2000

[www.arquitecturaorganica.com/inicio.html](http://www.arquitecturaorganica.com/inicio.html)

**FIGURA 9**-*"DISEÑO ESTRUCTURAL PARA ARQUITECTOS"*-Ing. Machicao Relis,  
Roberto-Editorial Arius S.A.-Primera Edición-Lima, Perú Abril 1990

**PÁGINA 23**-*"GAUDÍ"*-EDITORIAL ESCUDO DE ORO

[www.flair-twl.de/studienarbeit.htm](http://www.flair-twl.de/studienarbeit.htm)

[www.pimkey.com/~toilemet/tmag1/visit1.htm](http://www.pimkey.com/~toilemet/tmag1/visit1.htm)

*"ATLAS DE ARQUITECTURA ACTUAL"*-KÖNEMANN-Neue Stalling, Oldenburg-  
Alemania 2000

**FIGURA 10**-Revista ARKINKA – Año 9, N° 103, Junio 2004

**PÁGINA 25**-DOMUS N° 858 Abril 2003

*"ATLAS DE ARQUITECTURA ACTUAL"*-KÖNEMANN-Neue Stalling, Oldenburg-  
Alemania 2000

**FIGURA 11**-*"DISEÑO ESTRUCTURAL PARA ARQUITECTOS"*-Ing. Machicao Relis, Roberto-Editorial Arius S.A.-Primera Edición-Lima, Perú Abril 1990

**PÁGINA 27**-[www.blueponcho.com/kitchenwench/paris/](http://www.blueponcho.com/kitchenwench/paris/)

[www.designcommunity.com/scrapbook/1286.html](http://www.designcommunity.com/scrapbook/1286.html)

ARKINKA Año 4 N° 44 Julio 1999

**FIGURA 12**-[www.economist.com/cities/displayobject.cfm?obj\\_id=484763](http://www.economist.com/cities/displayobject.cfm?obj_id=484763)

**PÁGINA 29**-[www.economist.com/cities/displayobject.cfm?obj\\_id=484763](http://www.economist.com/cities/displayobject.cfm?obj_id=484763)

[www.ferienwohnung-zimmer-berlin.de/Tourismus\\_Berlin/reichstag\\_berlin.htm](http://www.ferienwohnung-zimmer-berlin.de/Tourismus_Berlin/reichstag_berlin.htm)

[www.masdearte.com/general.cfm?noticiaid=8803](http://www.masdearte.com/general.cfm?noticiaid=8803)

[www.galinsky.com/buildings/cartier/](http://www.galinsky.com/buildings/cartier/)

[www.epdlp.com/paises.php?pais=Francia](http://www.epdlp.com/paises.php?pais=Francia)

[www.masdearte.com/general.cfm?noticiaid=8803](http://www.masdearte.com/general.cfm?noticiaid=8803)

*"ATLAS DE ARQUITECTURA ACTUAL"*-KÖNEMANN-Neue Stalling, Oldenburg-Alemania 2000

**PÁGINA 30**-[www.puc.cl/.../IGLESIAS/Atlantid.html](http://www.puc.cl/.../IGLESIAS/Atlantid.html)

**PÁGINA 32**-[www.commercialrealstatenews.ca/html/first/ap...](http://www.commercialrealstatenews.ca/html/first/ap...)

[www.khoahoc.com.vn/view.asp?Cat\\_ID=17&news\\_id=2206](http://www.khoahoc.com.vn/view.asp?Cat_ID=17&news_id=2206)

[www.classic.archined.nl/](http://www.classic.archined.nl/)

[www.wam.umd.edu/.../fallingwater.html](http://www.wam.umd.edu/.../fallingwater.html)

[www.wam.umd.edu/.../fallingwater.html](http://www.wam.umd.edu/.../fallingwater.html)

**PÁGINA 34**-*"ATLAS DE ARQUITECTURA ACTUAL"*-KÖNEMANN-Neue Stalling, Oldenburg-Alemania 2000

[www.epdlp.com.html/piano3](http://www.epdlp.com.html/piano3)

**PÁGINA 36**-[www.epdlp.com/piano3.html](http://www.epdlp.com/piano3.html)

[www.epdlp.com/piano3.html](http://www.epdlp.com/piano3.html)

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

**FIGURA 13**-[www.ford.cl/outfitters/reportaje\\_58.html](http://www.ford.cl/outfitters/reportaje_58.html)

[www.aia.org/aiarchitect/thisweek04/tw1203/1203goldmedalcalatrava.htm](http://www.aia.org/aiarchitect/thisweek04/tw1203/1203goldmedalcalatrava.htm)

**PÁGINA 39**-[sub-zero.mit.edu/fbyte/projects/dome/](http://sub-zero.mit.edu/fbyte/projects/dome/)

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

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

*"ATLAS DE ARQUITECTURA ACTUAL"*-KÖNEMANN-Neue Stalling, Oldenburg-Alemania 2000

**FIGURA 14**-*"DISEÑO ESTRUCTURAL PARA ARQUITECTOS"*-Ing. Machicao Relis, Roberto-Editorial Arius S.A.-Primera Edición-Lima, Perú Abril 1990

**FIGURA 15-**"DISEÑO ESTRUCTURAL PARA ARQUITECTOS"-Ing. Machicao Relis, Roberto-Editorial Arius S.A.-Primera Edición-Lima, Perú Abril 1990

**FIGURA 16-**[www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)

**FIGURA 17-**[www.arkitera.com/gununsorusu/2001/10/01.htm](http://www.arkitera.com/gununsorusu/2001/10/01.htm)

**FIGURA 18-**"DISEÑO ESTRUCTURAL PARA ARQUITECTOS"-Ing. Machicao Relis, Roberto-Editorial Arius S.A.-Primera Edición-Lima, Perú Abril 1990

**FIGURA 19-**"DISEÑO ESTRUCTURAL PARA ARQUITECTOS"-Ing. Machicao Relis, Roberto-Editorial Arius S.A.-Primera Edición-Lima, Perú Abril 1990

**FIGURA 20-**[www.epdlp.com/piano3.html](http://www.epdlp.com/piano3.html)

**FIGURA 21-**[www.megaholidays.com.ar/200\\_inf\\_atracc/220\\_atracc/i\\_magenes/atr\\_australia/sydney/sydney\\_opera\\_house\\_sails.jpg](http://www.megaholidays.com.ar/200_inf_atracc/220_atracc/i_magenes/atr_australia/sydney/sydney_opera_house_sails.jpg)

"DISEÑO ESTRUCTURAL PARA ARQUITECTOS"-Ing. Machicao Relis, Roberto-Editorial Arius S.A.-Primera Edición-Lima, Perú Abril 1990

**PÁGINA 45-**Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**FIGURA 22-**[icarito.tercera.cl/coliseo\\_romano.htm](http://icarito.tercera.cl/coliseo_romano.htm)

[www.interactive.net.ec/travesia/roma.htm](http://www.interactive.net.ec/travesia/roma.htm)

**PÁGINA 46-**Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**FIGURA 23-**[kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html](http://kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html)

**PÁGINA 48-**Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**PÁGINA 49-**Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**FIGURA 24-**[kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html](http://kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html)

**PÁGINA 50-**Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**FIGURA 25-**[www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html)

**FIGURA 26-**[www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html)

**PÁGINA 51-**Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**PÁGINA 52**-Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**FIGURA 27**-[www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)

**FIGURA 28**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"*-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997

**PÁGINA 53**-Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**PÁGINA 54**-Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**FIGURA 29**-[www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm)

[phoenix.gov/FILMPHX/film27.html](http://phoenix.gov/FILMPHX/film27.html)

[www.jm.com/corporate/company\\_overview/static/bob.html](http://www.jm.com/corporate/company_overview/static/bob.html)

**PÁGINA 55**-Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**FIGURA 30**-[www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/techno/11\\_kai/11\\_kai.htm](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/techno/11_kai/11_kai.htm)

**FIGURA 31**-[web-japan.org/atlas/architecture/arc24.html](http://web-japan.org/atlas/architecture/arc24.html)

[files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg](http://files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg)

[www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/techno/11\\_kai/11\\_kai.htm](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/techno/11_kai/11_kai.htm)

**PÁGINA 56**-Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**PÁGINA 57**-Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**FIGURA 32**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"*-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997

**PÁGINA 58**-Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**PÁGINA 59**-Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979

**FIGURA 33**-[kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html](http://kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html)

[Takatot.geoside.com/journey/spain.html](http://Takatot.geoside.com/journey/spain.html)

**FIGURA 34**-[www.solo-fotografy.com/kuwaitpav.htm](http://www.solo-fotografy.com/kuwaitpav.htm)

"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997

**FIGURA 35**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997*

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

**PÁGINA 61**-*Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979*

**FIGURA 35A**-[editorial.cda.ulpgc.es/construccion/1\\_historia/12\\_roma\\_no/c126.htm](http://editorial.cda.ulpgc.es/construccion/1_historia/12_roma_no/c126.htm)

**FIGURA 36**-[www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm](http://www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm)

**FIGURA 37**-[www.geocities.com/micadesa/educacion/edumapas.html](http://www.geocities.com/micadesa/educacion/edumapas.html)

[www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/quint/tecnologia/sica25-6.html](http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/quint/tecnologia/sica25-6.html)

**FIGURA 38**-Discovery Channel

**FIGURA 39**-Discovery Channel

**FIGURA 40**-[www.arch.mcgill.ca/prof/mellin/arch671/winter2004/student/Monroe/Assignment3/assign3E.html](http://www.arch.mcgill.ca/prof/mellin/arch671/winter2004/student/Monroe/Assignment3/assign3E.html)

**FIGURA 41**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997*

**FIGURA 42**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997*

**FIGURA 43**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997*

**FIGURA 44**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997*

**FIGURA 45**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997*

**FIGURA 46**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997*

**FIGURA 47**-*"SANTIAGO CALATRAVA: THE POETICS OF MOVEMENT"-Alexander Tzonis-Editorial Universe Books-Italia 1997*

**FIGURA 48**-[expo92.blogspot.com/2006/03/pabelln-de-kuwait.html](http://expo92.blogspot.com/2006/03/pabelln-de-kuwait.html)

**FIGURA 49**-[www.epdlp.com/arquitecto.php?id=29](http://www.epdlp.com/arquitecto.php?id=29)

**FIGURA 50**-[skyscrapercity.com/showthread.php?t=157119](http://skyscrapercity.com/showthread.php?t=157119)

**FIGURA 51-**[www.arq.com.mx/noticias/Detalles/8221.html](http://www.arq.com.mx/noticias/Detalles/8221.html)

[skyscrapercity.com/showthread.php?t=157119](http://skyscrapercity.com/showthread.php?t=157119)

**FIGURA 52-**[forums.cjb.net/mayor-about1813.htmlt=157119](http://forums.cjb.net/mayor-about1813.htmlt=157119)

**FIGURA 53-**[www.calatrava.info/viewWork.asp?id=31](http://www.calatrava.info/viewWork.asp?id=31)

**FIGURA 54-**[www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html)

**FIGURA 55-**[www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html)

**FIGURA 56-**[en.wikipedia.org/wiki/Reliant\\_Stadium](http://en.wikipedia.org/wiki/Reliant_Stadium)

**FIGURA 57-**[www.chron.com/content/chronicle/special/02/reliant/index.html](http://www.chron.com/content/chronicle/special/02/reliant/index.html)

**FIGURA 58-**[www.chron.com/content/chronicle/special/02/reliant/index.html](http://www.chron.com/content/chronicle/special/02/reliant/index.html)

**FIGURA 59-**[www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm)  
[phoenix.gov/FILMPHX/film27.html](http://phoenix.gov/FILMPHX/film27.html)

**FIGURA 60-**[www.jm.com/corporate/company\\_overview/static/bob.html](http://www.jm.com/corporate/company_overview/static/bob.html)

**FIGURA 61-**[www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky2\\_dome.html](http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky2_dome.html)

**FIGURA 62-**[www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky2\\_dome.html](http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky2_dome.html)

**FIGURA 63-**[www.adamandlyn.co.uk/country/tto\\_cn\\_skydome.shtml](http://www.adamandlyn.co.uk/country/tto_cn_skydome.shtml)

**FIGURA 64-**[www.ballparks.com/baseball/american/seabpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/american/seabpk.htm)

**FIGURA 65-**[www.epinions.com/sprt-review-5DA2-294A3F70-3A03C1B1-prod3](http://www.epinions.com/sprt-review-5DA2-294A3F70-3A03C1B1-prod3)

**FIGURA 66-**[www.worldstadiums.com/stadium\\_pictures/north\\_america/united\\_states/texas/houston\\_minute\\_maid.shtml](http://www.worldstadiums.com/stadium_pictures/north_america/united_states/texas/houston_minute_maid.shtml)

**FIGURA 67-**[remote.rexross.com/HPDHelicopter/28.jpg](http://remote.rexross.com/HPDHelicopter/28.jpg)  
[www.worldstadiums.com/stadium\\_pictures/north\\_america/united\\_states/texas/houston\\_minute\\_maid.shtml](http://www.worldstadiums.com/stadium_pictures/north_america/united_states/texas/houston_minute_maid.shtml)

**FIGURA 68-**[www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html)  
[www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/majorworks\\_e/topics/2001/win/01-2.html](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/majorworks_e/topics/2001/win/01-2.html)

**FIGURA 69-**[www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html)

**FIGURA 70-**[www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html)

**FIGURA 71-**[www.playballx.com/yakyu/park/NPB-park002.htm](http://www.playballx.com/yakyu/park/NPB-park002.htm)  
[files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg](http://files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg)

**FIGURA 72-**[annaoginga.blog.is/blog/annaoginga/](http://annaoginga.blog.is/blog/annaoginga/)  
[www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/techno/11\\_kai/11\\_kai.htm](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/techno/11_kai/11_kai.htm)

**FIGURA 73-**[www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/techno/11\\_kai/11\\_kai.htm](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/techno/11_kai/11_kai.htm)

**FIGURA 74-**[www.sportsvenue-technology.com/projects/cardiff](http://www.sportsvenue-technology.com/projects/cardiff)

**FIGURA 75**-[www.sportsvenue-technology.com/projects/cardiff/](http://www.sportsvenue-technology.com/projects/cardiff/)

**FIGURA 76**-[www.stadiumguide.com/millennium.htm](http://www.stadiumguide.com/millennium.htm)

**PÁGINA 94**-FOTOS Y GRÁFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 77**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 78**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 79**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 80**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 81**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**PÁGINA 99**-[www.marenostrum.org](http://www.marenostrum.org)

FOTOS Y GRÁFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

[es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glas\\_fibre.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glas_fibre.jpg)

**FIGURA 82**-FOTOS Y GRÁFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 83**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

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

**FIGURA 84**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 85**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 86**-[es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glas\\_fibre.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glas_fibre.jpg)

FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**PÁGINA 103**-FOTOS Y GRÁFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**PÁGINA 104**-FOTOS Y GRÁFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

[es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glas\\_fibre.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glas_fibre.jpg)

**FIGURA 87**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 88**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 89**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 90**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 91**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 92**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 93**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 94**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 95**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**FIGURA 96**-*Cubiertas transformables y Construcciones Adaptables de Friedemann Kugel del Seminario del Instituto de Estructuras Ligeras (IL). Arquitectura Adaptable de Frei Otto. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979*

**PÁGINA 116**-GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN (Fuente: "Diseño simplificado de edificios para cargas de vientos y sismos"; James Ambrose-Dimitry Vergun; Ed. Limusa Primera Edición 1986, México)

**PÁGINA 117**-GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN (Fuente: "Diseño simplificado de edificios para cargas de vientos y sismos"; James Ambrose-Dimitry Vergun; Ed. Limusa Primera Edición 1986, México)

**PÁGINA 118**-GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN (Fuente: "Diseño simplificado de edificios para cargas de vientos y sismos"; James Ambrose-Dimitry Vergun; Ed. Limusa Primera Edición 1986, México)

**PÁGINA 119**-GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN (Fuente: "Diseño simplificado de edificios para cargas de vientos y sismos"; James Ambrose-Dimitry Vergun; Ed. Limusa Primera Edición 1986, México)

**PÁGINA 120**-GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN (Fuente: "Diseño simplificado de edificios para cargas de vientos y sismos"; James Ambrose-Dimitry Vergun; Ed. Limusa Primera Edición 1986, México)

**PÁGINA 121**-GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN (Fuente: "Diseño simplificado de edificios para cargas de vientos y sismos"; James Ambrose-Dimitry Vergun; Ed. Limusa Primera Edición 1986, México)

**PÁGINA 122**-GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN (Fuente: "Diseño simplificado de edificios para cargas de vientos y sismos"; James Ambrose-Dimitry Vergun; Ed. Limusa Primera Edición 1986, México)

**PÁGINA 124**-GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN (Fuente: "Diseño simplificado de edificios para cargas de vientos y sismos"; James Ambrose-Dimitry Vergun; Ed. Limusa Primera Edición 1986, México)

**PÁGINA 125**-GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN (Fuente: "Diseño simplificado de edificios para cargas de vientos y sismos"; James Ambrose-Dimitry Vergun; Ed. Limusa Primera Edición 1986, México)

**PÁGINA 127**-GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN (Fuente: "Diseño simplificado de edificios para cargas de vientos y sismos"; James Ambrose-Dimitry Vergun; Ed. Limusa Primera Edición 1986, México)

**PÁGINA 133**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**PÁGINA 134**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**PÁGINA 135**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**PÁGINA 136**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

**PÁGINA 137**-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN

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

**GRÁFICO 1**-Manual Técnico del PRFV-Owens/Corning-FIBERGLASS

**TABLA 1**-Manual Técnico del PRFV-Owens/Corning-FIBERGLASS

**GRÁFICO 2**-Manual Técnico del PRFV-Owens/Corning-FIBERGLASS

**GRÁFICO 3**-Manual Técnico del PRFV-Owens/Corning-FIBERGLASS

**TABLA 2-Manual Técnico del PRFV-Owens/Corning-FIBERGLASS**

**PÁGINA 144-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN**

**PÁGINA 145-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN**

**PÁGINA 146-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN**

**PÁGINA 147-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN**

**PÁGINA 148-FOTOS Y GRAFICOS-JUAN CARLOS CHINEN SONAN**

**PÁGINAS WEB**

1. [www.calatrava.com](http://www.calatrava.com)
2. [xdem.free.fr/uploaded\\_images/tenerife\\_opera\\_house\\_04-778512.jpg](http://xdem.free.fr/uploaded_images/tenerife_opera_house_04-778512.jpg)
3. [www.k12science.org/curriculum/dipproj2/03A/peru\\_FCS\\_medina/03-04-26\\_H20\\_Escarabajo%20Elmidae%201.jpg](http://www.k12science.org/curriculum/dipproj2/03A/peru_FCS_medina/03-04-26_H20_Escarabajo%20Elmidae%201.jpg)
4. [www.canadianarchitect.com/asf/principles\\_of\\_enclosure/enclosure\\_typologies/images/nervi1.gif](http://www.canadianarchitect.com/asf/principles_of_enclosure/enclosure_typologies/images/nervi1.gif)
5. [www.flair-twl.de/studienarbeit.htm](http://www.flair-twl.de/studienarbeit.htm)
6. [www.arquitecturaorganica.com/inicio.html](http://www.arquitecturaorganica.com/inicio.html)
7. [www.pimkey.com/~toilemet/tmag1/visit1.htm](http://www.pimkey.com/~toilemet/tmag1/visit1.htm)
8. [www.blueponcho.com/kitchenwench/paris/](http://www.blueponcho.com/kitchenwench/paris/)
9. [www.designcommunity.com/scrapbook/1286.html](http://www.designcommunity.com/scrapbook/1286.html)
10. [www.economist.com/cities/displayobject.cfm?obj\\_id=484763](http://www.economist.com/cities/displayobject.cfm?obj_id=484763)
11. [www.ferienwohnung-zimmerberlin.de/Tourismus\\_Berlin/reichstag\\_berlin.htm](http://www.ferienwohnung-zimmerberlin.de/Tourismus_Berlin/reichstag_berlin.htm)
12. [www.masdearte.com/general.cfm?noticiaid=8803](http://www.masdearte.com/general.cfm?noticiaid=8803)
13. [www.galinsky.com/buildings/cartier/](http://www.galinsky.com/buildings/cartier/)
14. [www.epdlp.com/paises.php?pais=Francia](http://www.epdlp.com/paises.php?pais=Francia)
15. [www.puc.cl/.../IGLESIAS/Atlantid.html](http://www.puc.cl/.../IGLESIAS/Atlantid.html)
16. [www.commercialrealstatenews.ca/html/first/ap...](http://www.commercialrealstatenews.ca/html/first/ap...)
17. [www.khoahoc.com.vn/view.asp?Cat\\_ID=17&news\\_id=2206](http://www.khoahoc.com.vn/view.asp?Cat_ID=17&news_id=2206)
18. [www.classic.archined.nl/](http://www.classic.archined.nl/)
19. [www.wam.umd.edu/.../fallingwater.html](http://www.wam.umd.edu/.../fallingwater.html)
20. [www.ford.cl/outfitters/reportaje\\_58.html](http://www.ford.cl/outfitters/reportaje_58.html)
21. [www.aia.org/aiarchitect/thisweek04/tw1203/1203goldmedalcalatrava.htm](http://www.aia.org/aiarchitect/thisweek04/tw1203/1203goldmedalcalatrava.htm)
22. [sub-zero.mit.edu/fbyte/projects/dome/](http://sub-zero.mit.edu/fbyte/projects/dome/)
23. [www.nadir.org](http://www.nadir.org)
24. [www.arkitera.com/gununsorusu/2001/10/01.htm](http://www.arkitera.com/gununsorusu/2001/10/01.htm)
25. [www.megaholidays.com.ar/200\\_inf\\_atracc/220\\_atracc/imagenes/atr\\_australia/sydney/sydney\\_opera\\_house\\_sails.jpg](http://www.megaholidays.com.ar/200_inf_atracc/220_atracc/imagenes/atr_australia/sydney/sydney_opera_house_sails.jpg)
26. [icarito.tercera.cl/coliseo\\_romano.htm](http://icarito.tercera.cl/coliseo_romano.htm)

27. [www.interactive.net.ec/travesia/roma.htm](http://www.interactive.net.ec/travesia/roma.htm)
28. [kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html](http://kdg.mit.edu/Matriz/matriz.html)
29. [www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/toyota.html)
30. [www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm)
31. [phoenix.gov/FILMPHX/film27.html](http://phoenix.gov/FILMPHX/film27.html)
32. [www.jm.com/corporate/company\\_overview/static/bob.html](http://www.jm.com/corporate/company_overview/static/bob.html)
33. [www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/techno/11\\_kai/11\\_kai.htm](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/techno/11_kai/11_kai.htm)
34. [web-japan.org/atlas/architecture/arc24.html](http://web-japan.org/atlas/architecture/arc24.html)
35. [files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg](http://files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg)
36. [www.solo-photografy.com/kuwaitpav.htm](http://www.solo-photografy.com/kuwaitpav.htm)
37. [editorial.cda.ulpgc.es/construccion/1\\_historia/12\\_romano/c126.htm](http://editorial.cda.ulpgc.es/construccion/1_historia/12_romano/c126.htm)
38. [www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm](http://www.netverk.com.ar/~halgall/origami1.htm)
39. [www.geocities.com/micadesa/educacion/edumapas.html](http://www.geocities.com/micadesa/educacion/edumapas.html)
40. [www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/quint/tecnologia/sica25-6.html](http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/quint/tecnologia/sica25-6.html)
41. [www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/quint/tecnologia/sica25-6.html](http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/quint/tecnologia/sica25-6.html)
42. [www.arch.mcgill.ca/prof/mellin/arch671/winter2004/student/Monroe/Assignment3/assign3E.html](http://www.arch.mcgill.ca/prof/mellin/arch671/winter2004/student/Monroe/Assignment3/assign3E.html)
43. [expo92.blogspot.com/2006/03/pabelln-de-kuwait.html](http://expo92.blogspot.com/2006/03/pabelln-de-kuwait.html)
44. [skyscrapercity.com/showthread.php?t=157119](http://skyscrapercity.com/showthread.php?t=157119)
45. [www.arq.com.mx/noticias/Detalles/8221.html](http://www.arq.com.mx/noticias/Detalles/8221.html)
46. [forums.cjb.net/mayor-about1813.htmlt=157119](http://forums.cjb.net/mayor-about1813.htmlt=157119)
47. [www.calatrava.info/viewWork.asp?id=31](http://www.calatrava.info/viewWork.asp?id=31)
48. [en.wikipedia.org/wiki/Reliant\\_Stadium](http://en.wikipedia.org/wiki/Reliant_Stadium)
49. [www.chron.com/content/chronicle/special/02/reliant/index.html](http://www.chron.com/content/chronicle/special/02/reliant/index.html)
50. [www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm)
51. [www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky2\\_dome.html](http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky2_dome.html)
52. [www.adamandlyn.co.uk/country/tto\\_cn\\_skydome.shtml](http://www.adamandlyn.co.uk/country/tto_cn_skydome.shtml)
53. [www.epinions.com/sprt-review-5DA2-294A3F70-3A03C1B1-prod3](http://www.epinions.com/sprt-review-5DA2-294A3F70-3A03C1B1-prod3)
54. [www.worldstadiums.com/stadium\\_pictures/north\\_america/united\\_states/texas/houston\\_minute\\_maid.shtml](http://www.worldstadiums.com/stadium_pictures/north_america/united_states/texas/houston_minute_maid.shtml)
55. [remote.rexross.com/HPDHelicopter/28.jpg](http://remote.rexross.com/HPDHelicopter/28.jpg)
56. [www.playballx.com/yakyu/park/NPB-park002.htm](http://www.playballx.com/yakyu/park/NPB-park002.htm)
57. [files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg](http://files.splinder.com/80508cf58731f86db80e22f3dbeb02f0.jpeg)
58. [annaoginga.blog.is/blog/annaoginga/](http://annaoginga.blog.is/blog/annaoginga/)
59. [www.sportsvenue-technology.com/projects/cardiff](http://www.sportsvenue-technology.com/projects/cardiff)
60. [www.stadiumguide.com/millenium.htm](http://www.stadiumguide.com/millenium.htm)
61. [es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glas\\_fibre.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Glas_fibre.jpg)

62. [fperezgaldos.iespana.es/fperezgaldos/ciudad%20de%20las%20artes%20y%20Olas%20ciencias.htm](http://fperezgaldos.iespana.es/fperezgaldos/ciudad%20de%20las%20artes%20y%20Olas%20ciencias.htm)
63. [www.arquitectura.com/arquitectura/inter/perfiles/calatrava/calatrava.asp](http://www.arquitectura.com/arquitectura/inter/perfiles/calatrava/calatrava.asp)
64. [www.arq.com.mx/noticias/Detalles/8221.html](http://www.arq.com.mx/noticias/Detalles/8221.html)
65. [www.lighting.philips.com/es\\_es/project/sport\\_area/olympic\\_velodrome\\_athens.php?main=es\\_es&parent=1&id=es\\_es\\_project&lang=es](http://www.lighting.philips.com/es_es/project/sport_area/olympic_velodrome_athens.php?main=es_es&parent=1&id=es_es_project&lang=es)
66. [www.floornature.biz/articoli/articolo.php/id417/sez3/es-Laura Della Badia](http://www.floornature.biz/articoli/articolo.php/id417/sez3/es-Laura Della Badia)
67. [www.c-b.com/information%20center/program%20management/ic.asp?tID=11&pID=72](http://www.c-b.com/information%20center/program%20management/ic.asp?tID=11&pID=72)
68. [www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/national/bk1bpk.htm)
69. [www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky.html](http://www.pbs.org/wgbh/buildingbig/wonder/structure/sky.html)
70. [www.ballparks.com/baseball/american/seabpk.htm](http://www.ballparks.com/baseball/american/seabpk.htm)
71. [www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html](http://www.wldcup.com/Asia/stadia/oita.html)
72. [web-japan.org/atlas/architecture/arc24.html](http://web-japan.org/atlas/architecture/arc24.html)
73. [www.bigcardiff.co.uk/articles.php?article\\_id=50](http://www.bigcardiff.co.uk/articles.php?article_id=50)

## **INFORME**

### **ÍNDICE**

#### **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

- A. INTRODUCCIÓN**
- B. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**
- C. MOTIVACIÓN**
- D. OBJETIVOS GENERALES**
- E. OBJETIVO ESPECÍFICO**
- F. MARCO TEÓRICO**
  - 1. CONCEPTOS DE ARQUITECTURA ADAPTABLE**
  - 2. CONCEPTOS DE ORGANICIDAD**
  - 3. CONCEPTOS ESTRUCTURALES**
  - 4. CONCEPTOS CINÉTICOS**
- G. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**
- H. ALCANCES Y LIMITACIONES**
- I. ESTADO DE LA CUESTIÓN Y METAS**
- J. METODOLOGÍA DEL PLAN DE TRABAJO DE LA INVESTIGACIÓN**
- K. HIPÓTESIS**

#### **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

- 1. CONCEPTOS DE ARQUITECTURA ADAPTABLE**
  - 1.1. ARQUITECTURA ADAPTABLE (Ewald Bubner)**
  - 1.2. CONSTRUCCIONES ADAPTABLES (Rudolf Wienands)**
  - 1.3. CONSTRUCCIONES ADAPTABLES (Dieter Blümel)**
- 2. CONCEPTOS DE ORGANICIDAD: COMPARACIÓN CON LOS ELEMENTOS DE LA NATURALEZA**
  - 2.1. ARQUITECTURA ORGÁNICA**
  - 2.2. COMPARACIÓN BIOLÓGICA CON ESTRUCTURAS ANIMALES**
  - 2.3. COMPARACIÓN DE EDIFICIOS ORGÁNICOS CON ESTRUCTURA VEGETAL**
- 3. CONCEPTOS ESTRUCTURALES**
  - 3.1. PRINCIPIOS ESTRUCTURALES**
    - 3.1.1. La escala estructural**
    - 3.1.2. La relación forma – estructura**
    - 3.1.3. La relación esfuerzo – forma**
    - 3.1.4. La trama estructural**
    - 3.1.5. Proceso de crecimiento estructural equilibrado**

- 3.1.6. *La simbiosis estructural*
- 3.2. **ANÁLISIS DE LA RELACIÓN: FUNCIÓN, MATERIA, FUERZA, FORMA Y ESPACIO**
  - 3.2.1. *Fuerzas exteriores*
  - 3.2.2. *Fuerzas interiores*
- 3.3. **INTER-RELACIÓN ENTRE LA FUERZA, FORMA Y FUNCIÓN**
- 3.4. **ANÁLISIS Y CONTRASTE DE HIPÓTESIS DE LA MORFOLOGÍA ESTRUCTURAL**
  - 3.4.1. *Génesis*
  - 3.4.2. *Metamorfosis*
  - 3.4.3. *Sistemática*
  - 3.4.4. *Permutaciones*
- 4. **CONCEPTO CINÉTICO**
  - 4.1. **MEMBRANA SOPORTANDO UNA ESTRUCTURA PORTANTE FIJA**
    - 4.1.1. *Recoger*
    - 4.1.2. *Enrollar*
  - 4.2. **MEMBRANAS, ESTRUCTURAS PORTANTES MÓVILES**
    - 4.2.1. *Deslizamiento*
    - 4.2.2. *Plegamiento*
    - 4.2.3. *Rotación.*
  - 4.3. **CONSTRUCCIONES RÍGIDAS**
    - 4.3.1. *Deslizamiento*
    - 4.3.2. *Plegamiento*
    - 4.3.3. *Rotación*

### **CAPITULO III: ANTECEDENTES: EL ORIGAMI Y LAS ESTRUCTURAS RETRÁCTILES EN EL MUNDO**

- 1. **ANTECEDENTES HISTÓRICOS**
- 2. **ANTECEDENTES PRÁCTICOS**
- 3. **PROYECTOS INTERNACIONALES**

### **CAPITULO IV: COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL-CRITERIO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO**

- 1. **CONCLUSIONES DE LOS CRITERIO DE ADAPTABILIDAD**
  - 1.1. **CONFORMABILIDAD O FLEXIBILIDAD**
  - 1.2. **AMPLITUD, VERSATILIDAD O VARIABILIDAD**
  - 1.3. **MOVILIDAD**
  - 1.4. **FABRICACIÓN O ECONOMÍA**
  - 1.5. **PLANIFICACIÓN DE PERIODO ÚTIL**

2. *CONCLUSIONES DE LOS CRITERIO ORGÁNICOS*
  - 2.1. *FORMA*
  - 2.2. *FUNCIÓN*
  - 2.3. *ENTORNO*
  - 2.4. *MATERIAL*
3. *CRITERIO ESTRUCTURAL*
  - 3.1. *EFICIENCIA ESTRUCTURAL*
  - 3.2. *ESTABILIDAD*
  - 3.3. *ESPACIALIDAD*
  - 3.4. *MODULACIÓN*
  - 3.5. *VERSATILIDAD*
  - 3.6. *BAJO PESO*
  - 3.7. *ECONÓMICO*
4. *CRITERIO CINÉTICO*
5. *CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS*

#### *CAPÍTULO V: COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL-CRITERIO DE DISEÑO PARA VIENTOS Y SISMOS*

1. *CRITERIOS BÁSICOS*
  - 1.1. *EFFECTOS DE SISMO*
  - 1.2. *EFFECTOS DE VIENTOS*
    - 1.2.1. *EFFECTOS GENERALES DEL VIENTO*
      - 1.2.1.1. *EFFECTOS PRINCIPALES*
      - 1.2.1.2. *EFFECTOS SECUNDARIOS*
    - 1.2.2. *CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVOS ANTE LOS EFFECTOS DEL VIENTO*
    - 1.2.3. *CRITERIOS ESTRUCTURALES ANTE LOS EFFECTOS DEL VIENTO*
2. *CÁLCULO DE LAS TENSIONES EN LA ESTRUCTURA*
  - 2.1. *VELOCIDAD DE DISEÑO DEL VIENTO*
  - 2.2. *CARGA EXTERIOR DEL VIENTO*
  - 2.3. *TENSIONES POR LA FUERZA DEL VIENTO*
  - 2.4. *FACTOR DE SEGURIDAD*
  - 2.5. *ESFUERZO ADMISIBLE*
3. *CONCLUSIONES*
4. *CONCLUSIONES GENERALES*

## **CAPÍTULO VI: COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL-DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

- 1. *PROTOTIPOS***
- 2. *FORMA ORGÁNICA***
- 3. *LUCES DE LA ESTRUCTURA***
- 4. *DISEÑO DE LOS MÓDULOS***
- 5. *MATERIALES***
  - 5.1. *FIBRA DE VIDRIO***
    - 5.1.1. *Fibras de Vidrio***
    - 5.1.2. *Resinas***
    - 5.1.3. *Gel Coat***
    - 5.1.4. *Velo de Superficie***
    - 5.1.5. *Propiedades de la Fibra de Vidrio***
      - 5.1.5.1. *Mecánica del Esfuerzo***
      - 5.1.5.2. *Obtención del Espesor***
      - 5.1.5.3. *Propiedades Físicas y Mecánicas***
  - 5.2. *BARRAS DE ACERO***
  - 5.3. *PANTÓGRAFO***
  - 5.4. *RIELES***
  - 5.5. *LONA ELÁSTICA, FLEXIBLE E IMPERMEABLE.***
- 6. *UNIONES***
- 7. *JUNTAS DE LA ESTRUCTURA***
- 8. *POSICIONES DE LA ESTRUCTURA***
- 9. *TIPO DE MOVIMIENTO***
- 10. *USOS POSIBLES***

## **CAPÍTULO VII**

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **TESIS**

#### **REVISTAS**

#### **VIDEOS**

#### **RELACIÓN DE GRÁFICOS**

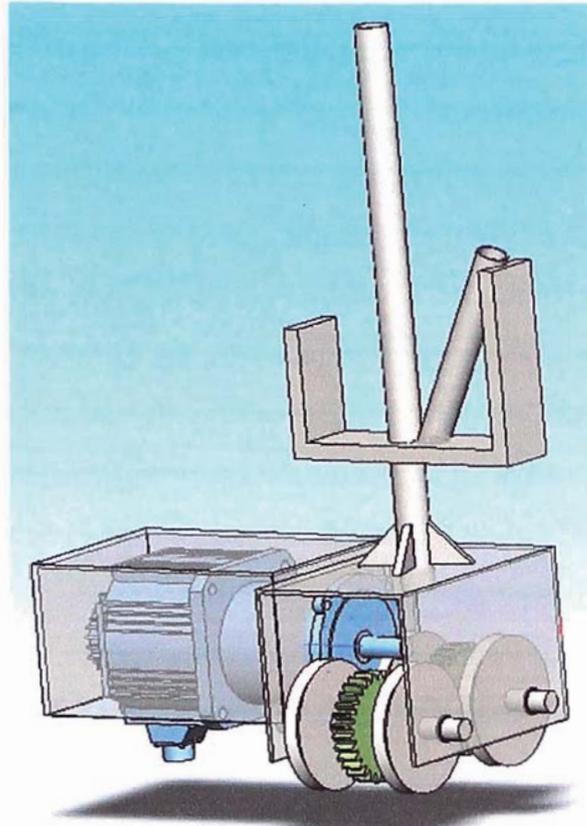
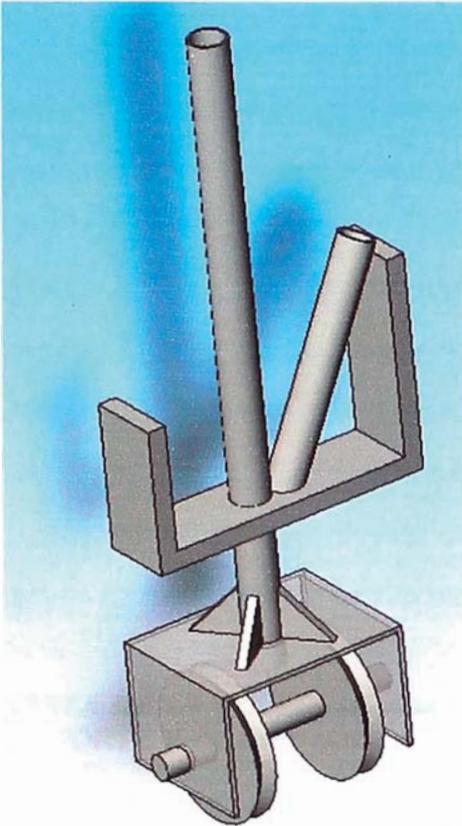
#### **PÁGINAS WEB**

# VIII

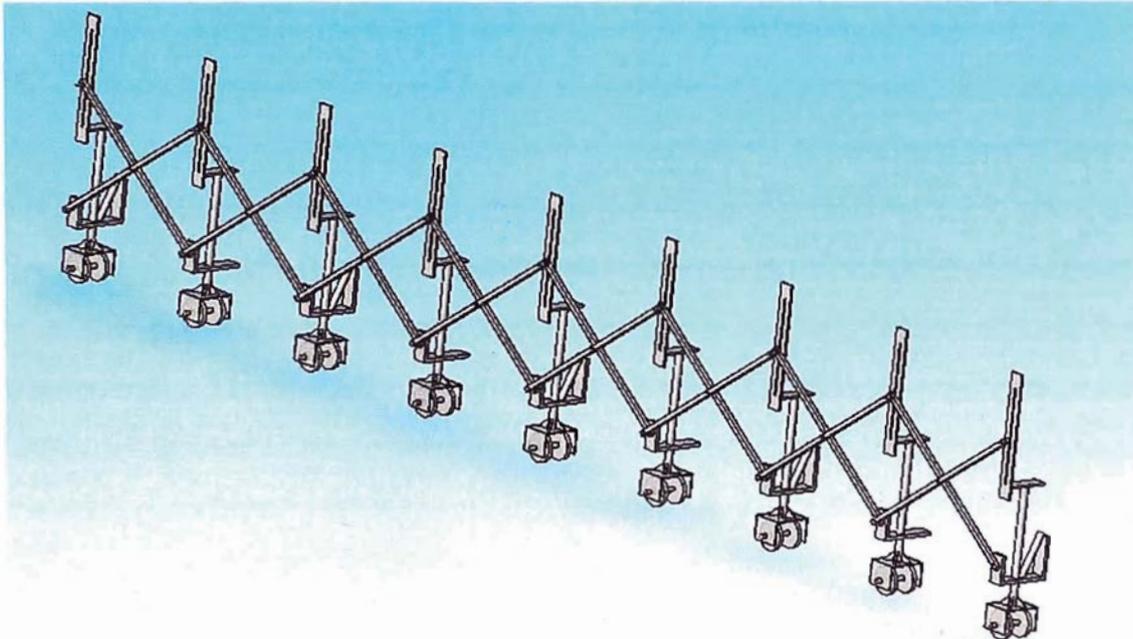
## CAPÍTULO VIII

## ANEXOS - PLANOS

**VISTA DE LA PIEZA DE SOPORTE (IZQUIERDA) Y PRIMERA PIEZA DE SOPORTE (DERECHA)<sup>44</sup>**



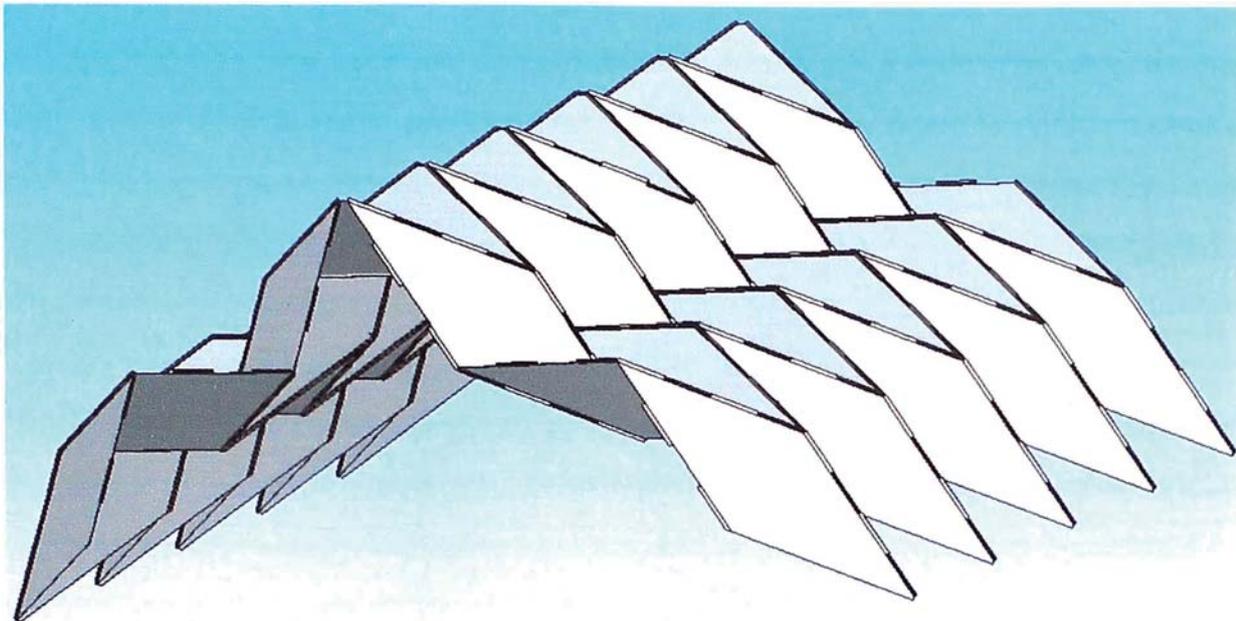
**VISTA DEL CONJUNTO DE PIEZAS DE SOPORTE, RUEDAS Y PANTÓGRAFO<sup>45</sup>**



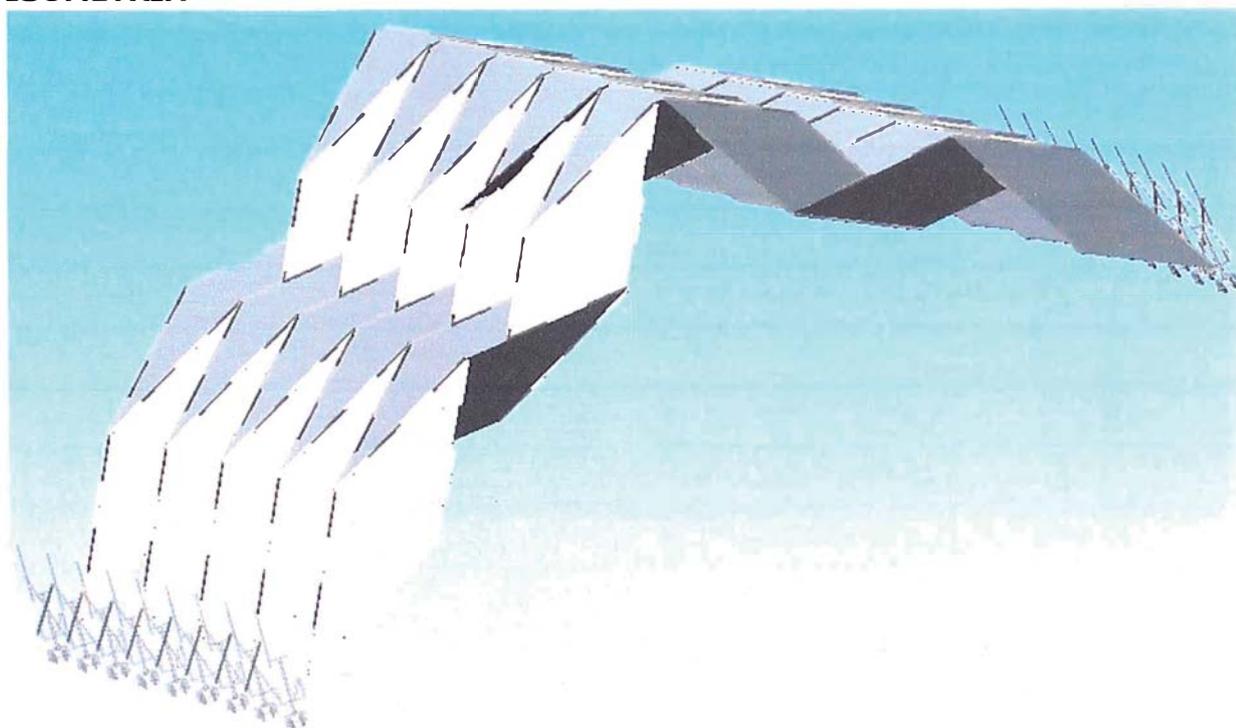
<sup>44</sup> Todos estos cálculos gráficos se han realizado con el programa Solid Works 2006

<sup>45</sup> Idem.

**VISTA DE LA COBERTURA DE FIBRA DE VIDRIO<sup>46</sup>  
ISOMETRÍA**



**VISTA DE LA COBERTURA DE FIBRA DE VIDRIO UNIDA A LAS PIEZAS DE  
SOPORTE Y AL PANTÓGRAFO<sup>47</sup>  
ISOMETRÍA**

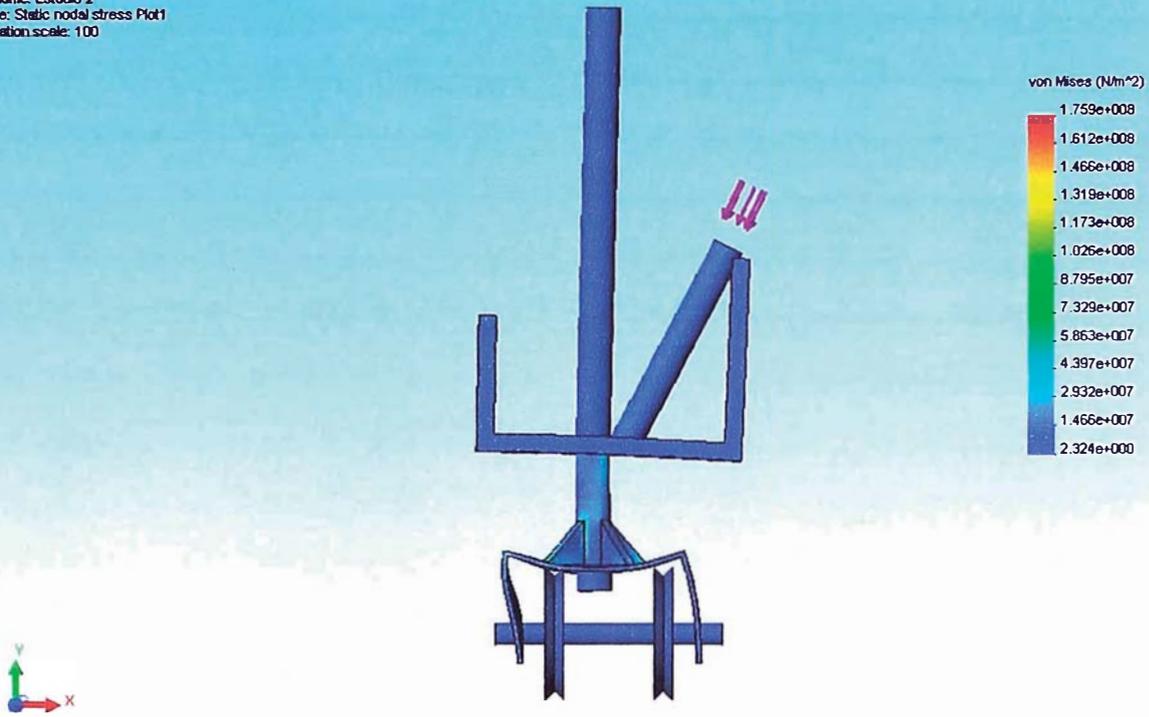


<sup>46</sup> Todos estos cálculos gráficos se han realizado con el programa Solid Works 2006

<sup>47</sup> Idem.

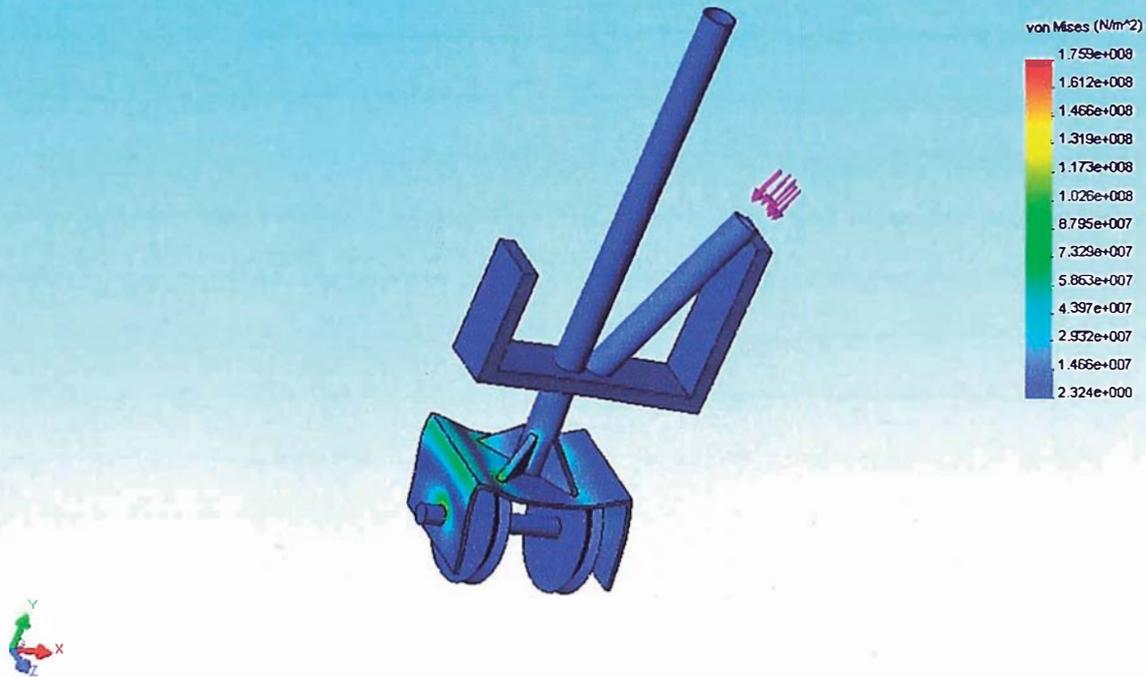
### CÁLCULO GRÁFICO DE LA DEFORMACIÓN POR TENSIÓN<sup>48</sup>

Model name: soporte  
Study name: Estudio 2  
Plot type: Static nodal stress Plot1  
Deformation scale: 100



**VISTA FRONTAL**

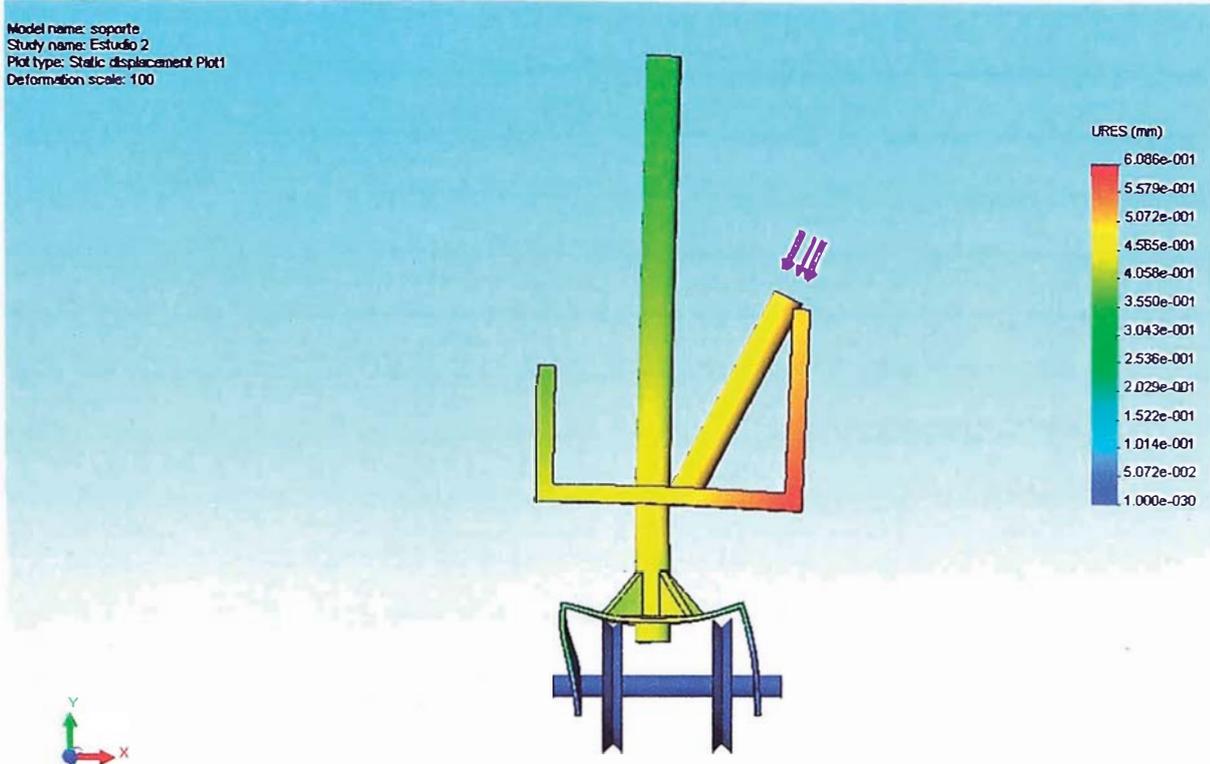
Model name: soporte  
Study name: Estudio 2  
Plot type: Static nodal stress Plot1  
Deformation scale: 100



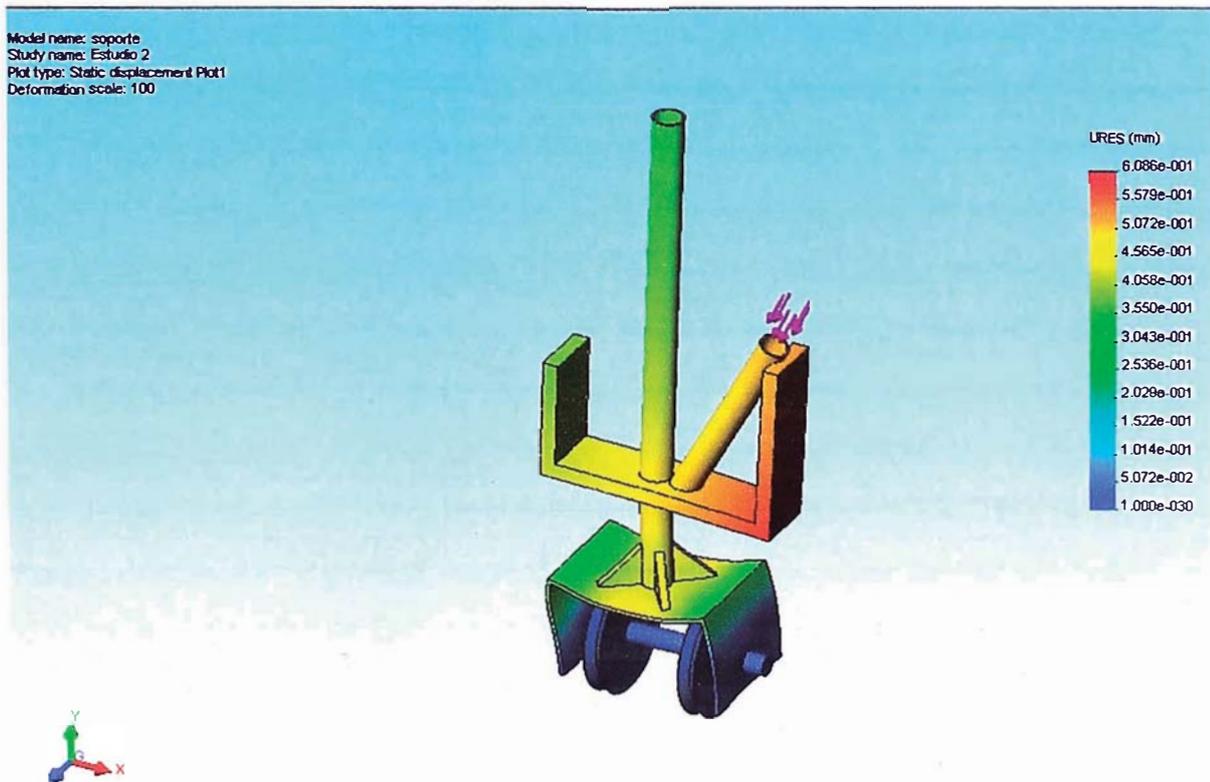
**VISTA ISOMÉTRICA**

<sup>48</sup> Todos estos cálculos gráficos se han realizado con el programa Solid Works 2006

### CÁLCULO GRÁFICO DEL DESPLAZAMIENTO<sup>49</sup>



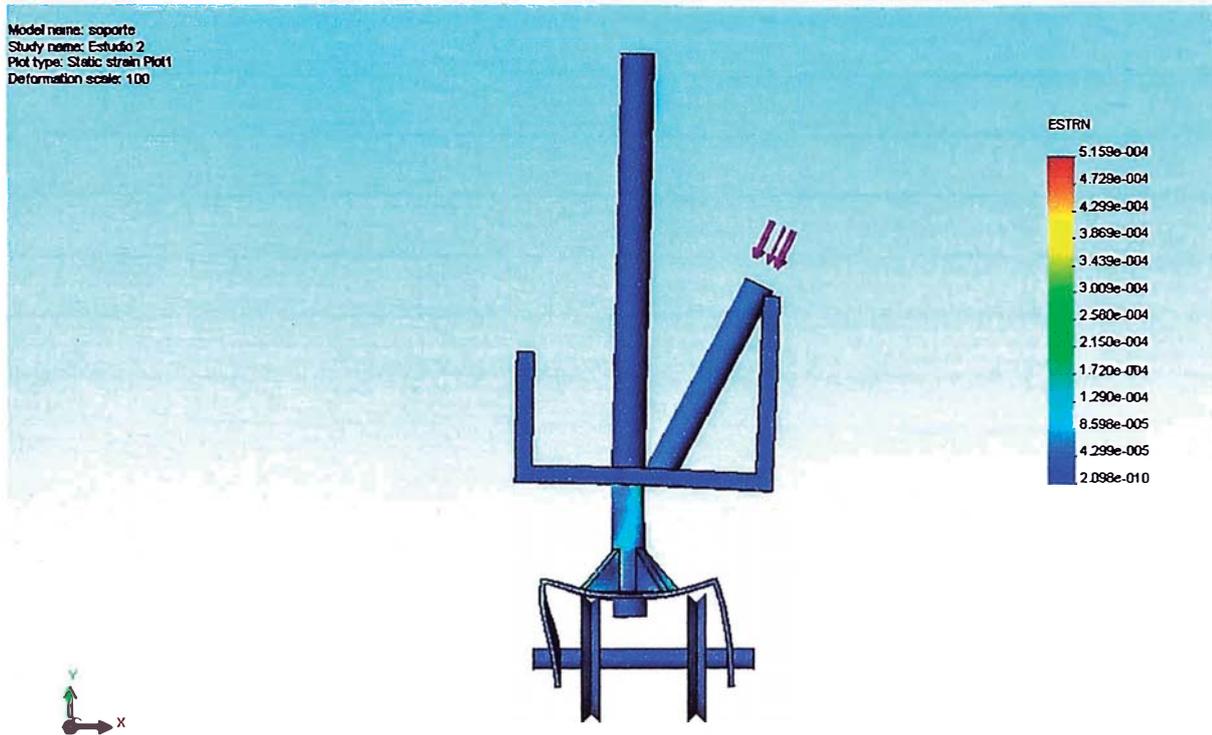
**VISTA FRONTAL**



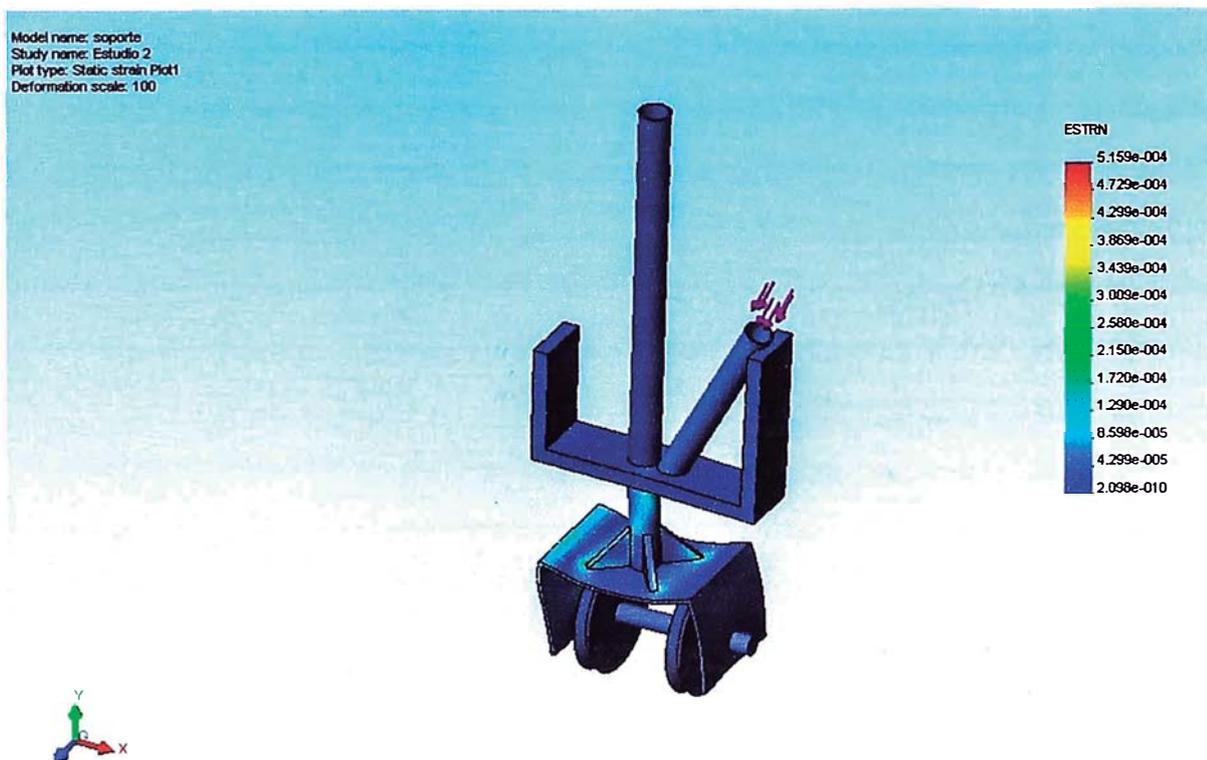
**VISTA ISOMÉTRICA**

<sup>49</sup> Todos estos cálculos gráficos se han realizado con el programa Solid Works 2006

## CÁLCULO GRÁFICO DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA<sup>50</sup>



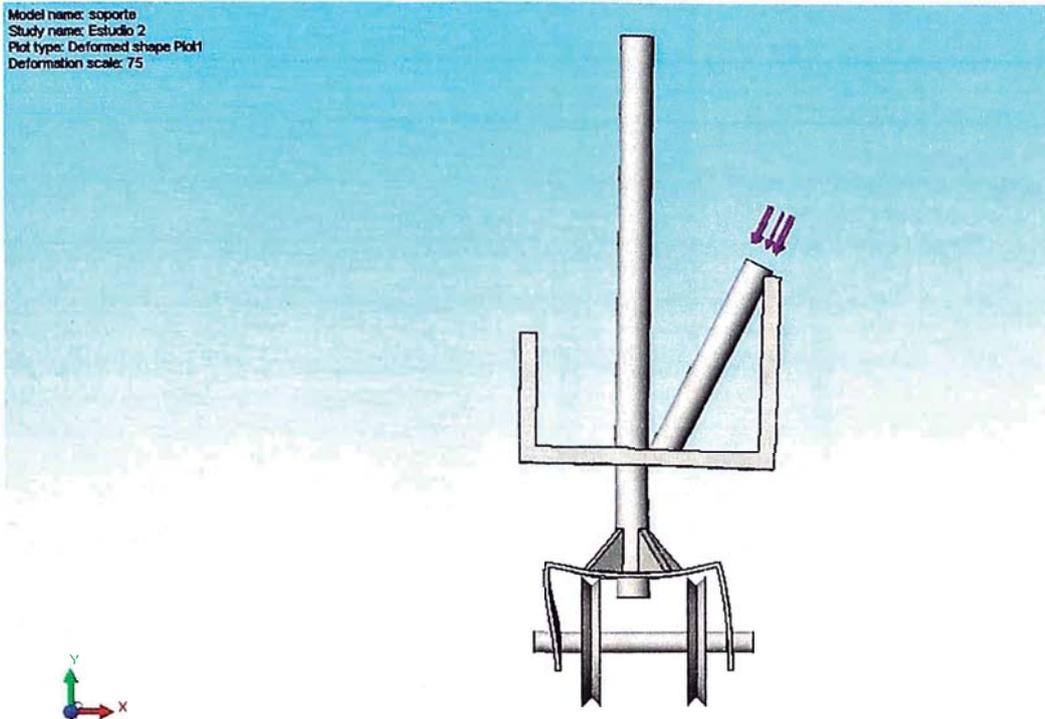
**VISTA FRONTAL**



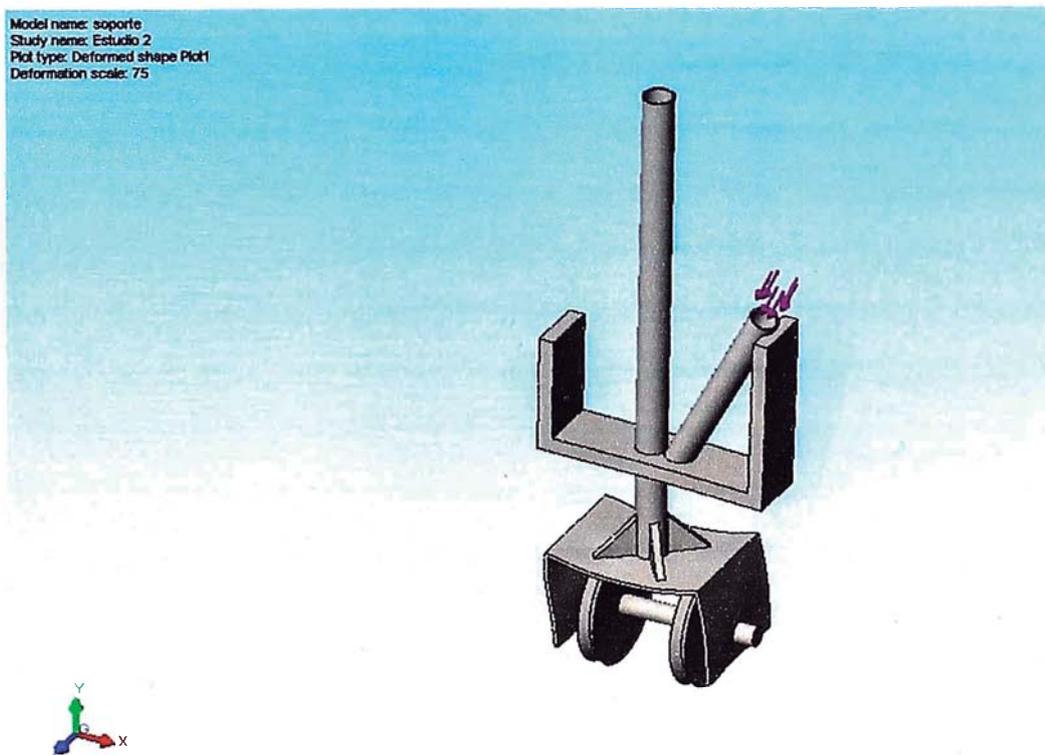
**VISTA ISOMÉTRICA**

<sup>50</sup> Todos estos cálculos gráficos se han realizado con el programa Solid Works 2006

## CÁLCULO GRÁFICO DE LA DEFORMACIÓN<sup>51</sup>



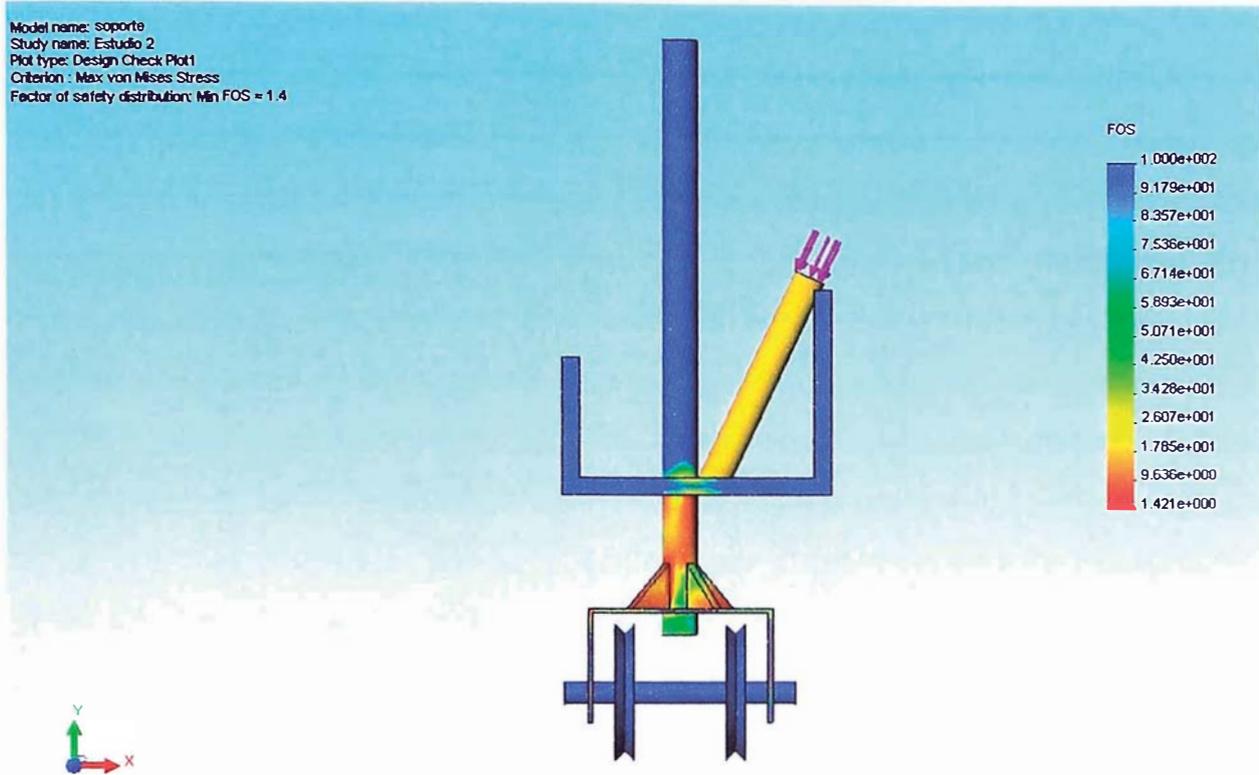
**VISTA FRONTAL**



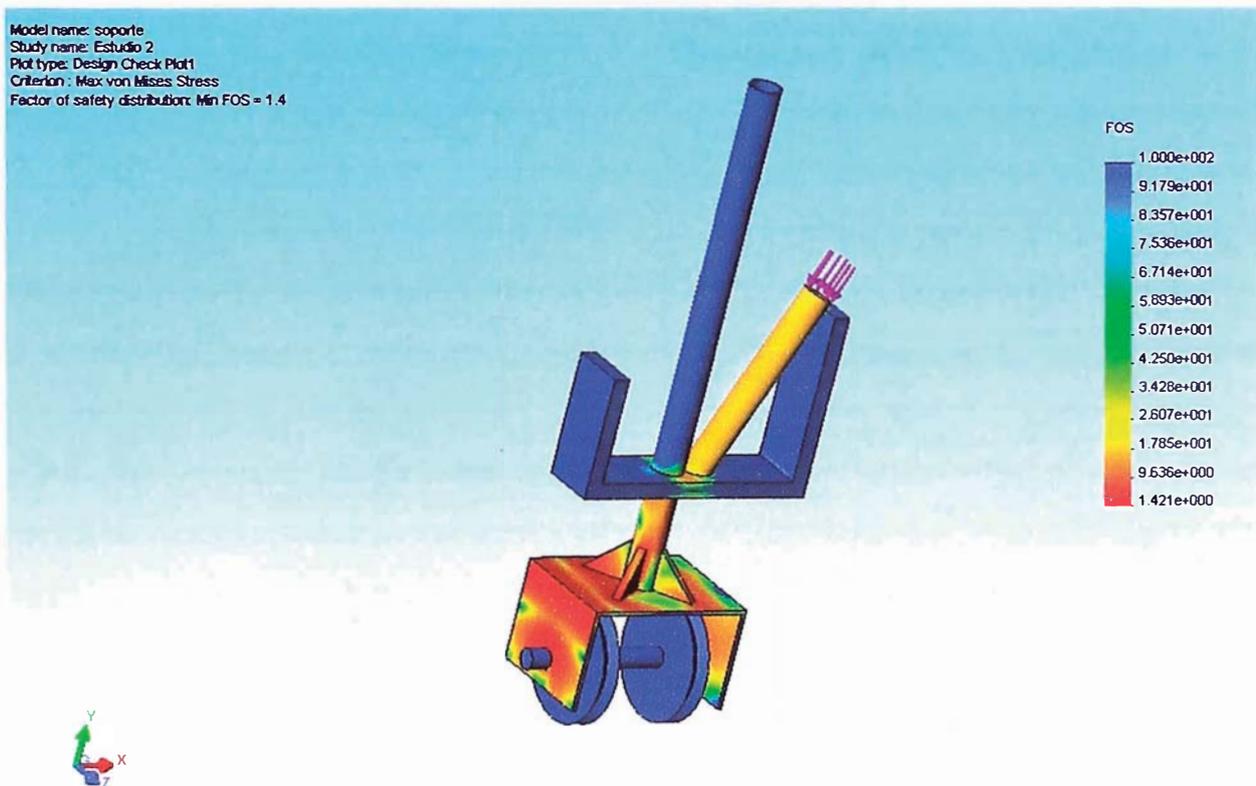
**VISTA ISOMÉTRICA**

<sup>51</sup> Todos estos cálculos gráficos se han realizado con el programa Solid Works 2006

### CÁLCULO GRÁFICO DE LA VERIFICACIÓN DE DISEÑO<sup>52</sup>

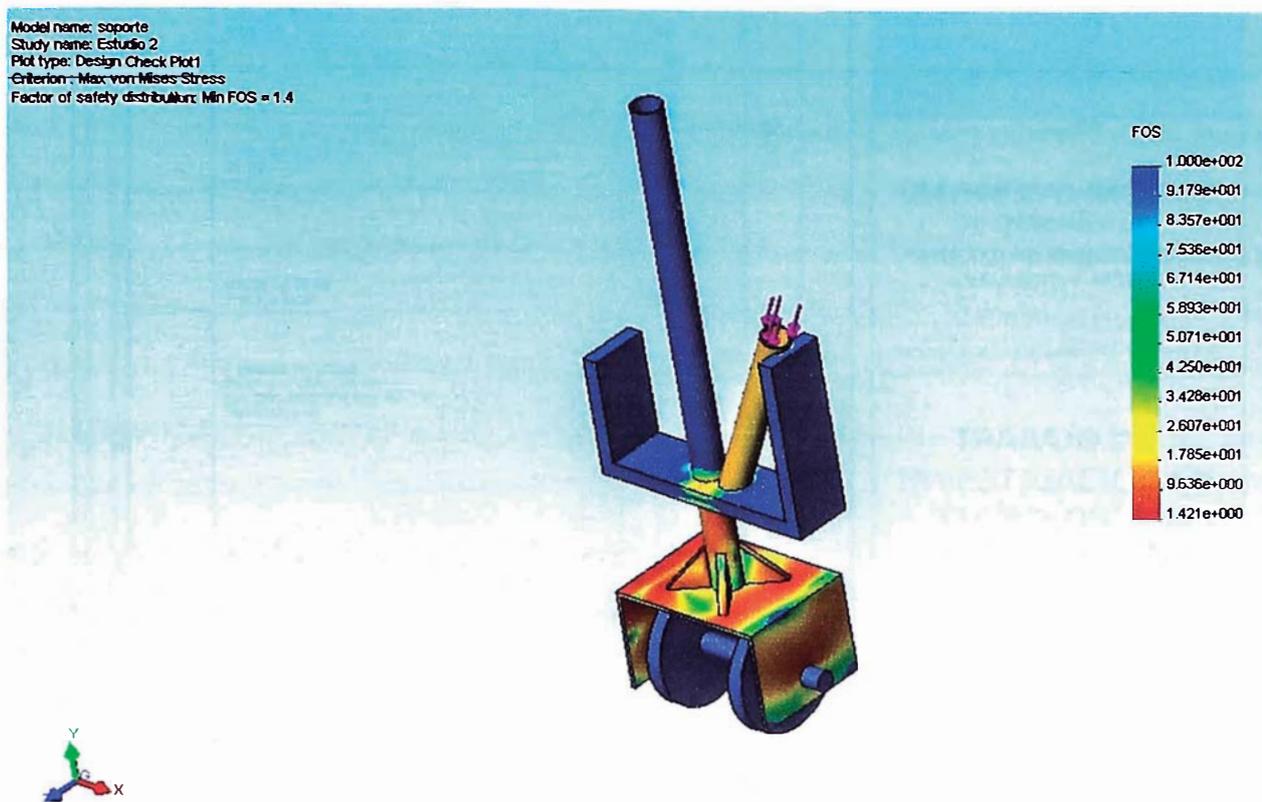


### VISTA FRONTAL



### VISTA ISOMÉTRICA<sup>53</sup>

<sup>52</sup> Todos estos cálculos gráficos se han realizado con el programa Solid Works 2006



**VISTA ISOMÉTRICA**

<sup>53</sup> Todos estos cálculos gráficos se han realizado con el programa Solid Works 2006

.675 .40 .925

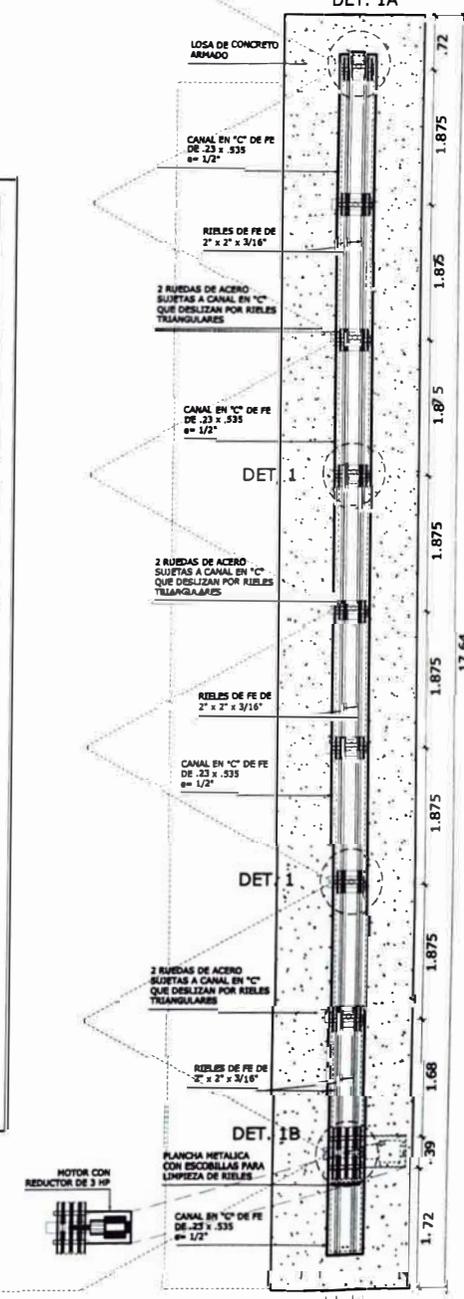
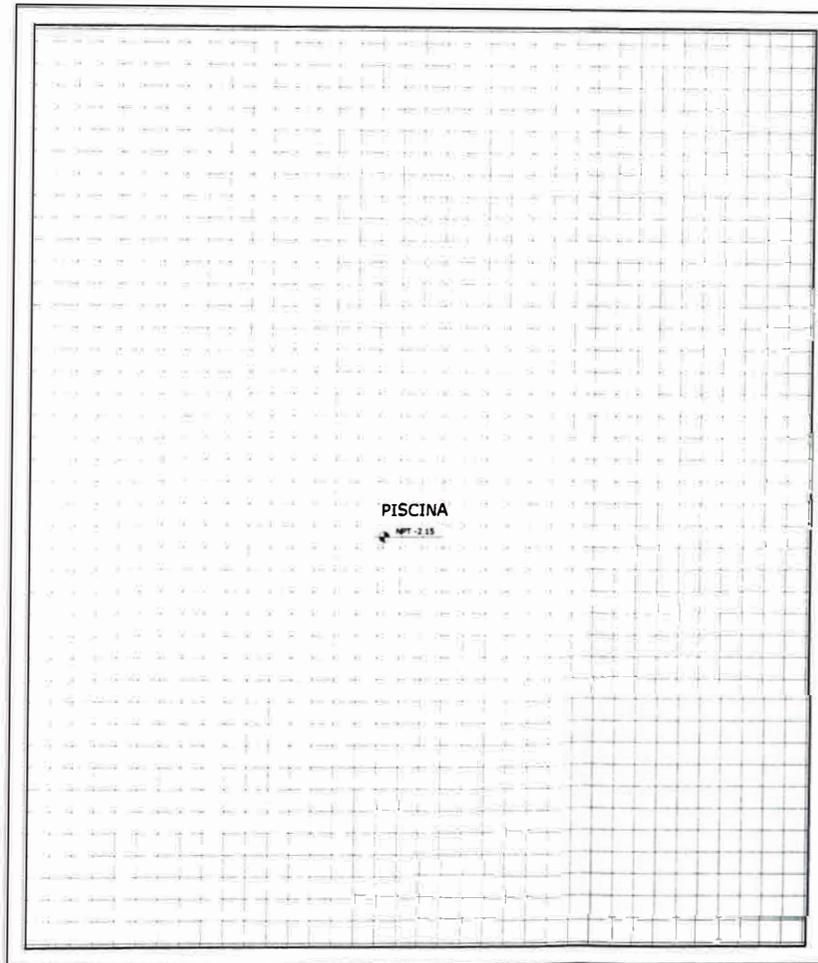
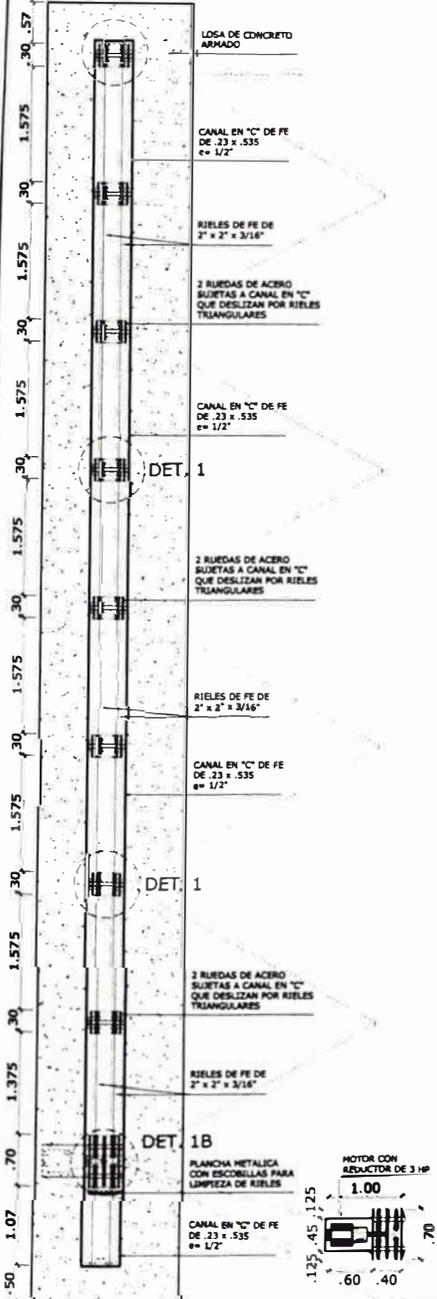
22.90

18.90

.925 .40 .675

DET. 1A

DET. 1A



.15 .15 .24

20.48

.15 .15 .24

PLANTA DE RIELES

ESC 1/100



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
COBERTURA  
ORGÁNICA Y  
RETRACTIL

DIRECTOR:  
ARQ. JOSÉ  
BENLLOCHPIQUER

AUTOR:  
JUAN CARLOS  
CHINEN SONAN

CÓDIGO:  
992161 C

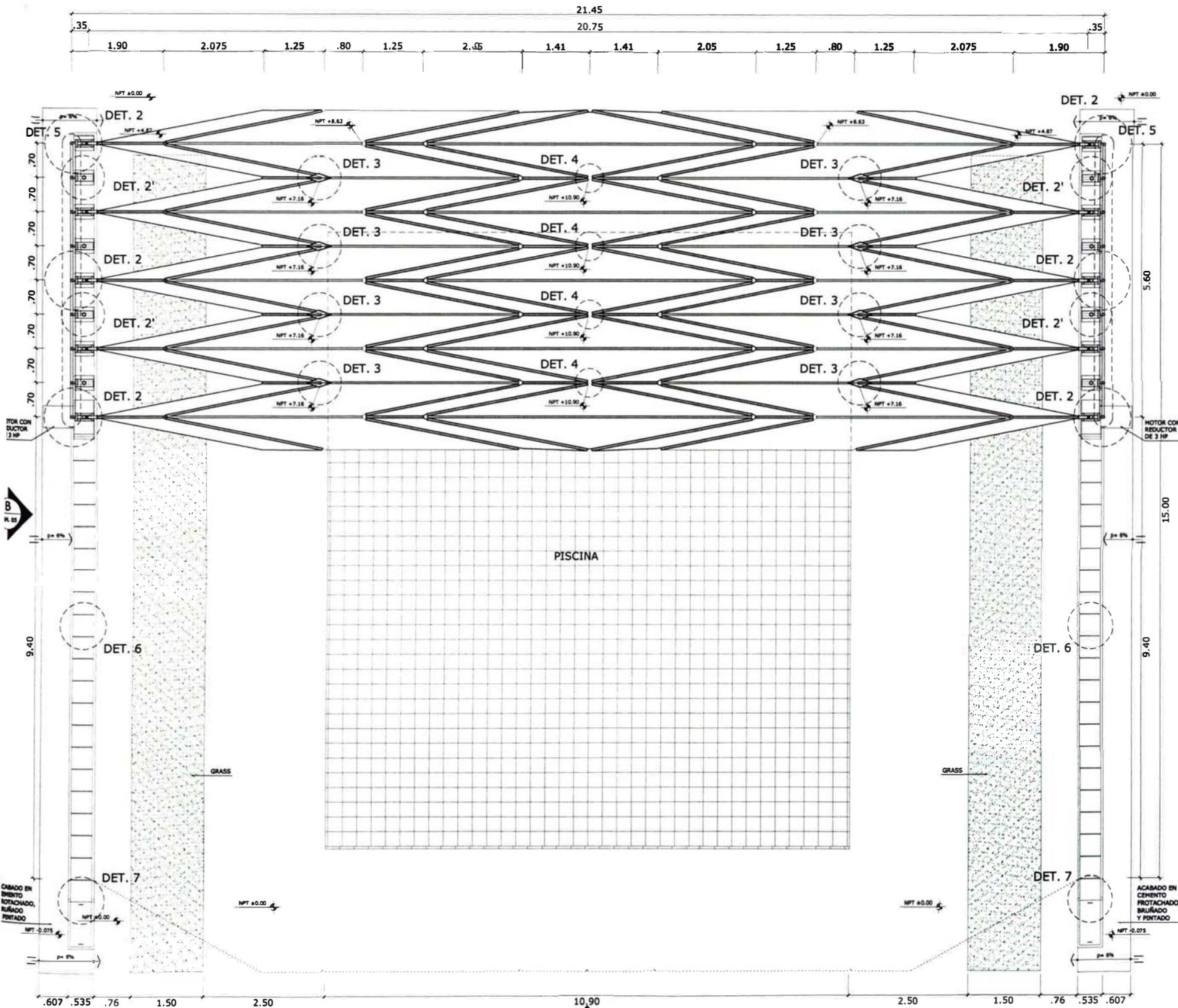
PLANO:  
PLANTA  
DE RIELES

FECHA:  
AGOSTO 2007

ESCALA:  
1 : 75

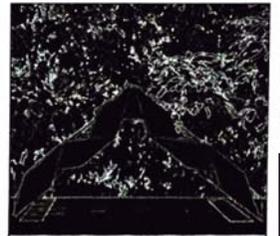
LÁMINA

A-01



PLANTA DE COBERTURA PLEGADA

ESC. 1/100



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
COBERTURA  
ORGÁNICA Y  
RETRACTIL

DIRECTOR:  
ARQ. JOSÉ  
BENLLOCHPIQUER

AUTOR:  
JUAN CARLOS  
CHINEN SONAN

CÓDIGO:  
992161 C

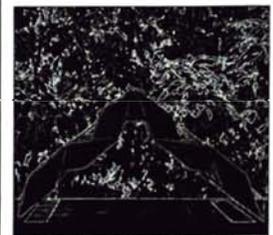
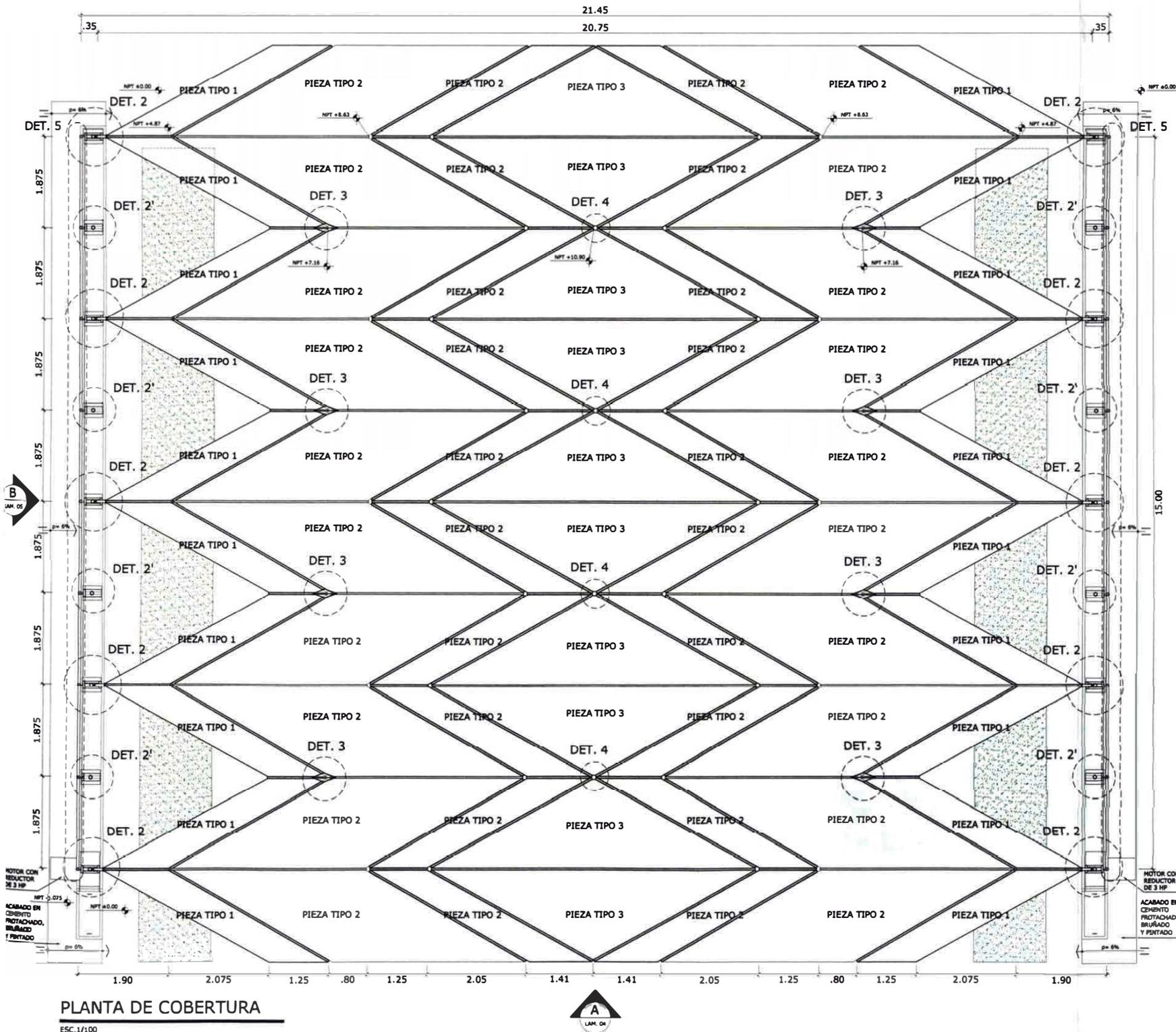
PLANO:  
PLANTA DE  
COBERTURA  
PLEGADA

FECHA:  
AGOSTO 2007

ESCALA:  
1 : 75

LÁMINA

**A-02**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
**COBERTURA  
ORGÁNICA Y  
RETRÁCTIL**

DIRECTOR:  
**ARQ. JOSÉ  
BENLLOCHPIQUER**

AUTOR:  
**JUAN CARLOS  
CHINEN SONAN**

CÓDIGO:  
**992161 C**

PLANO:  
**PLANTA DE  
COBERTURA**

FECHA:  
**AGOSTO 2007**

ESCALA:  
**1 : 75**

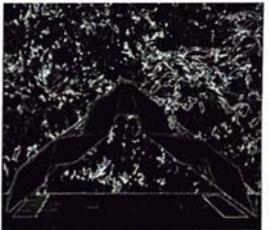
LÁMINA

**A-03**

PLANTA DE COBERTURA

ESC. 1/100





UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
COBERTURA  
ORGÁNICA Y  
RETRÁCTIL

DIRECTOR:  
ARQ. JOSÉ  
BENLLOCHPIQUER

AUTOR:  
JUAN CARLOS  
CHINEN SONAN

CÓDIGO:  
992161 C

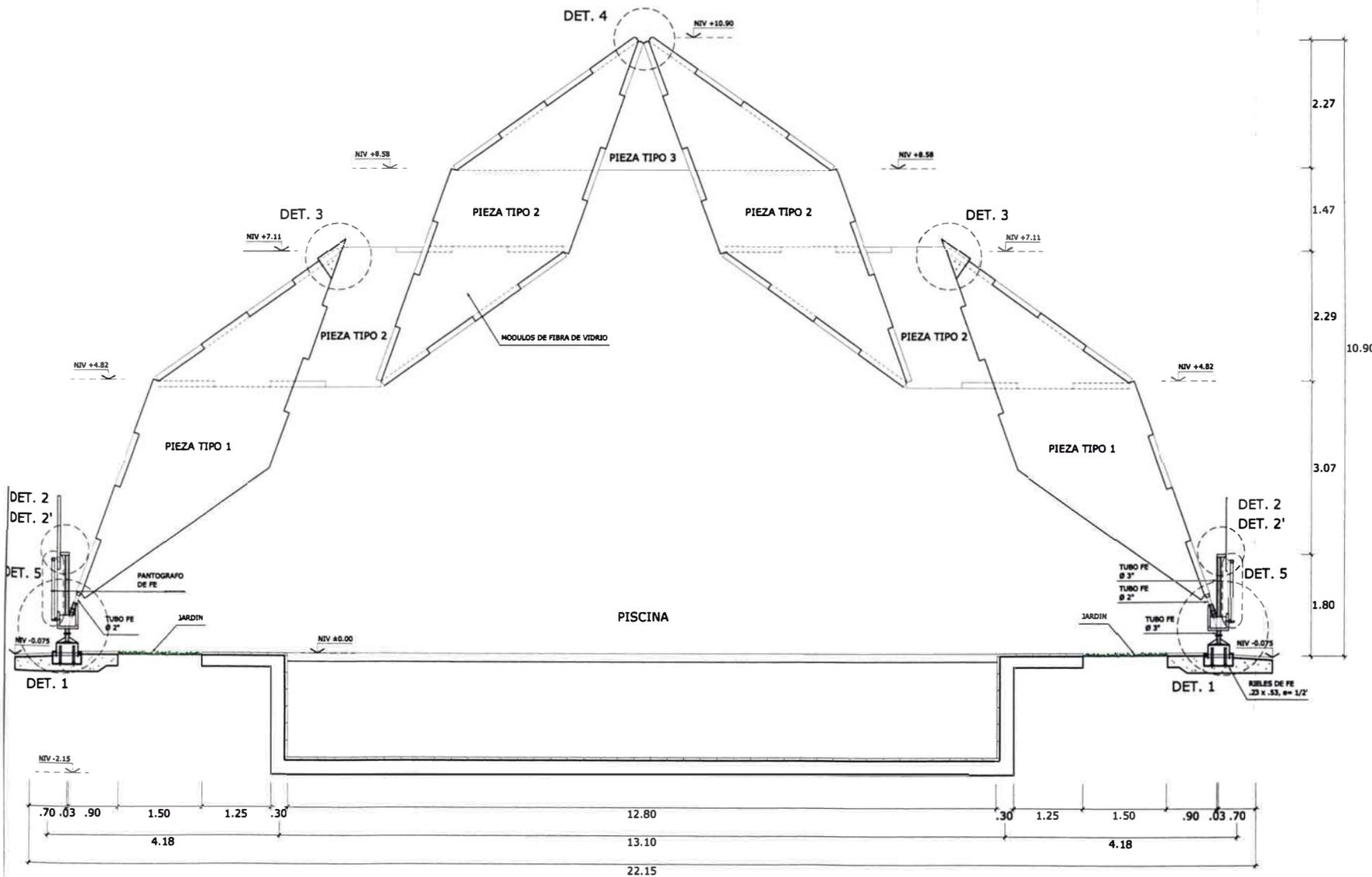
PLANO:  
ELEVACION  
FRONTAL A-A

FECHA:  
AGOSTO 2007

ESCALA:  
1 : 75

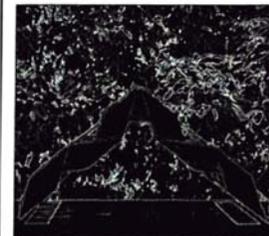
LÁMINA

**A-04**



**ELEVACION FRONTAL A-A**

ESC.1/100



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
**COBERTURA  
ORGÁNICA Y  
RETRÁCTIL**

DIRECTOR:  
**ARQ. JOSÉ  
BENLLOCHPIQUER**

AUTOR:  
**JUAN CARLOS  
CHINEN SONAN**

CÓDIGO:  
992161 C

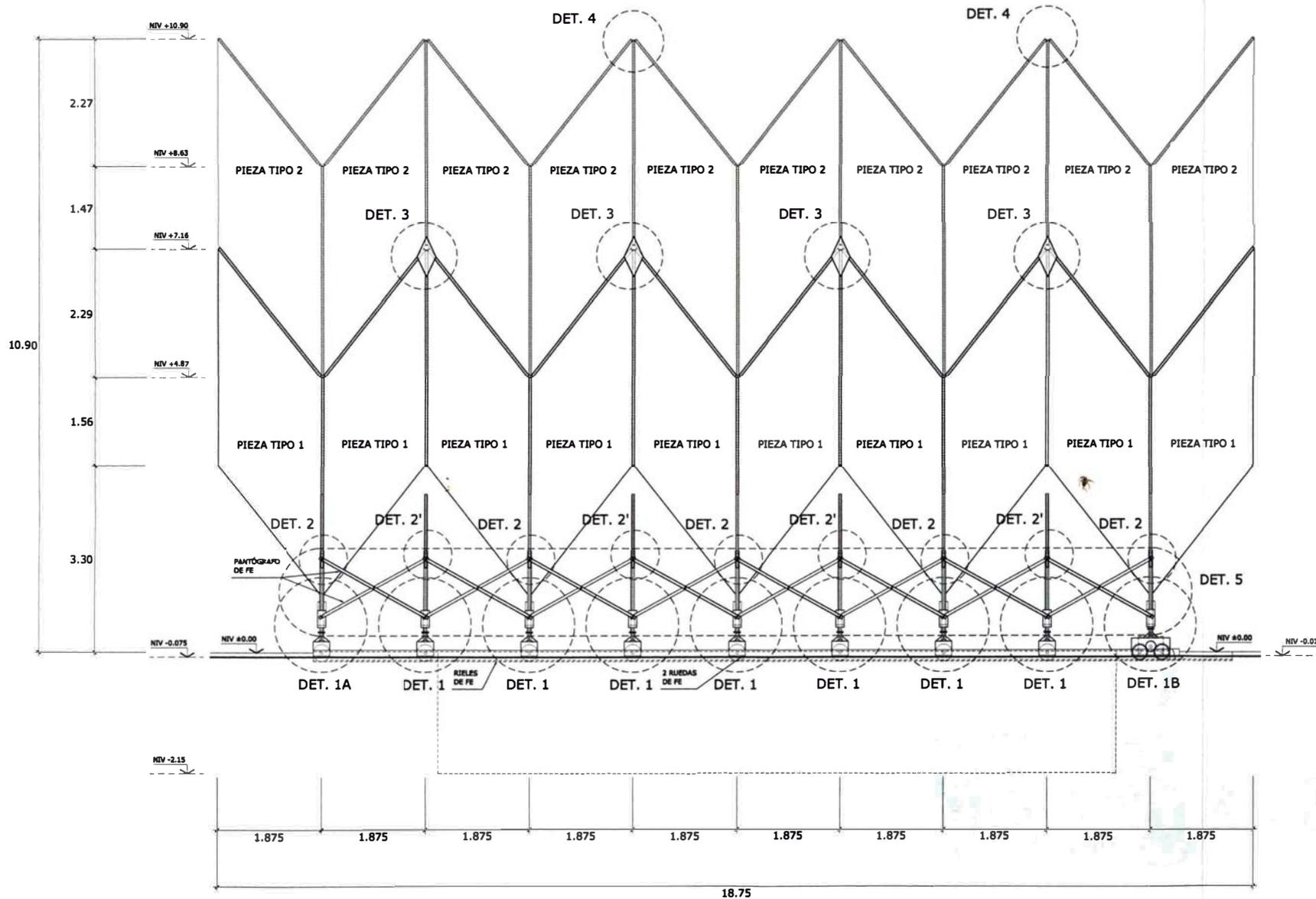
PLANO:  
ELEVACION  
LATERAL B-B

FECHA:  
AGOSTO 2007

ESCALA:  
1 : 75

LÁMINA

**A-05**



**ELEVACION LATERAL B-B**

ESC. 1/100



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
**COBERTURA  
ORGÁNICA Y  
RETRÁCTIL**

DIRECTOR:  
ARQ. JOSÉ  
BENLLOCHPIQUE

AUTOR:  
JUAN CARLOS  
CHINEN SONAN

CÓDIGO:  
992161 C

PLANO:  
TIPOS DE  
MÓDULOS

FECHA:  
AGOSTO 2007

ESCALA:  
1 : 75 - 1:2

LÁMINA

**A-06**

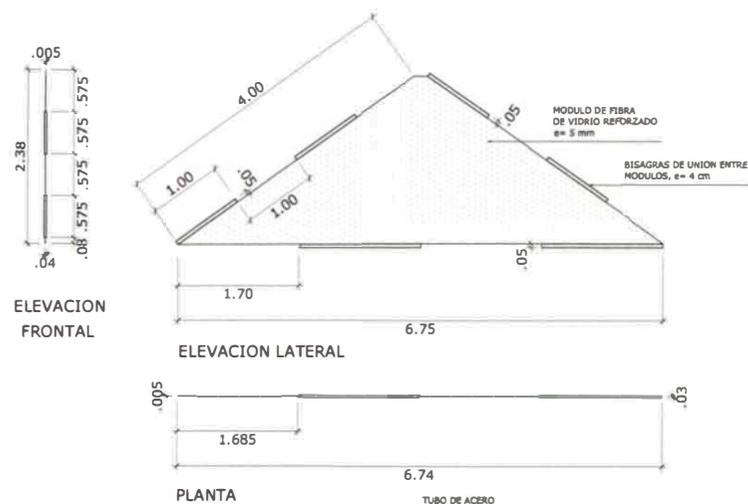
PIEZA TIPO 1

PIEZA TIPO 3

PIEZA TIPO 2

**TIPOS DE MODULOS**

ESC. 1/75



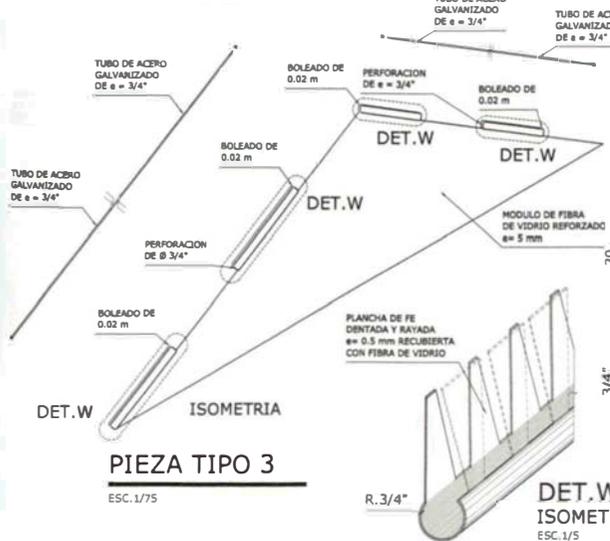
ELEVACION  
FRONTAL

ELEVACION LATERAL

PLANTA

ELEVACION FRONTAL

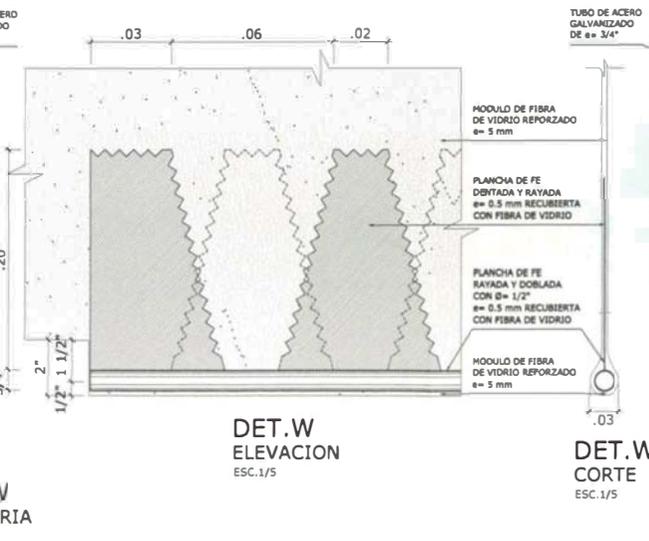
ELEVACION LATERAL



PIEZA TIPO 3

ESC. 1/75

DET.W  
ISOMETRIA  
ESC. 1/5



DET.W  
ELEVACION  
ESC. 1/5

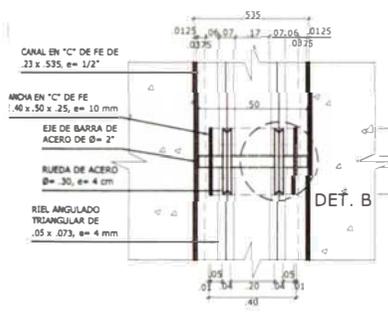
DET.W  
CORTE  
ESC. 1/5

PIEZA TIPO 1 Y 2

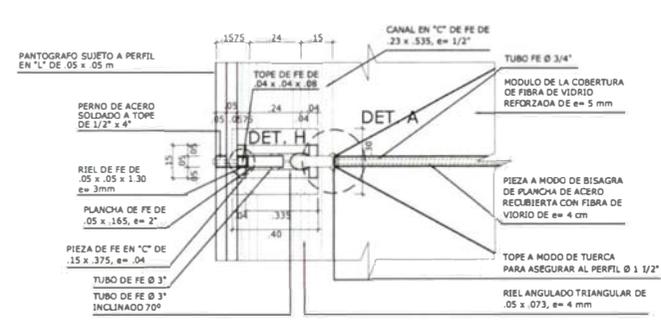
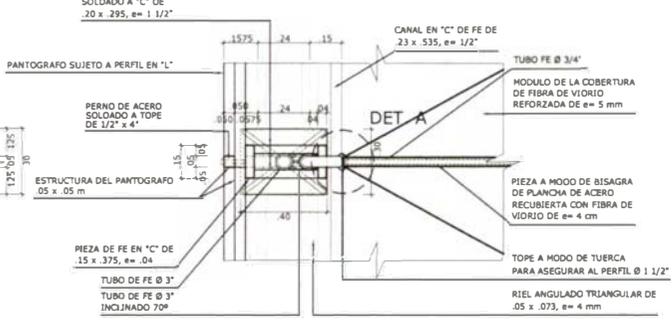
ESC. 1/75



ISOMETRIA



PLANCHILLA DE FIERRO SOLDADO A "C" DE .20 x 295, e= 1.1/2"



**DET. 1**  
PLANTA NIVEL X

DETALLE DE RUEDAS,  
CANAL Y RIELES  
PLANTA

ESC: 1/25

**DET. 1**  
PLANTA NIVEL Y

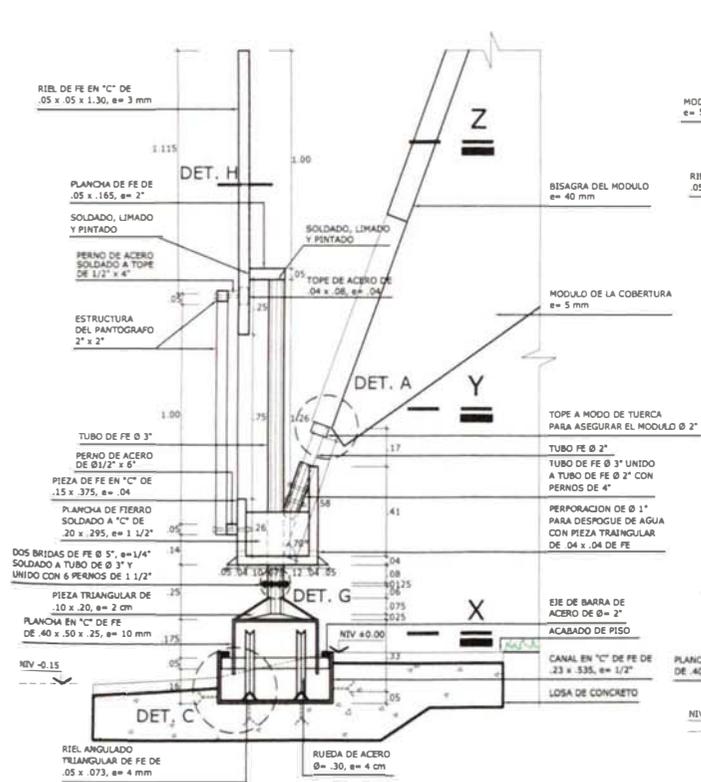
DETALLE DE PIEZA DE  
SOPORTE INFERIOR  
PLANTA

ESC: 1/25

**DET. 2**  
PLANTA NIVEL Z

DETALLE DE PIEZA DE  
SOPORTE SUPERIOR  
PLANTA

ESC: 1/25



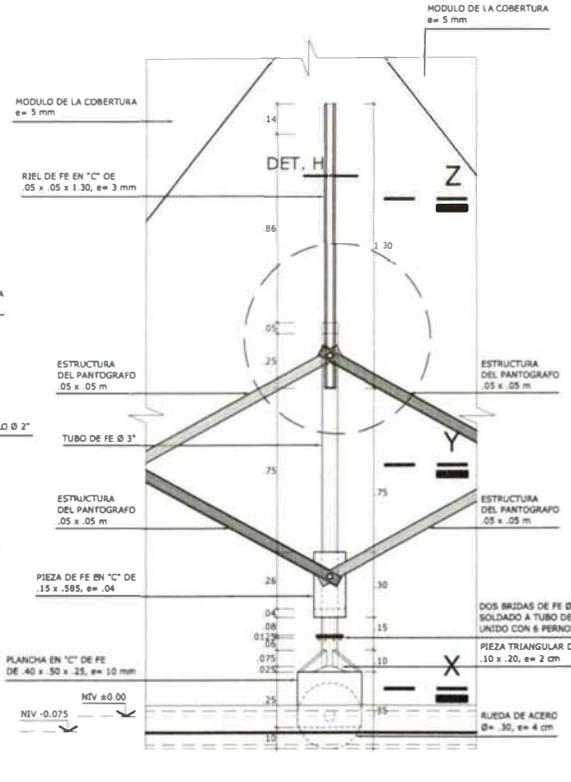
**DET. 1 - DET. 2**

DETALLE DE RIELES  
DETALLE DE PIEZA DE  
SOPORTE DE COBERTURA  
CORTE TRANSVERSAL

ESC: 1/25

NOTA:

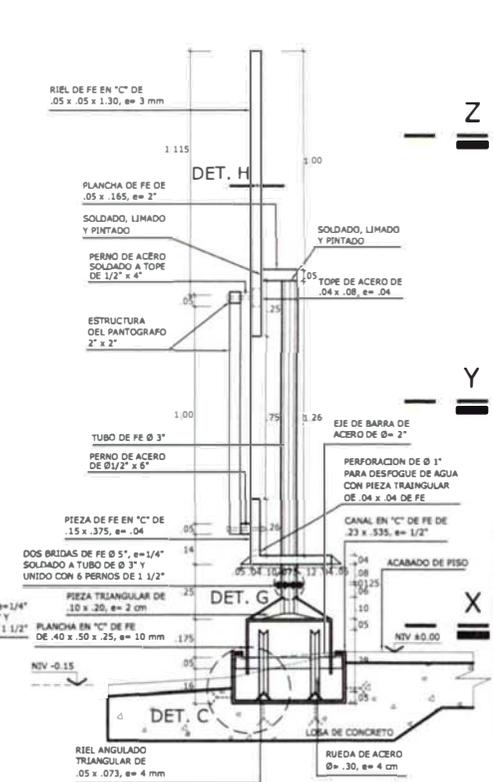
TODAS LAS PIEZAS DE FIERRO SERAN GALVANIZADOS PARA QUE RESISTAN MAS TIEMPO A LA INTEMPERIE



**DET. 1 - DET. 2**

DETALLE DE RIELES  
DETALLE DE PIEZA DE  
SOPORTE DE COBERTURA  
ELEVACION FRONTAL

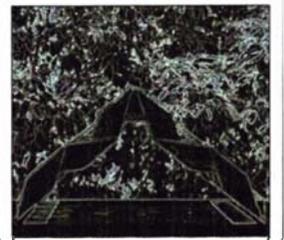
ESC: 1/25



**DET. 1 - DET. 2'**

DETALLE DE RIELES  
DETALLE DE PIEZA DE  
SOPORTE DE COBERTURA  
CORTE TRANSVERSAL

ESC: 1/25



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
COBERTURA  
ORGÁNICA Y  
RETRÁCTIL

DIRECTOR:  
ARQ. JOSÉ  
BENLLOCHPIQUER

AUTOR:  
JUAN CARLOS  
CHINEN SONAN

CÓDIGO:  
992161 C

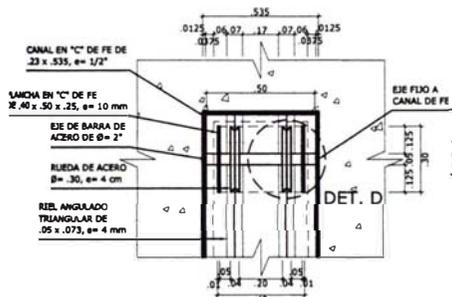
PLANO:  
DETALLE 1  
DETALLE 2

FECHA:  
AGOSTO 2007

ESCALA:  
1 ; 25

LÁMINA

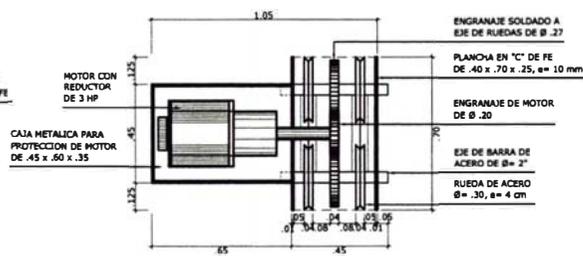
**A-07**



DET. 1A

DETALLE DE LA ULTIMA RUEDA, CANAL Y RIELES PLANTA

ESC: 1/25



DET. 1B  
PLANTA NIVEL V

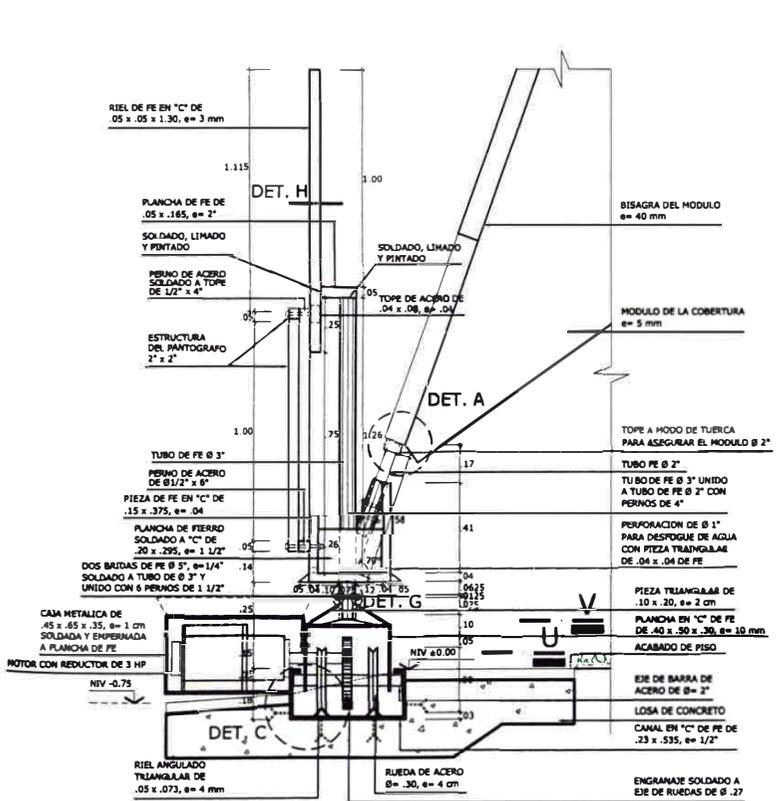
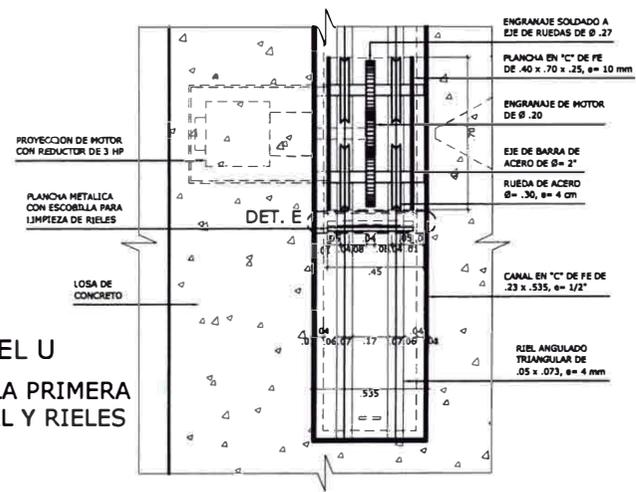
DETALLE DE LA PRIMERA RUEDA Y MOTOR PLANTA

ESC: 1/25

DET. 1B  
PLANTA NIVEL U

DETALLE DE LA PRIMERA RUEDA, CANAL Y RIELES PLANTA 1

ESC: 1/25

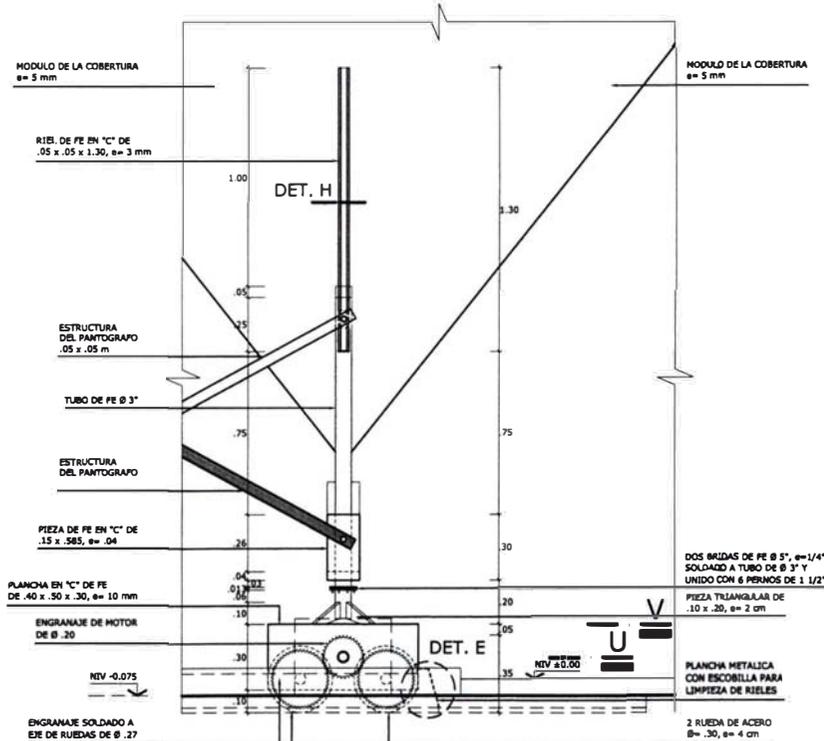


DET. 1B - DET. 2

DETALLE DE RIELES  
DETALLE DE PIEZA DE SOPORTE DE COBERTURA CORTE TRANSVERSAL

ESC: 1/25

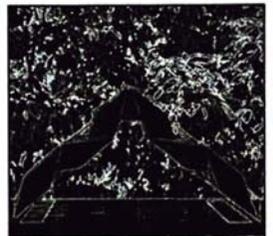
NOTA:  
TODAS LAS PIEZAS DE FIERRO SERAN GALVANIZADOS PARA QUE RESISTAN MAS TIEMPO A LA INTEMPERIE



DET. 1B - DET. 2

DETALLE DE RIELES  
DETALLE DE PIEZA DE SOPORTE DE COBERTURA ELEVACION FRONTAL

ESC: 1/25



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL

DIRECTOR:  
ARQ. JOSÉ BENLLOCHPIQUER

AUTOR:  
JUAN CARLOS CHINEN SONAN

CÓDIGO:  
992161 C

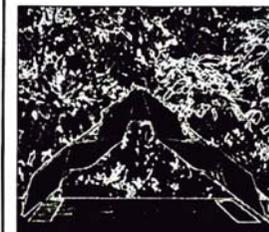
PLANO:  
DETALLE 1A  
DETALLE 1B  
DETALLE 2

FECHA:  
AGOSTO 2007

ESCALA:  
1 : 25

LÁMINA

A-08



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
COBERTURA  
ORGÁNICA Y  
RETRACTIL

DIRECTOR:  
ARQ. JOSÉ  
BENLLOCHPIQUER

AUTOR:  
JUAN CARLOS  
CHINEN SONAN

CÓDIGO:  
992161 C

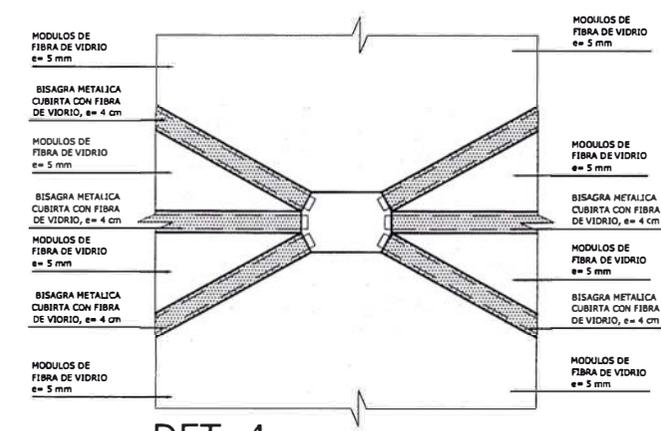
PLANO:  
DETALLE 3  
DETALLE 4  
DETALLE A Y B

FECHA:  
AGOSTO 2007

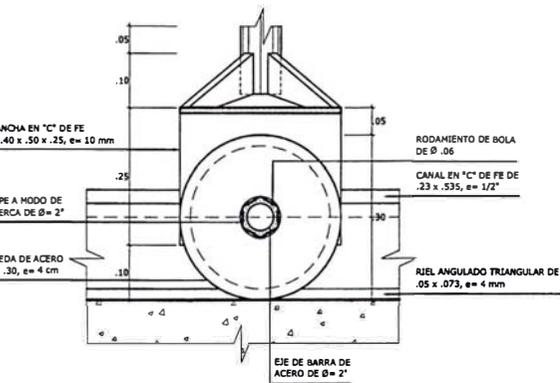
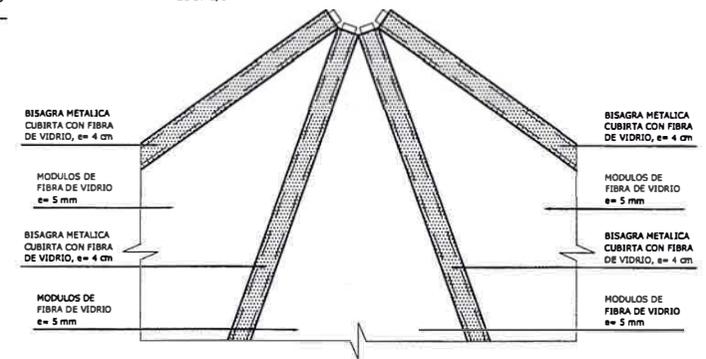
ESCALA:  
1 : 10 - 1 : 5  
1 : 2

LÁMINA

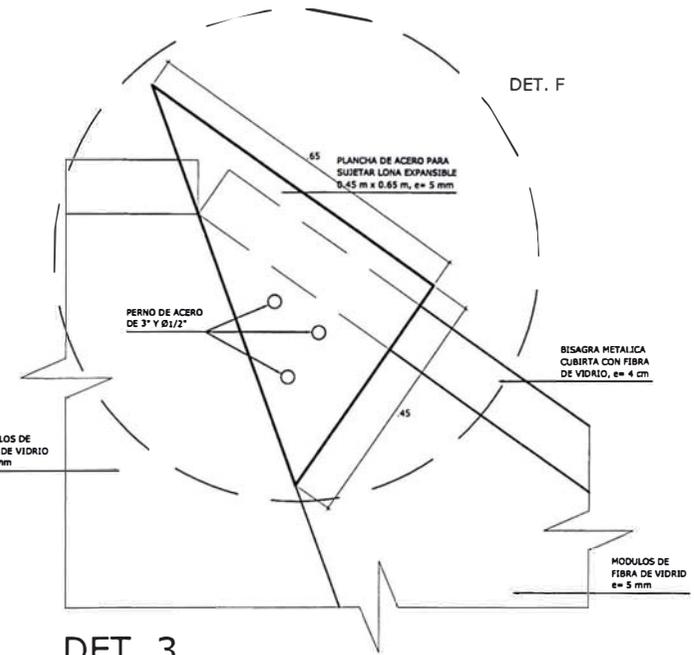
**A-09**



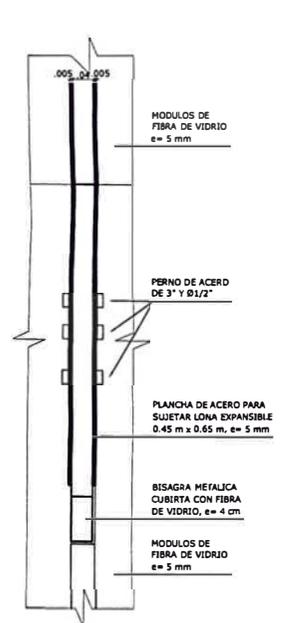
**DET. 4**  
DETALLE SUPERIOR  
DE UNION DE MODULOS  
PLANTA Y ELEVACION  
ESC: 1/5



**DET. B**  
DETALLE DE RUEDAS  
SOBRE RIELES  
ELEVACION LATERAL  
ESC: 1/10

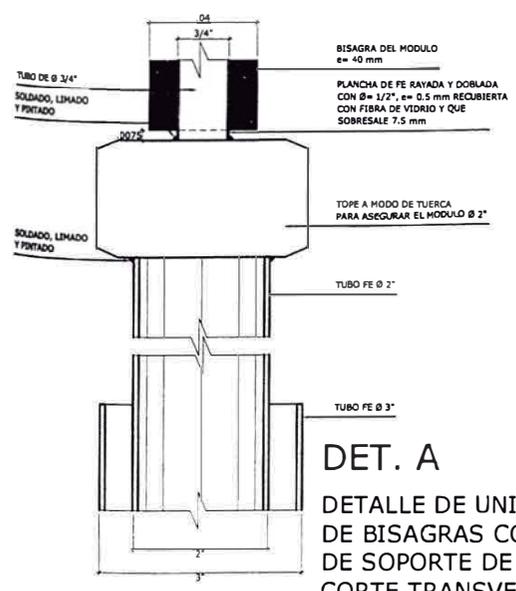


**DET. F**  
DETALLE DE SUJETADORES  
DE TELA EXPANSIBLE E  
IMPERMEABLE  
ELEVACION LATERAL  
ESC: 1/10

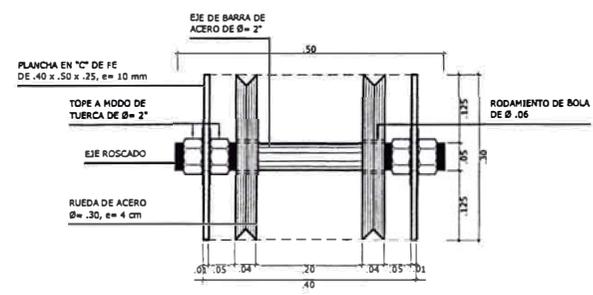


**DET. 3**  
DETALLE DE SUJETADORES  
DE TELA EXPANSIBLE E  
IMPERMEABLE  
ELEVACION FRONTAL  
ESC: 1/10

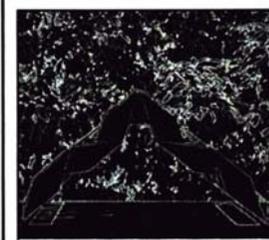
NOTA:  
TODAS LAS PIEZAS DE  
FIERRO SERAN GALVANIZADOS  
PARA QUE RESISTAN MAS  
TIEMPO A LA INTEMPERIE



**DET. A**  
DETALLE DE UNION DE BARRA  
DE BISAGRAS CON SISTEMA  
DE SOPORTE DE COBERTURA  
CORTE TRANSVERSAL  
ESC: 1/2



**DET. B**  
DETALLE DE RUEDAS  
SOBRE RIELES  
PLANTA  
ESC: 1/10



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
COBERTURA  
ORGÁNICA Y  
RETRÁCTIL

DIRECTOR:  
ARQ. JOSÉ  
BENLOCHPIQUER

AUTOR:  
JUAN CARLOS  
CHINEN SONAN

CÓDIGO:  
992161 C

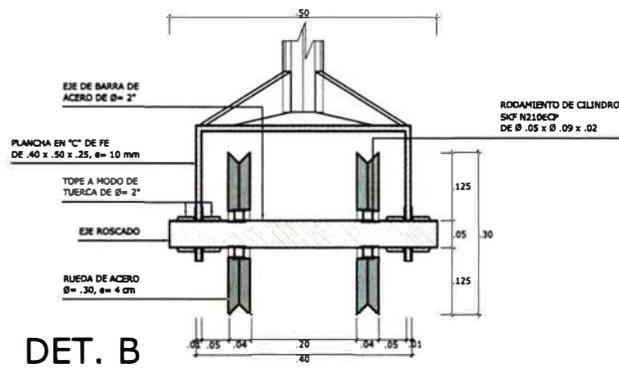
PLANO:  
DETALLE B  
DETALLE C Y D  
DETALLE E Y F

FECHA:  
AGOSTO 2007

ESCALA:  
1 : 10 - 1: 5

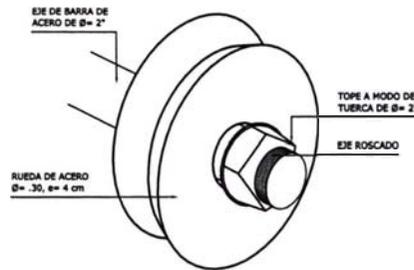
LÁMINA

# A-10



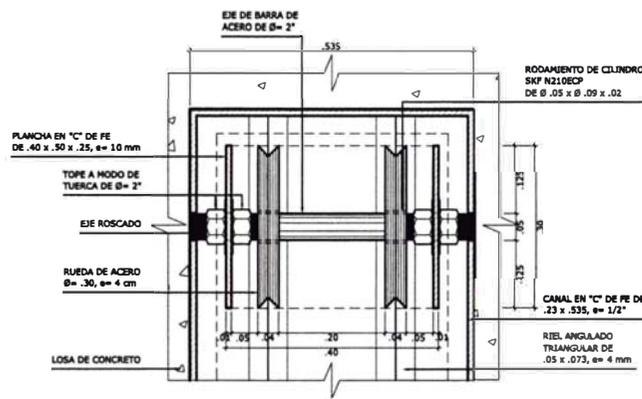
**DET. B**

DETALLE DE RUEDAS  
SOBRE RIELES  
CORTE TRANSVERSAL  
ESC: 1/10



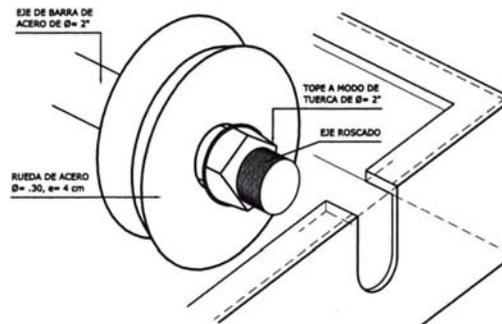
**DET. B**

DETALLE DE RUEDAS  
SOBRE RIELES  
ISOMETRIA  
ESC: 5/E



**DET. D**

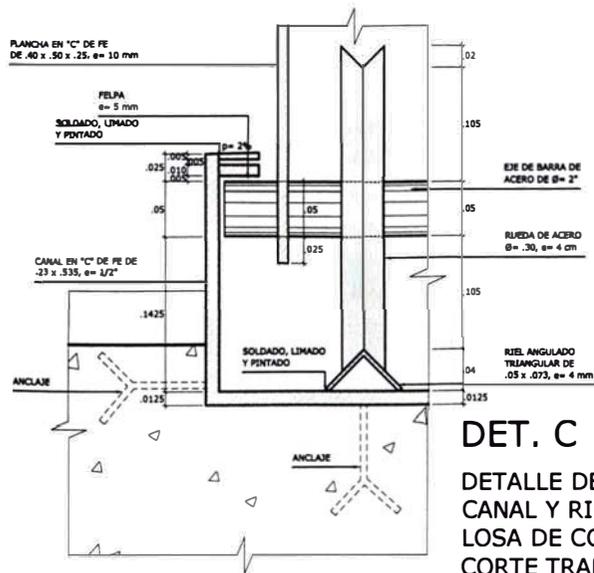
DETALLE DE ULTIMA  
RUEDA SOBRE RIELES  
PLANTA  
ESC: 1/10



**DET. D**

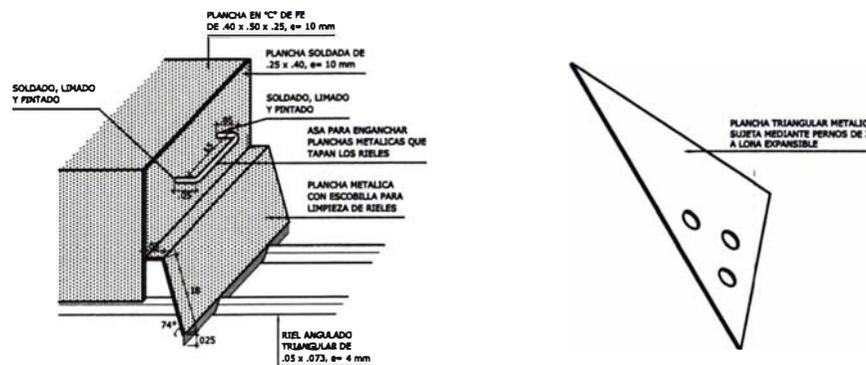
DETALLE DE ULTIMA  
RUEDA SOBRE RIELES  
ISOMETRIA  
ESC: 5/E

**NOTA:**  
TODAS LAS PIEZAS DE  
FIERRO SERAN GALVANIZADOS  
PARA QUE RESISTAN MAS  
TIEMPO A LA INTEMPERIE



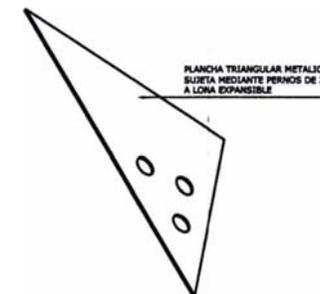
**DET. C**

DETALLE DE ANCLAJE DE  
CANAL Y RIEL SOBRE  
LOSA DE CONCRETO  
CORTE TRANSVERSAL  
ESC: 1/5



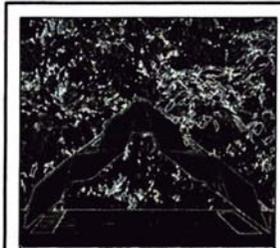
**DET. E**

DETALLE ESCOBILLAS  
EN PRIMERA RUEDA  
ISOMETRIA  
ESC: 5/E



**DET. F**

SUJETADORES DE  
LONA EXPANSIBLE  
VOLUMEN  
ESC: 5/E



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA Y  
CONSTRUCCIÓN

TEMA:  
COBERTURA  
ORGÁNICA Y  
RETRÁCTIL

DIRECTOR:  
ARQ. JOSÉ  
BENLLOCHPIQUER

AUTOR:  
JUAN CARLOS  
CHINEN SONAN

CÓDIGO:  
992161 C

PLANO:  
DETALLE 5

FECHA:  
AGOSTO 2007

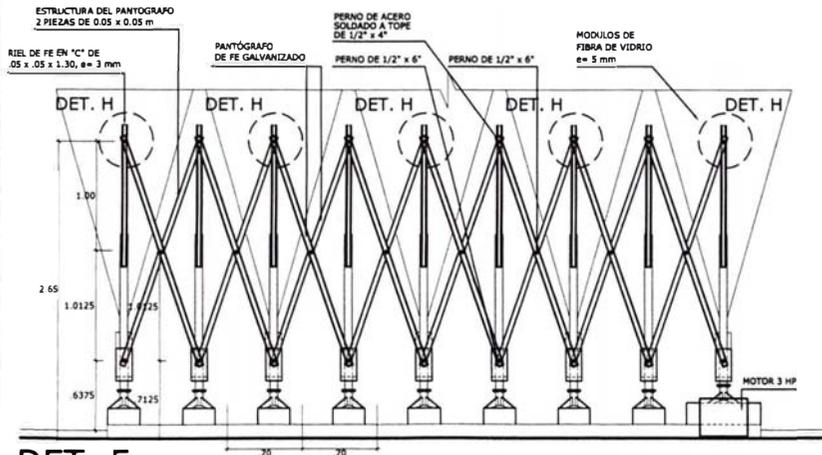
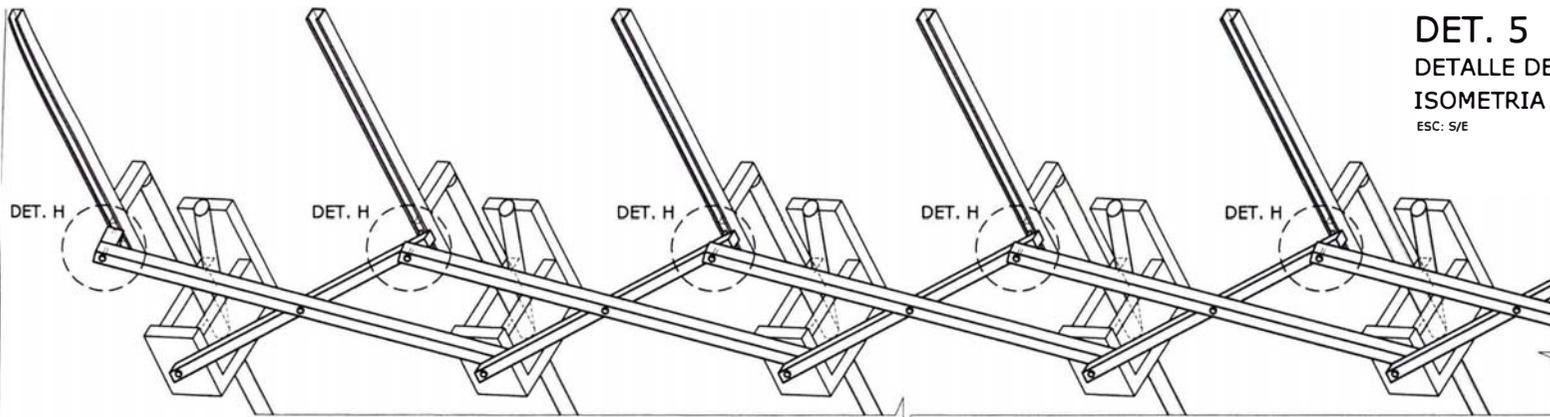
ESCALA:  
1 : 50

LÁMINA

**A-11**

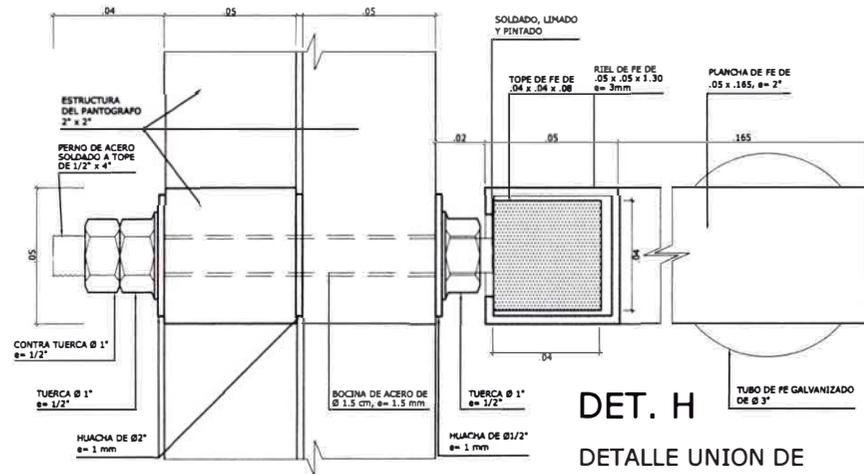
**DET. 5**  
DETALLE DE PANTOGRAFO  
ISOMETRIA

ESC: 5/E

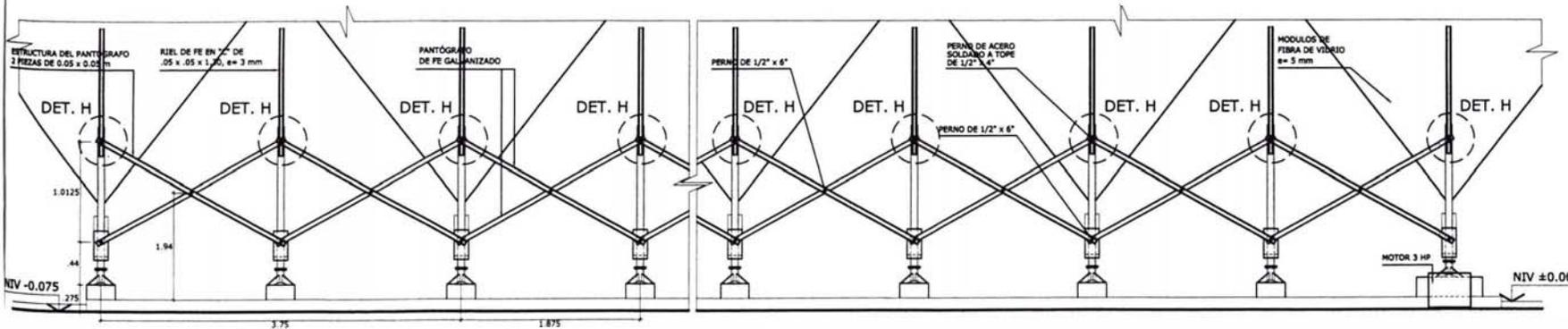


**DET. 5**  
DETALLE DE PANTOGRAFO  
ELEVACION LATERAL CONTRAIDA  
ESC: 1/50

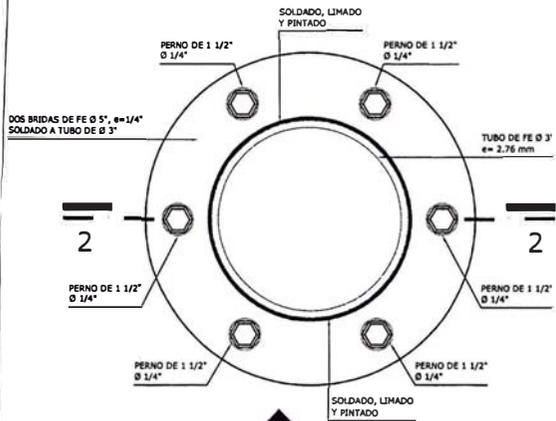
**NOTA:**  
TODAS LAS PIEZAS DE  
FIERRO SERAN GALVANIZADOS  
PARA QUE RESISTAN MAS  
TIEMPO A LA INTEMPERIE



**DET. H**  
DETALLE UNION DE  
PANTOGRAFO CON RIEL  
PLANTA  
ESC: 1/2



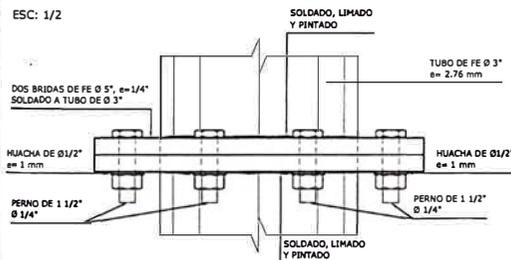
**DET. 5**  
DETALLE DE PANTOGRAFO  
ELEVACION LATERAL EXPANDIDA  
ESC: 1/50



DET. G

DETALLE DE BRIDA DE UNION DE TUBOS PLANTA

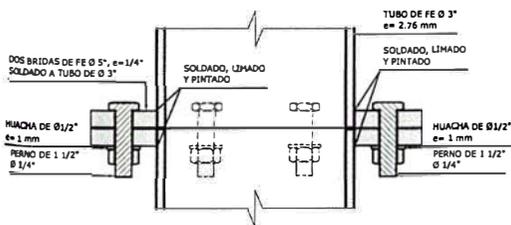
ESC: 1/2



ELEVACION 1-1

DETALLE DE BRIDA DE UNION DE TUBOS ELEVACION

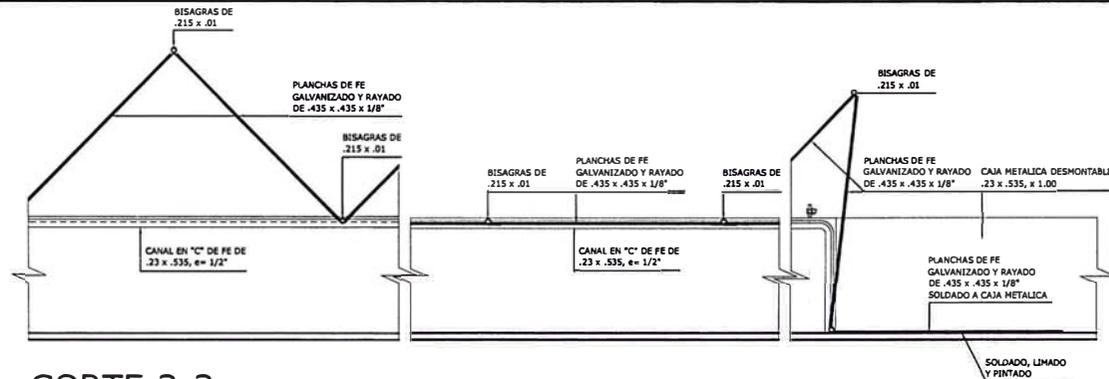
ESC: 1/2



CORTE 2-2

DETALLE DE BRIDA DE UNION DE TUBOS CORTE

ESC: 1/2

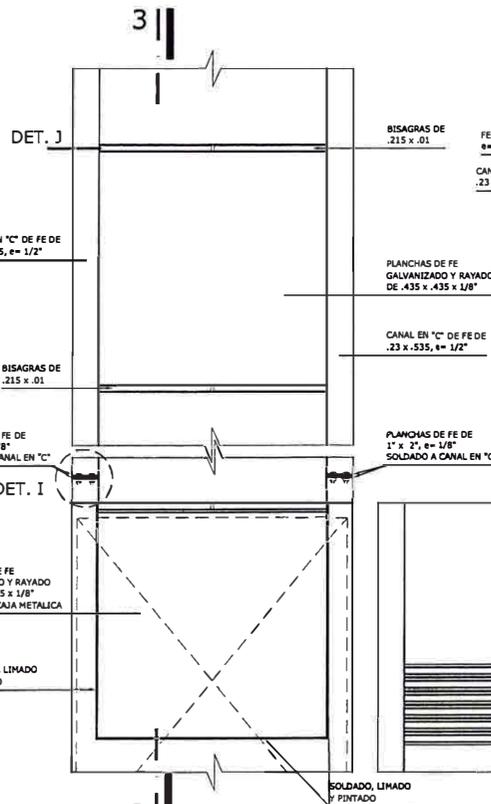


CORTE 3-3

DETALLE DE PLANCHAS TAPANDO RIELES Y RECOGIDAS

CORTE

ESC: 1/10



DET. J

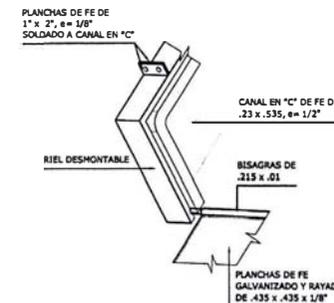
DET. J

RIEL DEL EJE DE BISAGRA CORTE

ESC: 1/1

NOTA:

TODAS LAS PIEZAS DE FIERRO SERAN GALVANIZADAS PARA QUE RESISTAN MAS TIEMPO A LA INTEMPERIE



DET. I

RIEL DESMONTABLE PARA PASO DE PLANCHAS ISOMETRIA

ESC: 5/E

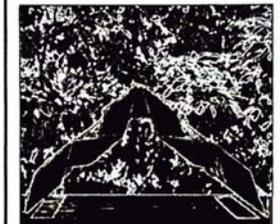
DET. 6 Y 7

DETALLE DE PLANCHAS TAPANDO RIELES Y RECOGIDAS PLANTA

ESC: 1/10

NOTA:

LAS PLANCHAS METALICAS ESTARAN UNIDAS A LA PRIMERA RUEDA SEGUN EL DETALLE E, MEDIANTE UN GANCHO METALICO SOLDADO A LA PRIMERA PLANCHA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y ARTES

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN

TEMA: COBERTURA ORGÁNICA Y RETRÁCTIL

DIRECTOR: ARQ. JOSÉ BENLLOCHPIQUER

AUTOR: JUAN CARLOS CHINEN SONAN

CÓDIGO: 992161 C

PLANO: DETALLE 6 Y 7 DETALLE G Y H

FECHA: AGOSTO 2007

ESCALA: 1 : 2

LÁMINA

A-12