

pp. 198402DC2604

ISSN: 0798-9601

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN

Publicación semestral

27 | I

2011

INSTITUTO DE DESARROLLO
EXPERIMENTAL DE LA
CONSTRUCCIÓN / IDEC
FACULTAD DE
ARQUITECTURA
Y URBANISMO
UNIVERSIDAD CENTRAL
DE VENEZUELA



**UNIVERSIDAD
CENTRAL DE VENEZUELA**

Rectora

Cecilia García Arocha

Vice-Rector Académico

Nicolás Bianco

Vice-Rector Administrativo

Bernardo Méndez

Secretario

Amalio Belmonte

**CONSEJO DE DESARROLLO
CIENTÍFICO Y HUMANÍSTICO**

Coordinador

Félix Tapia



**FACULTAD DE ARQUITECTURA
Y URBANISMO**

Decano

Guillermo Barrios

Director de la Escuela de Arquitectura

Carlos Raúl Villanueva

Gustavo Izaguirre

Directora del Instituto de Urbanismo

María Isabel Peña

**Directora del Instituto de
Desarrollo Experimental de la**

Construcción

Idalberto Águila

Directora-Coordinadora de la

Comisión de Estudios de Postgrado

Iris Rosas

Coordinador administrativo

Marieva Payares

Coordinadora de investigación

Rosario Salazar

Coordinadora de extensión

Maya Suárez

Coordinador de Docencia

Alejandra González

**INSTITUTO DE DESARROLLO
EXPERIMENTAL DE LA
CONSTRUCCIÓN / IDEC**

Director

Idalberto Águila

Investigación

María Eugenia Sosa

Docencia

Beatríz Hernández

Extensión

Antonio Conti

Indizada en

LATINDEX <http://www.latindex.org/>

SCIELO <http://www2.scielo.org.ve>

REVENCYT. Apdo. 234. CP 5101-A
Mérida, Venezuela

revenct.ula.ve/informacion/principal.htm

PERIODICA Índice Bibliográfico
Índice de Revistas Latinoamericanas
en Ciencias. Universidad Nacional
Autónoma de México

[http://www.dgbiblio.unam.
mx/index.php/catalogos](http://www.dgbiblio.unam.mx/index.php/catalogos)

REDINSE. Caracas

Repositorio Institucional

Saber UCV

[http://saber.ucv.ve/ojs/
index.php/rev_tc](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc)

Suscripciones

Dos números anuales

Venezuela: Bs. 80

Extranjero: US\$ 100

Costo unitario: Bs. 40

Envío de materiales,

correspondencia, canje,

Apartado postal 47.169

Caracas 1041-A. Venezuela

Telf: (58-212) 605.2046 / Fax: 605.2048

Punto de venta

Librería Ediciones Facultad de

Arquitectura y Urbanismo

P. B. Facultad de Arquitectura

y Urbanismo de la Universidad Central

de Venezuela. Ciudad Universitaria,

Los Chaguaramos, Caracas.

(0212) 605.2094

Suscripciones

tycidec@gmail.com

Página en el Internet:

www.fau.ucv.ve/idec



Volumen 27. Número I
 Portada: Intervención gráfica de prototipo
 Sistema constructivo Idec-Sidetur
 enero - junio 2011
 Depósito Legal: pp.198402DC2604
 ISSN: 0798-9601

Tecnología y Construcción

Es una publicación que recoge textos inscritos dentro del campo de la Investigación y el Desarrollo Tecnológico de la Construcción:

- sistemas de producción;
- métodos de diseño;
- requerimientos de habitabilidad y calidad de las edificaciones;
- equipamiento de las edificaciones;
- nuevos materiales de construcción, mejoramiento de productos existentes y hallazgo de nuevos usos;
- aspectos históricos, económicos, sociales y administrativos de la construcción;
- análisis sobre ciencia y tecnología asociados a los problemas de la I&D en el campo de la construcción;
- informática aplicada al diseño y a la construcción;
- análisis de proyectos de arquitectura;
- reseñas bibliográficas y de eventos.

Tecnología y Construcción

Is a publication that compiles documents inscribed in the field of Research and Technological Development of Construction:

- production systems;
- design methods;
- habitability and human requirements for buildings;
- building equipment;
- new materials for construction, improvement and study of new uses of existing products;
- historical, economic, social and administrative aspects of construction;
- analysis of science and technology associated with research and development problems in the field of construction;
- computers applied to design and construction;
- analysis of architectural projects;
- bibliographic briefs and events calendar.

Comité Consultivo Editorial Internacional:

Argentina

Hector Massuh
 Centro Experimental de la
 Vivienda Económica CEVE
 Córdoba - Argentina
 casapartes@ceve.org.ar

Brasil

Francisco Vecchia
 Escuela de Ingeniería de San
 Carlos, Universidad de São Paulo
 Brasil
 fvecchia@sc.usp.br

Colombia

Maarten Goossens
 Universidad de los Andes
 Departamento de Arquitectura
 Bogotá
 m.goossens270@uniandes.edu.co

Chile

Luis A. Leiva
 USACH
 Universidad de Santiago de Chile
 lleiva@usach.cl

Cuba

Maximino Bocalandro
 CTDMC
 Centro Técnico para el
 Desarrollo de los Materiales
 de Construcción

Francia

Francis Allard
 Universidad de La
 Rochelle, LEPTIAB
 fallard@univ.lr.fr

Comité Editorial

Idalberto Águila
 Angelo Marinilli
 Azier Calvo
 María Elena Hobaica
 Helena González
 Beatriz Hernández

Editor

IDEC/UCV

Director

Michela Baldi (IDEC/UCV)

Comité Editorial

Alberto Lovera
 Alfredo Cilento
 Juan José Martín
 Marina Fernández
 Luís Villanueva

Diseño y diagramación

Rozana Bentos

Diseño de portada

Sven Methling

Corrección de textos

Helena González

Impresión

Editorial Ignaka C.A.

Consejo de Desarrollo
 Científico y Humanístico
 Universidad Central
 de Venezuela



CDCH

I notas biográficas I

Alfredo Cilento

Arquitecto (UCV, 1957). Profesor Titular. Decano de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UCV (1984-1987). Áreas de Investigación: Economía y Tecnología de la Construcción, Vivienda y Desarrollo Urbano. acilento@reacciun.ve

Antonio Conti

Arquitecto (UCV, 1974). Profesor asistente. Áreas de Investigación: Sustentabilidad, transferencia; tecnologías, procesos de producción y nuevos materiales para la industria de la construcción. aconti@idec.arq.ucv.ve

Alejandra González

Arquitecto (UCV, 1983). Magíster en Desarrollo Tecnológico de la Construcción IDEC/FAU/UCV (1991). Profesor agregado. Área de investigación: Desarrollo Tecnológico. alejandrag@idec.arq.ucv.ve
alejandra_gonzalezve yahoo.com

Gerardo Páez

Arquitecto (1992). Doctorado en Arquitectura-UCV. Magíster Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción. Arquitecto. Jefe de Cátedra de y Profesor Dedicación Exclusiva, categoría Asistente de la asignatura Expresión Gráfica. Adscrito al Instituto de Ingeniería Agrícola, en el pregrado de la Facultad de Agronomía de la UCV- campus Maracay. rafaelderardopaez@gmail.com

Nelson Rodríguez

Arquitecto (UNET, 1993). Doctor de la Escuela de Arquitectura de Barcelona-UPC. Profesor categoría Agregado. Área de investigación: Desarrollo Experimental de estructuras transformables, tensadas y textiles. nelsonalexander2@gmail.com

<i>Editorial</i>		Editorial	
		<i>Michela Baldi</i>	6
<i>Deployable structure of prebending flat grid shell</i>	artículos	Estructura transformable de malla de barras prelectadas	
		<i>Nelson Rodríguez</i>	9
<i>A learning experience on construction technologies under the constructivist paradigm</i>		Una experiencia de aprendizaje sobre tecnologías constructivas bajo el paradigma constructivista	
		<i>Alejandra González</i>	31
<i>Sidetur-Idec construction system. A network production of sustainable housing of progressive development.</i>		Sistema constructivo Idec-Sidetur. Un caso de producción en red de viviendas sostenibles de desarrollo progresivo	
		<i>Alfredo Cilento / Nelson Rodríguez / Antonio Conti</i>	41
<i>Buildings using hyperbolic paraboloids. Felix Candela's work in Mexico and Álvaro's Coto's work in Venezuela</i>		Edificaciones con paraboloides hiperbólicos. La obra de Félix Candela en México y de Álvaro Coto en Venezuela	
		<i>Rafael Gerardo Páez</i>	55
<i>Thesis proposals abstracts from our master's degree students in Construction Technology.</i>	postgrado	Proyecto de Formulación para optar por el título de Magister Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción	
		<i>Resúmenes de los trabajos</i>	73
<i>The work in the construction process</i>	documento	El proceso constructivo: la obra	
		<i>Rebeca Velasco Di Prisco, Gustavo Izaguirre Luna</i>	79
<i>Events</i>	reseñas	Eventos	
<i>IV Latin American Symposium on Tensile Structures</i>		IV Simposio Latinoamericano de Tensoestructuras	91
<i>Magazines and books</i>		Reseñas de publicaciones	93
<i>Norms for Authors</i>		Normas para autores	94

PUBLICACIONES 2012 CDCH-UCV

Bravo, Ricardo, Lucía Martino, Marcel Rupcich y Miguel Cerralaza
BIOMECÁNICA Y ANÁLISIS DE LA MARCHA HUMANA

Jáuregui Torres, Damelis
GUÍA ILUSTRADA DE LAS EPIDERMIS FOLIARES DE ANGIOSPERMAS PRESENTES EN VENEZUELA

López Villa, Manuel
ARQUITECTURA E HISTORIA. CURSO DE HISTORIA DE LA ARQUITECTURA. Vols. I y II
(2ª edición)

Perera, Miguel Ángel
VENEZUELA ¿NACIÓN O TRIBU? LA HERENCIA DE CHÁVEZ

Romero Vecchione, Eduardo, Yaira Mathison Natera y Francisco Rosa Alemán
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CLÍNICA

Saldivia, Carlos Miguel
ESTRATEGIAS DE ANESTESIA PARENTERAL EN CIRUGÍA DE PEQUEÑOS ANIMALES

Sedano, Mercedes
MANUAL DE GRAMÁTICA DEL ESPAÑOL, CON ESPECIAL REFERENCIA AL ESPAÑOL DE VENEZUELA
(Coedición con la Comisión de Estudios de Postgrado de la Facultad de Humanidades y Educación)

Nuestras publicaciones pueden ser adquiridas en el Departamento de Relaciones y Publicaciones del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, ubicado en la avenida Principal de La Floresta, Quinta Sileña, La Floresta, Caracas.

Teléfonos: 286.8648 (Directo) 284.7077 – 286.7666 • Fax: Ext. 244
E-mail: publicaciones@cdch-ucv.net

Igualmente, están disponibles en **Ventana UCV**, la nueva librería ucevista, ubicada en la planta baja del edificio de la Biblioteca Central.

Toda la información inherente al Programa de Publicaciones puede ser consultada en: www.cdch-ucv.net



EDITORIAL

Michela Baldi

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción.
Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Central de Venezuela

Con este número damos inicio a una nueva etapa de nuestra revista.

Adecuándose a los nuevos tiempos, en los que la velocidad de la información supera a veces la imaginación, *Tecnología y Construcción* pasa a formato digital, ofreciendo la posibilidad de consulta en línea, alojada en la página web del instituto: www.fau.ucv.ve/idec/, e incorporando así mismo el contenido de 27 años ininterrumpidos de publicaciones impresas al portal SaberUCV, con lo cual estaremos proporcionando un importante recuento de experiencias y propuestas de estudiosos y especialistas del quehacer constructivo en Venezuela y otros países a nuevos interesados y público en general.

La periodicidad de la revista será semestral, solventando así varias dificultades que se habían venido haciendo presentes desde hace algún tiempo, particularmente la financiera así como limitaciones de personal. Como ventajas, el nuevo cambio permitirá lapsos más cómodos para cumplir con aspectos operativos, y períodos más amplios para la recepción de artículos y sus respectivos procesos de arbitraje.

En esta nueva etapa nos proponemos continuar con la línea editorial que nos ha caracterizado a lo largo de todos estos años. Igualmente, mantendremos la estructura y las secciones que hasta ahora han integrado la revista.

A continuación, mencionamos el contenido de este número.

En el artículo "Estructura transformable de malla de barras preflexadas", se estudia la viabilidad técnica para obtener cubiertas en forma de cúpulas con elementos estructurales de acero curvados por flexión —barras preflexadas— a partir de mallas planas.

"Una experiencia de aprendizaje sobre tecnologías constructivas bajo el paradigma constructivista" reflexiona sobre el aprendizaje en desarrollo tecnológico y su efectividad al vincular lo teórico con la práctica constructiva.

En "Sistema constructivo Idec-Sidetur: Un caso de producción en red de viviendas sostenibles de desarrollo progresivo" plantea el viejo dilema de producción en gran escala en plantas de prefabricación pesada, planteando la alternativa de producción masiva de viviendas a través de múltiples operaciones mediante unidades de producción de pequeña escala y locales.

Finalmente en el artículo "Edificaciones con paraboloides hiperbólicos. La obra de Félix Candela en México y de Álvaro Coto en Venezuela" se reseñan las experiencias compartidas y su recuento histórico dejando constancia de las obras efectuadas en los años 1970 en nuestro país por Coto-Asenjo.

Sigue la sección dedicada a Postgrado, en esta oportunidad presentando los resúmenes de los trabajos para optar al título de Magister Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, y en la sección Documento, el trabajo "El proceso constructivo: la obra", producto de la recomendación del jurado examinador en ocasión de un concurso de oposición para optar al cargo de profesor en el área de construcción del Sector de Tecnología de la Escuela de Arquitectura Carlos Raúl Villanueva de la Universidad Central de Venezuela, en julio 2005.

Damos las gracias a los autores y evaluadores por su colaboración en la divulgación de experiencias y reflexiones para la innovación en el campo del quehacer constructivo. Igualmente queremos expresar nuestro deseo de que la edición digital sea aliciente para la producción de nuevos trabajos e instrumento para ampliar significativamente el universo de lectores y consultas.



saber.ucv.ve

Revista Tecnología y Construcción
en repositorio saber ucv

http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc

Estructura transformable de malla de barras plectadas

Nelson Rodríguez

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción
Universidad Central de Venezuela

Resumen

Se presenta una sucinta descripción de las potencialidades de las estructuras ligeras de rápido montaje, utilizando como método constructivo la preflexión de una malla plana para obtener una forma geométrica en equilibrio y rigidizada con una membrana textil pretensada. Se pone el énfasis en el proceso de búsqueda de la forma, proceso de montaje y el comportamiento estructural ante cargas externas que permiten definirla como una estructura transformable y plectada.

Abstract

Abstract A concise description of the potentialities of the light structures of rapid assembly utilised as a constructive method in the bending of a flat wire-netting to obtain a geometric balanced form with a prestressed textile membrane. The emphasis will be made in search of a process of form, assembly and the structural behaviour in the presence of faced-external weights which permits defining it as a deployable and prebending structure.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la tesis doctoral realizada por el autor, en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Escuela de Arquitectura de Barcelona (UPC), bajo la tutoría del Dr. José Llorens y del Dr. Ramón Sastre como co-tutor, con la asesoría del Dr. Jürgen Hennicke del Instituto de Estructuras Ligeras de la Universidad de Stuttgart y el Dr. Dieter Strobel de la empresa Technet (Stuttgart).

Es parte del problema de este trabajo la viabilidad técnica de obtener cubiertas en forma de cúpulas con elementos estructurales curvados por flexión, la búsqueda de la forma y el cerramiento de la cubierta con membrana textil colaborante para la estabilidad y rigidización estructural del módulo, así como también las formas de apoyo, sus detalles, uniones, componentes y su combinación con otros módulos, entendida ésta como una estructura transformable. En este sentido se asume como estructuras transformables toda estructura que tenga capacidad de moverse, plegarse, deformarse, cerrarse y abrirse por la acción de una fuerza externa, por lo cual precisa de mecanismos en los nodos que hagan posible la transformabilidad. Y por otra parte, se entiende como estructuras plectadas, un tipo de estructuras transformables compuestas por barras en forma ortogonal tipo malla que por efecto de una fuerza externa (en este caso de preflexión) es capaz de deformar la malla originalmente cuadrada a rombos.

Desde el punto de vista metodológico esta investigación tuvo dos fases fundamentales, la fase conceptual

Descriptor:

Estructuras transformables; construcción ligera; malla pre-plectada; método constructivo.

Descriptors:

Transformable structures; lightweight construction; pre-flexed mesh; construction method.

inicial que abarcó un estudio bibliográfico y de estudio de caso sobre estructuras de rápido montaje y los sistemas de tensión orientados al estudio de la taxonomía y clasificación de la tipología, geometría, generación de la forma, y los fundamentos técnicos y constructivos. La fase de desarrollo experimental que se presenta en este trabajo se realizó siguiendo la metodología definida por H. Berger (1996) para abordar un proyecto de diseño estructural. Abarcó tres etapas: el diseño conceptual, donde se contemplan las variables del contexto temático y la generación de alternativas de carácter exploratorio para su evaluación y selección. En esta etapa se construyeron modelos físicos cuyo objetivo fue estudiar las coordenadas, geometría y comportamiento global de la estructura durante el proceso de erección.

La segunda etapa está referida a la elaboración de modelos de simulación computarizada para determinar el comportamiento y prevenir aspectos colaterales no deseados como deformaciones y colapsos. Con estos modelos computarizados se estudiaron las coordenadas, geometría, forma de la membrana y el análisis de los esfuerzos iniciales necesarios para introducir la plectación en las barras, así como las tensiones para determinar los puntos críticos de la estructura. La tercera etapa está definida por la realización del diseño de componentes y detalles constructivos, haciendo especial énfasis en los nodos. Es en esta etapa donde se determinó la forma estructural definitiva y su dimensionamiento. Finalmente la comprobación se llevó a cabo a través de la construcción de un prototipo a escala real para estudiar los aspectos constructivos y de producción que inciden en el diseño. De acuerdo al esquema de Berger habría que comentar que las tres etapas fueron interdependientes por lo que los resultados, al afectarse entre sí unos a otros, establecen un camino interactivo de ida y vuelta entre las etapas, teniendo en muchos casos que revisar resultados de etapas anteriores para avanzar. En este artículo se presenta un resumen de este proceso.

Hay que aclarar que el cálculo matemático de las estructuras plectadas ha sido posible únicamente por métodos aproximados, aunque el estudio del comportamiento estático de las mallas y la influencia de las tensiones que actúan sobre los componentes estructurales es decisivo tanto para encontrar la forma como para su comportamiento como estructura, ya que en este tipo

de estructuras para cada estado de tensión corresponde una deformación.

Antecedentes

Como antecedente importante se puede mencionar que los trabajos directamente vinculados al sistema estructural referido en esta investigación de mallas deformables corresponden a los prototipos y estudios desarrollados por el Instituto de Estructuras Ligeras IL de la Universidad de Stuttgart aunque cabe destacar que las investigaciones realizadas por los profesores Frei Otto, Jürgen Henricke y demás miembros del equipo del IL no contemplaban la posibilidad de reutilización de la malla, ni su capacidad portátil. Estas estructuras pueden ser redefinidas como estructuras transformables si son vistas como método constructivo. La principal innovación de estos estudios y prototipos consistió en desarrollar un método de búsqueda de la forma, a través de los modelos de estructuras colgantes y basadas en el cálculo de la catenaria.

Malla espacial deformada

Frei Otto (1974) en el libro IL-10 define las estructuras de mallas por deformación como: "... una red formada por barras y nodos curvados en el espacio. Las barras originalmente forman una rejilla plana con distancia constante entre los nodos...".

Esta definición sólo abarca la configuración geométrica y es el ingeniero Edmund Happold (1976) en el artículo "Calculation of the Shell" publicado en el IL-13 Multihalle Mannheim, quien amplía la definición aportada por Otto e introduce las características del comportamiento de la malla cuando es mecanismo. En este sentido, afirma: "...Una malla de celosía es una superficie de doble curvatura formada por una red de barras de madera unidas por tornillos, espaciadas uniformemente en las dos direcciones. Cuando la malla es plana la celosía es un mecanismo (...) La malla está formada por elementos rígidos con fricción entre las uniones. Cuando una barra se mueve paralela a la otra causa en el cuadrado de la malla un comportamiento como un paralelogramo. Este movimiento causa cambios en la longitud de la diagonal entre los nodos del cuadrado original deformando la malla y conformando la doble curvatura (...) los gran-

des movimientos de la malla y los cambios en los ángulos entre las barras, indican que la forma global que se ha obtenido puede ser fácilmente alterada por cualquier fuerza que actúe sobre ella”.

A partir de las anteriores citas se puede elaborar una definición propia de las ‘mallas por deformación’. Para efecto de este trabajo, son todas aquellas formas constituidas por mallas originalmente planas de barras continuas preflexadas dispuestas en damero y unidas por nodos articulados. La superficie resultante, después de un proceso de transformación, permite soportar cargas mayores a su peso propio. Para diseñarlas precisan de un proceso de búsqueda de la forma y, para montarlas, necesitan de mecanismos en las uniones que permitan el cambio de forma, accionado, todo el sistema, por una fuerza externa que introduce una tensión de flexión a los componentes.

Métodos de diseño y obtención de la forma

Según Chris Williams (2000), profesor del Departamento de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad de Bath, obtención de la forma (*form finding*) para mallas deformadas, es el proceso mediante el cual se configura una geometría estructural capaz de soportar una carga. En este sentido, otro de los aportes de Otto fue desarrollar un método para obtener *form finding* a través del método de la forma suspendida deduciendo así los empujes de las mallas. El profesor Otto define el proceso de obtención de la forma como: “... un proceso donde la estructura es planificada y desarrollada. En cada fase, la forma de la estruc-

tura es tangible y visible. Un proceso de obtención de la forma (*form finding*) es un proceso interactivo optimizado. Cada fase provee una forma inicial que se convierte en la base para la siguiente fase. El criterio para este proceso de optimización es determinado por la relación entre la forma, la construcción y la función de la estructura. (..) La forma de la red cuando está extendida sobre un plano es cuadrada. Las líneas de la red son inicialmente rectas formando una rejilla ortogonal. El patronaje de la red colgante es el desarrollo plano y ortogonal de la forma curva. Éste contiene la longitud de todas las líneas de la red. (..) la forma suspendida es la forma de la curvatura de la red. Para la construcción de cáscaras, se voltea y complementa la forma de la red suspendida. Estas formas antes suspendidas como redes y luego invertidas configurando cáscaras, son predominantemente sinclásticas ...”

Lo que el profesor Otto refiere en esta definición es, en resumen, que en una malla todo lo que trabaja en una primera etapa a tracción, invirtiéndola en una segunda etapa, es solicitada a compresión por lo que el método desarrollado por el equipo del “IL” para diseñar formas fue una versión del método ideado por Gaudí a partir de los modelos colgantes. Este método genera bóvedas sinclásticas, es decir, aquellas superficies de doble curvatura y en el mismo sentido.

Los modelos suspendidos parten del concepto de catenaria definida como la curva que describe una cadena suspendida por sus extremos. La cadena toma por si misma una forma curva, bajo la acción de cargas constantes verticales, con lo cual la ecuación de equilibrio de la catenaria se puede definir como lo indica la figura 1.

Figura 1
Ecuación de equilibrio de la catenaria

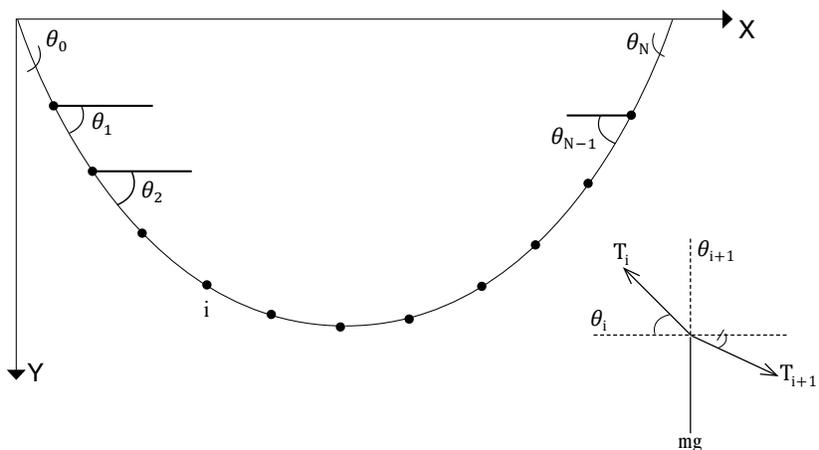
Cada punto estará sometido a tres fuerzas: su propio peso, la fuerza que ejerce el hilo a su izquierda y a su derecha. La condición de equilibrio para cada punto *i* de masa *m* se expresa:

$$T_i \cos \theta_i = T_{i+1} \cos \theta_{i+1}$$

$$T_i \sin \theta_i - T_{i+1} \sin \theta_{i+1} = mg$$

Fuente: Elaboración propia

Catenaria descrita por una cadena



Estructura transformable de mallas con barras plectadas

Como hipótesis de partida se puede asumir que la carga es proporcional al peso propio de la cadena, por lo que la línea de presiones toma la forma de una catenaria (línea de los cosenos hiperbólicos), por lo cual se infiere que la cadena, bajo una carga, se deforma aumentando su curvatura en el punto en que esta carga actúa. La curvatura de la cadena, entonces, variará según la posición e intensidad de la carga que actúe sobre ella.

Es por esto que la forma final de una malla suspendida configurada por pequeñas barras y nodos es semejante a una cadena de eslabones articulados, de igual medida y peso, conectados entre sí. Este modelo simula una malla de madera que resiste tensiones de compresión, pero en la malla suspendida, ocurren tensiones de tracción solamente y debido a que se encuentran bajo cargas muertas (peso propio) están libre de momentos. Para invertir y encontrar las coordenadas del modelo se realizó un proceso de fotogrametría (figura 2).

En otro artículo titulado "Calculation of the Shell", ya citado, el ingeniero Edmund Happold (1976), colaborador en el cálculo estructural de las cubiertas de mallas, afirma: "Los modelos colgantes son modelos funiculares que sólo contemplan peso propio y no resultan de las cargas de flexión. En la práctica la malla es sometida a cargas más grandes que el peso. Las deformaciones producidas por las cargas externas cambian la forma de la malla original funicular. Las fuerzas directas desde las cargas del funicular producen momento de flexión, el cual incrementa los momentos".

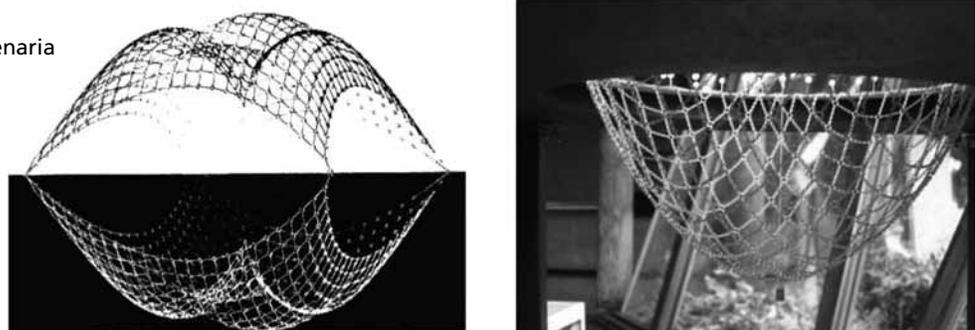
Las observaciones realizadas por Happold son para este trabajo particularmente importantes, ya que ubican el problema en las desavenencias que pueden existir entre

el método del modelo colgante para obtener la forma y el método para construirlas. En otro artículo titulado "An example of the staticanalytical computation for a suspended model" IL-10 publicado años antes por el profesor Lothar Gründig (1974) aclara con mayor nitidez este problema de los esfuerzos iniciales de la malla y además plantea la incidencia que tendrán los aspectos constructivos dentro del mismo: "Los momentos de torsión y flexión debidos a la rigidez de las barras de la malla, con seguridad no pueden ser despreciados... además de determinar los esfuerzos, también hay que considerar otros factores que pueden influir en la forma tales como: los aspectos constructivos de los nodos, tipo y material de cubierta y de las barras, método de montaje, entre otros. Teóricamente, la forma obtenida al deformar la barra está muy cerca de la catenaria obtenida en el modelo colgante, debido a la poca sección de las barras, pero nunca será igual a la forma obtenida en el modelo colgante debido a que son curvas de flexión, por lo que, la forma colgante, no podrá ser utilizada para el análisis estructural de los esfuerzos".

Esto demuestra, por lo menos en teoría, que la inversión práctica de la forma obtenida con el modelo funicular no es posible con estructura de elementos rígidos, ya que mientras en el modelo funicular los hilos flexibles (cadenas) se curvan formando una catenaria, los listones de la cúpula construida se deforman según curvas de flexión. La rigidez propia de los listones, inicialmente planos, proporciona una gran resistencia a la estructura cupular, con lo cual, no siempre todo lo que sucede en la tracción sucede en la compresión.

Es en este último aspecto donde este trabajo hace aportaciones: demostrar que la flexión inicial inducida en las barras puede ser utilizada como estrategia para otorgar rigidez y estabilidad a la estructura final. Es por ello que este trabajo analiza el comportamiento estructural de

Figura 2
Modelos colgantes por catenaria



Fuente: ILEK

la malla para verificar que esta flexión inicial no se traduzca para la estructura en roturas, colapsos, ni a zonas plásticas en el material, relacionando el proceso de búsqueda de la forma con los esfuerzos iniciales de la deformación de la malla, las propiedades del material, el proceso de montaje y los detalles constructivos. Considerar las sucesivas flexiones que suceden en la barra durante el proceso de deformación, significa que la forma dependerá de las características del material, de la sección y longitud de la barra, y de la carga externa aplicada para lograr la deformación a los efectos de la preflexión.

Fundamento geométrico del método por curvas de flexión como estructuras transformables

Cuando la malla es plana la celosía es un mecanismo articulado. A pesar de ello el nodo presenta fricción entre las barras que se mueven paralelamente entre sí, deformando cada cuadrado en rombo resulta que la malla se comporta como un paralelogramo. Este movimiento causa cambios en la longitud de la diagonal entre los nodos, donde dos de ellos se alejan (B y E) del centro (A) y dos de ellos se acercan (C y D) al centro (A). Las deformaciones significativas de la malla y los cambios en los ángulos entre las barras indican que la forma inicial fue alterada para conformar la doble curvatura, por tanto estos puntos no son coplanarios (figura 3).

Método de búsqueda de la forma por curvas de flexión

El método deberá tomar en cuenta:

1. Propiedades mecánicas de la barra
 - Módulo de elasticidad, Módulo de rotura, Resistencia a la flexión, Resistencia a la tracción, Resistencia a la compresión
2. Propiedades de la geometría del perfil de la barra
 - Área de la sección de la barra, Momento de inercia, Momento resistente a la flexión y a la torsión.

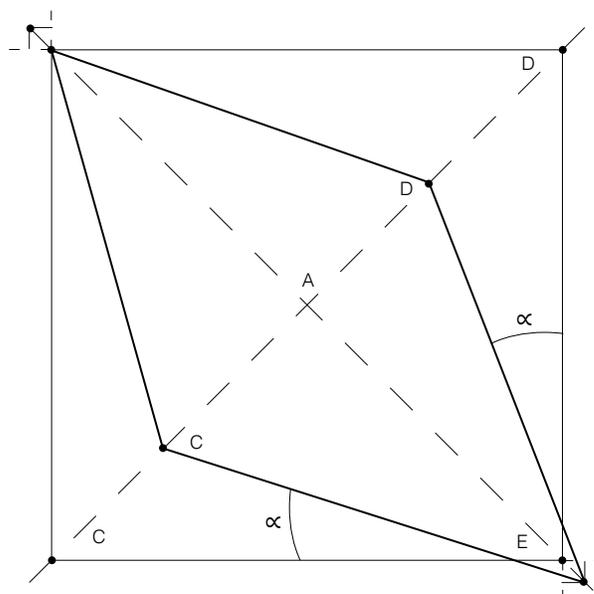
En términos globales la estructura debe cumplir los siguientes aspectos:

1. La condición de equilibrio donde las fuerzas en cada nodo libre es cero.
2. El material se comporta de acuerdo a la ley de Hook.
3. La geometría esta en estado de deformación
4. Para cada estado de tensión hay una deformación.

Búsqueda de la forma por el método de curvas de flexión (modelo físico)

Para la comprobación del método elaboramos modelos físicos experimentales a escala 1:10 en diferentes materiales (acero, madera y plástico) que nos permitieran encontrar las coordenadas de la cubierta, estudiar

Figura 3
Esquema geométrico



Fuente: Elaboración propia

el método de erección y sus implicaciones constructivas, la estabilidad estructural y la capacidad transformable de la malla. Los cuatro nodos centrales están fijos en el eje Z ya que están apoyados sobre una estructura y el resto está sin restricciones para lograr la deformación tal y como lo muestran las figuras 4 y 5).

Resultados: Comportamiento de la malla

En el centro de la malla se mantiene ortogonal y comienza a variar el ángulo hacia el perímetro tomando forma de rombo hacia las esquinas.

Comportamiento de los arcos

- Los arcos están definidos por 4 barras.
- El empuje lateral causado por los componentes de la malla hace que los arcos tomen una curva de flexión hacia afuera.

- Como son 4 barras formando los arcos perimetrales estos tienden a unirse entre los nodos si no hay separadores.
- Los perfiles huecos tienen mayor inercia y presentan mayor resistencia a la deformación, pero se traduce en mayor rigidez de la malla final.

Las barras de material plástico ofrecen ventajas a la estructura por ser muy flexibles, con altas resistencias y con una relación ventajosa en cuanto a peso/área cubierta, condición muy favorable a la hora de utilizarlas en una estructura transformable. En el proceso de deformación la transferencia de fuerzas entre los componentes estructurales se produce a través de la presión que ejerce un elemento sobre el otro, con lo que es previsible que las tensiones tiendan a incrementarse en los nodos.

Un aspecto que permitió estudiar el modelo físico fueron los diferentes ángulos de los rombos de la malla deformada (ver en figuras 6 y 7). Estos ángulos van cerrán-

Figura 4
Características del modelo físico experimental

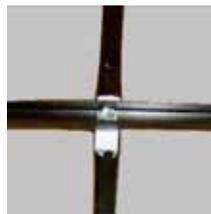
Retícula: Malla formada por un damero cada 160 mm (en escala cada 1 m) formada por 6 barras en las dos direcciones.



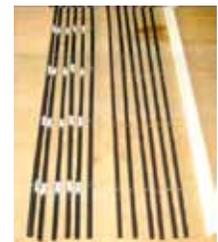
Bases: Barra maciza de perfil cuadrado de 5 mm x 5 mm para encajar en los extremos de la barras en "U", con un terminal de aro como anclaje.



Nudos: Formados por tornillos pasantes, arandelas y tuercas para generar presión sobre un trozo de perfil "U" encargado de unir las dos barras de perpendiculares colocado en el sentido inverso de las "U" de las barras.



Barras: Perfil "U" de plástico poliéster de 5 mm x 5 mm. perforadas cada 160 mm. Longitud simulada: 6 m Longitud real: 1 m Escala del modelo: 1:6 Ø simulado 30 mm.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5
Proceso de deformación del modelo físico experimental



Fuente: Elaboración propia

dose en la medida que se acercan a las esquinas perimetrales de la estructura, partiendo desde la configuración cuadrada, con ángulos de 90° en la cresta de la cúpula, hasta la configuración más cerrada que es un rombo con ángulos agudos de 63° en sus vértices en la periferia, cumpliéndose, de esta manera, el enunciado geométrico general para la obtención de la forma explicada al principio.

A este modelo físico se le colocó la membrana anti-clástica (superficie de doble curvatura en sentidos opuestos) tipo conoide, colgada de la cresta de la cúpula y unida a los bordes perimetrales para comprobar que la pretensión podía aportar la rigidización globalmente de toda la estructura y así, cada material aporta de acuerdo a sus características para lograr el equilibrio de fuerzas.

Al finalizar este proceso pudimos observar como las tensiones en la membrana tienden a concentrarse en el punto alto y en las cuatro esquinas, así como también que existe un punto de equilibrio entre la pretensión de la tela y las barras, puesto que si una de las dos (membrana y malla) excede en tensión la malla de barras preflectadas comienza a deformarse irregularmente.

Hasta este momento sólo se conocían las coordenadas de la forma y sus ángulos y se desconocía la carga exacta que hay que aplicar para deformar la malla y la flexión inicial

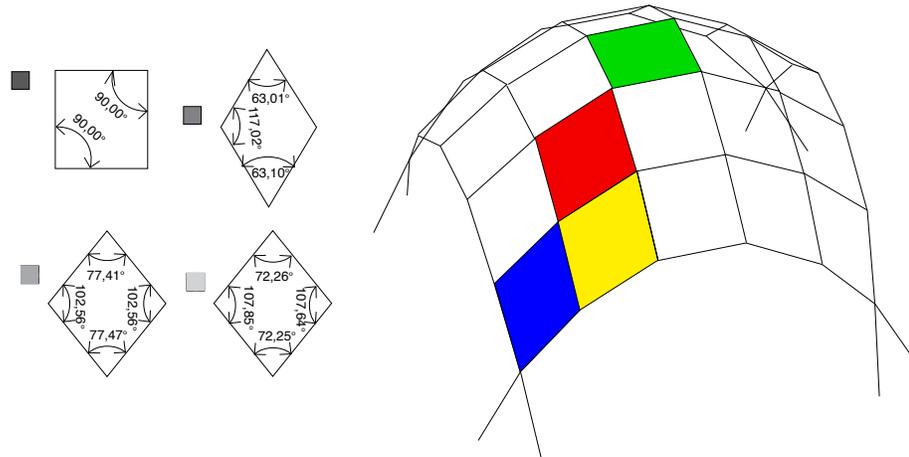
que produce esta carga. Para despejar estas incógnitas realizamos la simulación del mismo modelo por computadora.

Búsqueda de la forma por el método curvas de flexión (modelo por computadora)

Para realizar este estudio se utilizó el programa EASY® de la empresa Technet, programa de elementos finitos interactivo que calcula la forma a través del método de la densidad de la fuerza y un algoritmo usado para calcular estructuras de grandes deformaciones donde un área puede relajarse o aflojarse ante una fuerza externa y establece que la ecuación de una malla de doble curvatura es el resultado de la condición de equilibrio de cada nodo. Esta ecuación para cualquier punto "i" en cualquier lugar de la malla puede ser descrita como la estrategia que ilustra la figura 8.

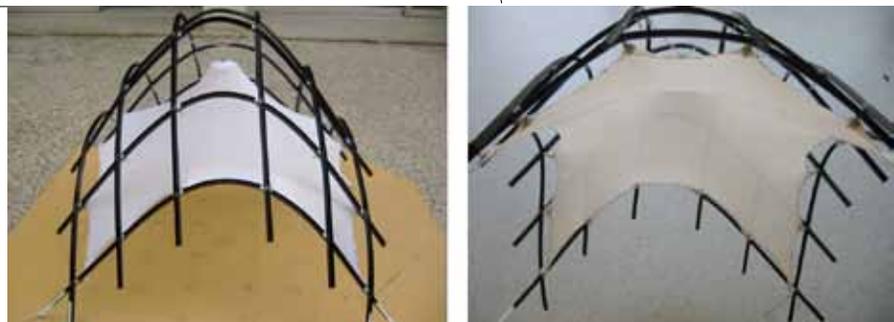
Hay que destacar que los ingenieros que desarrollan el programa Easy habían participado en el cálculo de los modelos colgados realizados en el Instituto de Ingeniería Geodésica conjuntamente con el Instituto de Estructura ligeras (IL) ambos de la Universidad de Stuttgart. Sin embargo, era la primera vez que el equipo, que asesoró el proceso de obtención de la forma para este trabajo, jun-

Figura 6
Modelo físico con membrana textil



Fuente: Elaboración propia

Figura 7
Modelo físico con membrana textil



Fuente: Elaboración propia

to con los tutores y el autor, participaba en la realización de los cálculos del proceso de obtención de la forma por plectación de las barras, lo cual significó la realización de pruebas para ir descartando posibles resultados y efectos no deseados. Las propiedades asignadas a los nodos tuvieron que editarse manualmente hasta lograr la simulación correcta, ya que el programa no contempla herramientas para realizarlo, como se dijo anteriormente. Siempre se tomó como referencia importante la mecánica del modelo físico en su proceso de deformación. Lo que se presenta en este apartado es un resumen de los pasos realizados.

Para que el modelo matemático simulara que la malla está conformada por nodos y barras pasantes y continuas, se separaron otorgándole a cada nudo un doble punto de giro (rot y rot') en los ejes x,y,z unidas por un resorte, tal como se indica en la figura 9.

Para efectos de la simulación se trabajó con datos de tubos de plástico reforzado con fibras de vidrio.

Tal y como se hizo en el modelo físico se colocaron restricciones en los cuatro nodos centrales evitando

su desplazamiento en el eje "Z" y permitiendo el giro en los ejes "X" y "Y".

Resultados:

Una vez construido el modelo con todas sus características y propiedades mecánicas y físicas (cuadros 1 y 2), se realizó el proceso de deformación de la malla, el cual consistió en aplicar a los nodos terminales, ubicados en los extremos de las esquinas, una carga que fue incrementándose hasta llegar a la relación arco-flecha igual a la obtenida en el modelo físico, es decir con una flecha de f= 2,10 m, una flexión máxima inicial de 0.359 KN con una carga 2,40 KN (cuadro 3 y figura 10).

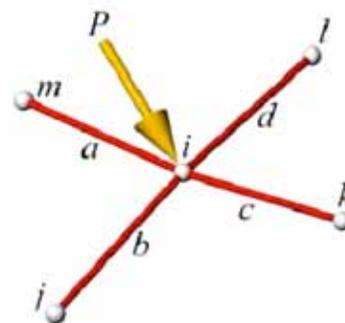
El valor de la flexión inicial, representado en la zona roja distribuida sobre el arco, depende del módulo de elasticidad del material, de las propiedades geométricas de la sección transversal de las barras y de la rigidez de las uniones en sujetar las barras para que no se produzcan desplazamientos. Se obtuvo una cúpula con una altura máxima de 3,26 m (cuadro 4).

Figura 8
Ecuación Densidad de la fuerza

$$\frac{X_i - X_j}{L_a} S_a + \frac{X_i - X_k}{L_b} S_b + \frac{X_i - X_l}{L_c} S_c + \frac{X_i - X_m}{L_d} S_d + P_{ix} = 0$$

$$\frac{Y_i - Y_j}{L_a} S_a + \frac{Y_i - Y_k}{L_b} S_b + \frac{Y_i - Y_l}{L_c} S_c + \frac{Y_i - Y_m}{L_d} S_d + P_{iy} = 0$$

$$\frac{Z_i - Z_j}{L_a} S_a + \frac{Z_i - Z_k}{L_b} S_b + \frac{Z_i - Z_l}{L_c} S_c + \frac{Z_i - Z_m}{L_d} S_d + P_{iz} = 0$$

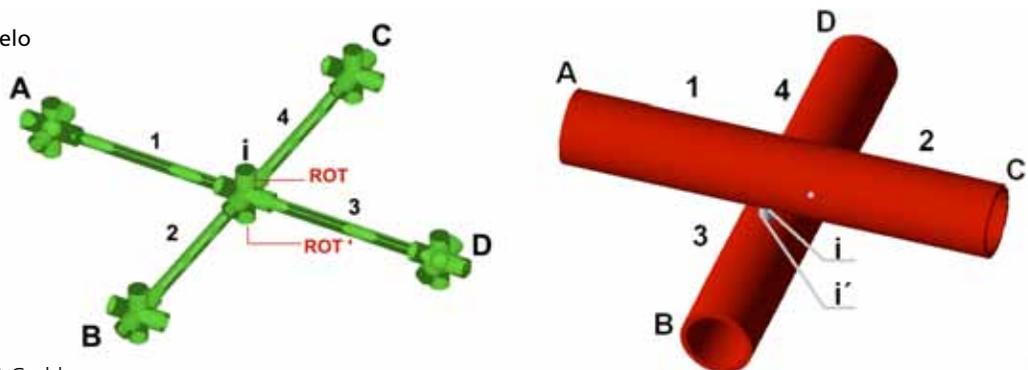


Donde:

x,y,z = coordenadas L_{a,d,c,d} = longitud de la barra P = carga externa S = fuerza de la barra

Fuente: Technet GmbH.Stuttgart

Figura 9
Construcción del modelo por computadora



Fuente: EASY® Technet GmbH.

Cuadro 1
Propiedades de la sección

Longitud de barras entre nudos (m)	1
Sección (mm)	Diámetro exterior (D)= 32 Diámetro interior (d)= 26
Espesor (mm)	3
Longitud (m)	6

Fuente: Datos suministrados por el fabricante NIOGLAS.

Cuadro 2
Propiedades mecánicas de la barra

Módulo de elasticidad (KN/m ²)	2,3 x 107
Resistencia a la rotura (KN/m ²)	6,5 x105
Resistencia a tracción (KN/m ²)	4x105
Densidad	1.650 Kg/m ³

Fuente: Datos suministrados por el fabricante NIOGLAS.

Cuadro 3
Carga para la deformación inicial

Carga final aplicada a los nudos (KN): 0,30	Cantidad de Nudos (Unidad): 8
Total de carga aplicada (KN): 2.40	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4
Resultados dimensionales

Altura Total Cúpula (m)	3,26
Flecha del arco (m)	2,14
Distancia entre apoyo (m)	4,90
Relación Luz/flecha	2,28

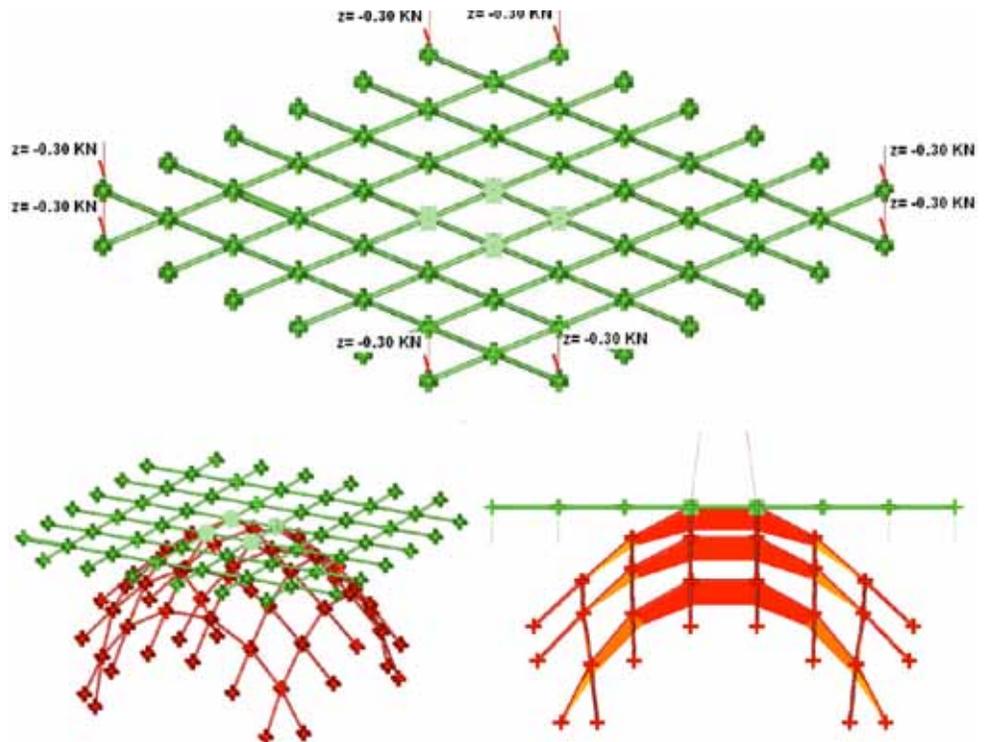
Fuente: Elaboración propia.

La forma encontrada no se puede relacionar con una bóveda por rotación ni por traslación, ya que la deformación y la disposición de las barras no presentan simetría radial y los arcos no son paralelos, ya que responde a curvas de flexiones distintas.

Comparación gráfica entre la geometría obtenida en el modelo físico y por computadora

Como se muestra en las figuras 11 y 12 los nodos de la base, si están unidos mediante una diagonal, éste entra en tensión y las fuerzas se anulan. Por lo tanto la resultante es cero con lo cual obtendremos una estructura totalmente en equilibrio, que comprende los esfuerzos de la preflexión inicial y el peso propio de la estructura. Es de

Figura 10
Introducción de la carga de preflexión modelo por computadora



Momento de Flexión Máximo: =0.359 KN

Fuente: EASY® Technet GmbH.

observar que los valores iniciales de preflexión se mantienen al colocar como riostramientos los tensores en la base.

do así la colocación de diagonales entre los rombos de la malla plectada.

Reacción = 0

Para el diseño de la membrana pretensada anticlásica se estableció su forma partiendo de los puntos generados por las barras para que pudiera unirse con los arcos del borde, en los puntos intermedios y en la cresta de la cúpula.

Esfuerzo de flexión inicial y con membrana

Como se observa en la figura 14 la preflexión inicial (0.359 KN) más la pretensión de la membrana no compromete el límite de rotura del material en virtud de que consume un 33,33% (216,65 N/mm²) de su capacidad, estando las barras críticas donde la membrana se une con las barras plectadas (figura 15).

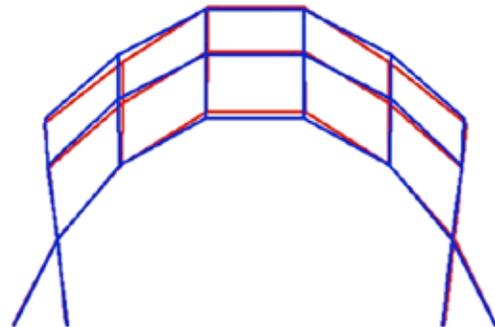
Colocación de la membrana pretensada

Una vez sometida a pretensión la membrana se encuentra en 0,32KN/m y se observó que el incremento en la preflexión inicial no fue significativo (figura 13), con lo cual se infiere que su aporte es a tracción evitando

Esta comparación entre la preflexión inicial y la preflexión más la pretensión de la membrana nos indica que la membrana no introduce un aumento considerable de la preflexión en las barras, pero sí contribuye a su rigidización evitando que entre las barras aparezcan diagonales

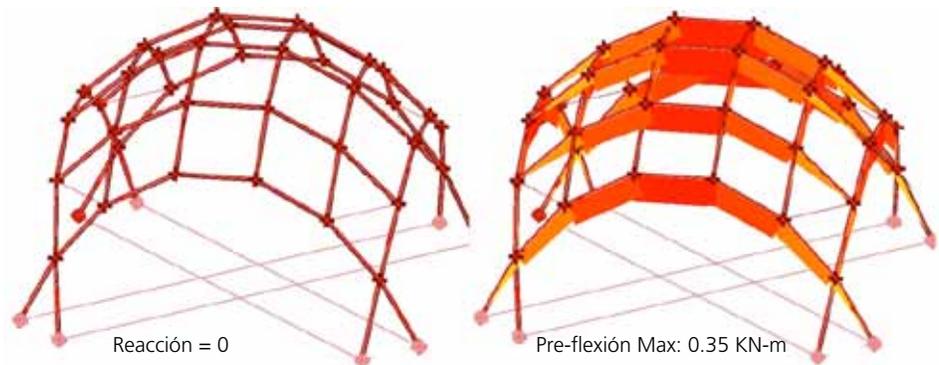
Figura 11
Comparación entre las coordenadas modelo computarizado y modelo físico

Línea roja: modelo físico
Línea azul: modelo computarizado



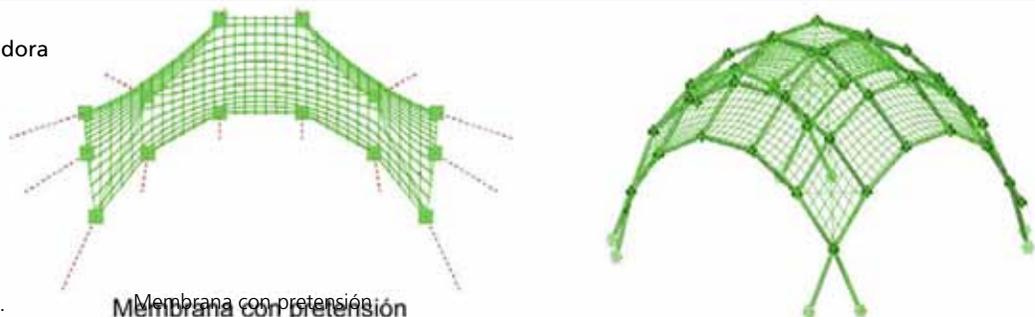
Fuente: Elaboración propia

Figura 12
Reacciones en los anclajes



Fuente: Elaboración propia

Figura 13
Modelo por computadora barras y membrana



EASY® Technet GmbH.

Membrana con pretensión

les distribuidas en toda la superficie. Como lo muestra la figura 16, del total de la tensión de la barra crítica 86,06 %corresponde a la preflexión y sólo 13,90% pertenece a la pretensión de la membrana.

El peso propio del módulo es el especificado en el cuadro 5.

Cuadro 5

Peso propio del módulo

Peso Propio Total Cubierta	67,334 Kg	6,733 KN
Peso Propio por cada nudo	1,870 Kg/nudo	0,187 KN/nudo
Peso Propio por m ²	2,804 kg/m ²	0,280 kN/m ²

Fuente: Elaboración propia.

Análisis ante una carga externa de viento

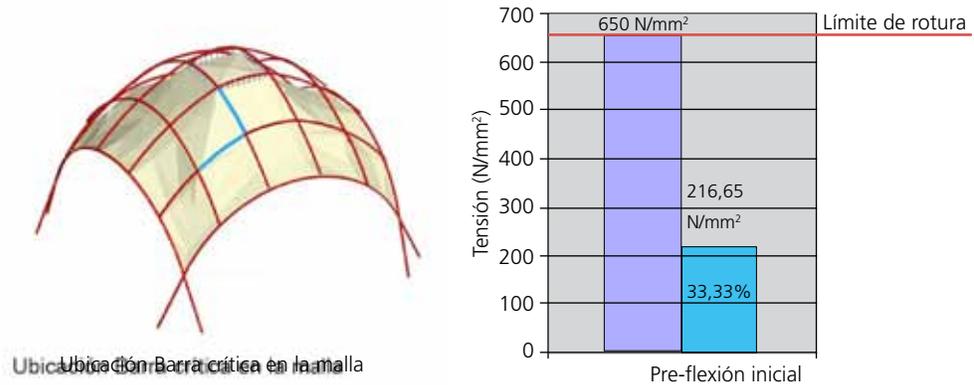
El objetivo de realizar esta simulación fue determinar las deformaciones de la estructura, los movimientos de los nodos y las tensiones de las barras críticas para comprobar que la estructura no supere su límite de rotura y entrar en colapso. A manera de ejemplo se presenta una sola hipótesis (viento a 90°). Para determinar los coeficientes de presión se realizó un estudio en el túnel de viento. Se introdujeron 17 casos de carga, actuando sobre la superficie de acuerdo al factor de carga, que es el producto

Figura 14
Modelo por computadora
barras con membrana
y la preflexión



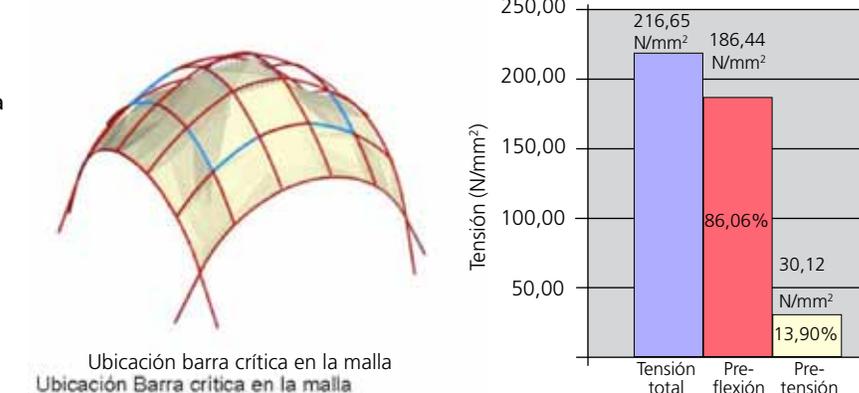
EASY® Technet GmbH.

Figura 15
Tensión crítica de la malla
pre-flectada



Fuente: Elaboración propia

Figura 16
Tensión crítica
de la malla preflexada
mas membrana pretensada



Fuente: Elaboración propia

entre la presión dinámica (50 Kg/m^2) y el coeficiente de presión indicada en el ensayo de túnel de viento a 100 Km/h .

Para el análisis de la estructura se utilizó el programa comercial EASY® v8 (Technet-Stuttgart). La deformación de la estructura está referida a los movimientos en los nodos por los desplazamientos que se producen en el eje X, en el eje Y, y en el eje Z, así como también los giros alrededor de los ejes X, Y, Z. Las cargas estuvieron repartidas en las barras y en la superficie de la membrana. Otro aspecto a considerar es que la simulación se realizó con laterales cerrados.

Deflexión en la malla

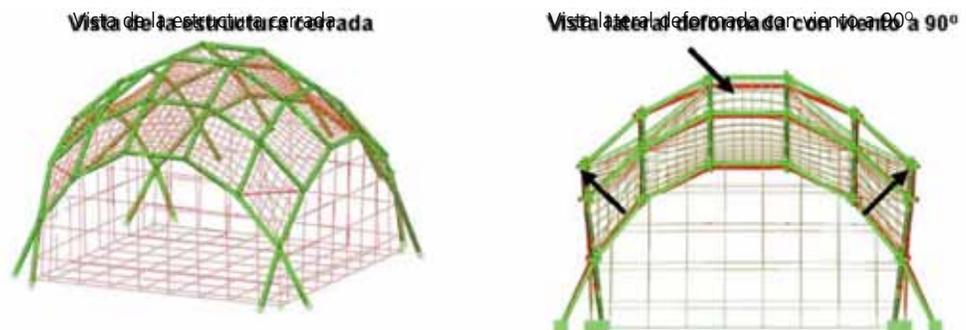
Se entiende como deflexión la distancia de separación de los componentes de la estructura a partir de sus posiciones originales sin cargas externas. La deformación total de la estructura se orienta hacia la misma dirección de la carga de viento. En la figura 17 se muestra a la izquierda el modelo sin carga y a la derecha se representa la deformación al aplicarle la carga perpendicular a la superficie de la membrana.

Como resultado tenemos unos desplazamientos máximos en los nodos con un total de 11 cm por la presión del viento sobre la cresta y en los arcos perimetrales; y la deflexión causada por la succión alcanza un desplazamiento de 5 cm . Hay que mencionar que esta estructura presenta grandes deformaciones, por lo que se consideran los cambios de forma de la cubierta importantes, y los desplazamientos significativos.

Como se puede observar en la figura 18 la preflexión aumenta en un $33,3\%$ a un $36,5\%$ con la carga de viento, este incremento en sí no es significativo. Es decir, la preflexión está actuando como rigidización de la estructura en su totalidad. Otro aspecto a destacar es que este valor de la flexión demuestra que el material está trabajando por debajo de su límite de rotura, por lo que se infiere que el comportamiento general de la estructura es elástico.

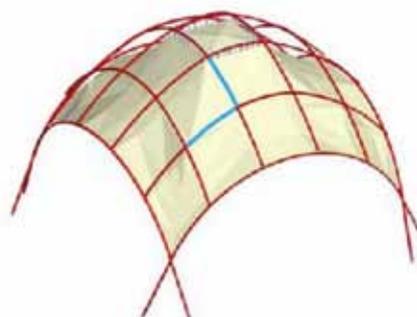
Para comprobar los resultados obtenidos y verificar el método de obtención de la forma por curvas de flexión realizado tanto en los modelos físicos como en los simulados por computadora, se construyó un prototipo a escala real con las mismas características de la malla deformada por computadora arrojando resultados altamente satisfac-

Figura 17
Deflexión de la malla

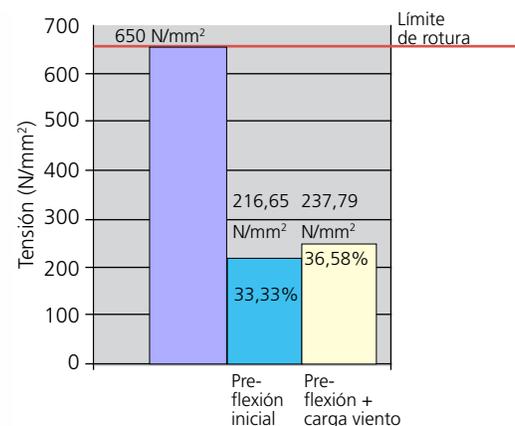


Fuente: Elaboración propia

Figura 18
Tensiones con carga externa de viento



Fuente: Elaboración propia



torios, que además permitió resolver los detalles constructivos de los nodos, anclajes, unión de la membrana con la estructura y comprobar todo el proceso de erección de la estructura (figura 19).

Nodos

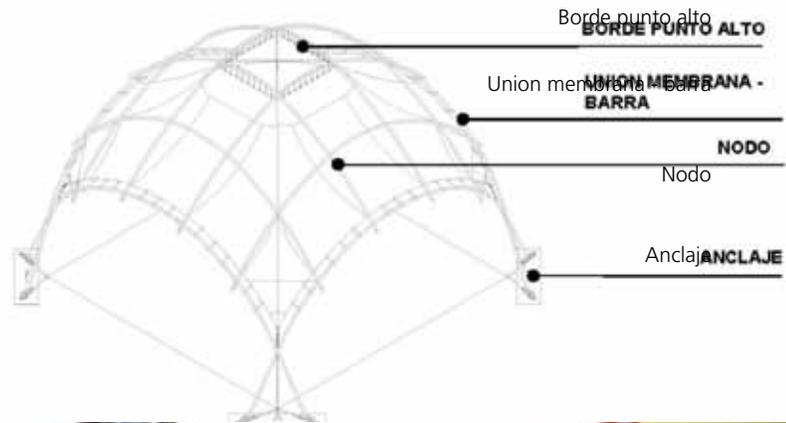
Los nodos fueron diseñados para presionar la barra entre sí debido a que el material no era posible perforarlo por sus características de plástico frágil, por lo que se utilizaron abrazaderas con sistema tipo clips con aislante, necesitando menos operaciones para el armado de la malla, permitiendo acoplarse a un rango de secciones, poseer buena resistencia a la tracción y tener, además,

un sistema de rosca interno para la conexión con la otra barra. Estas abrazaderas van unidas a unos platos metálicos que giraban y permitían la transformación del cuadrado en rombo, así como trancar el movimiento cuando el proceso de erección llegaba a su final. Para ello los platos disponen de una plancha metálica con ranura circular que abarca cualquiera de las posiciones finales del nodo dentro de la malla (figura 20).

Barras

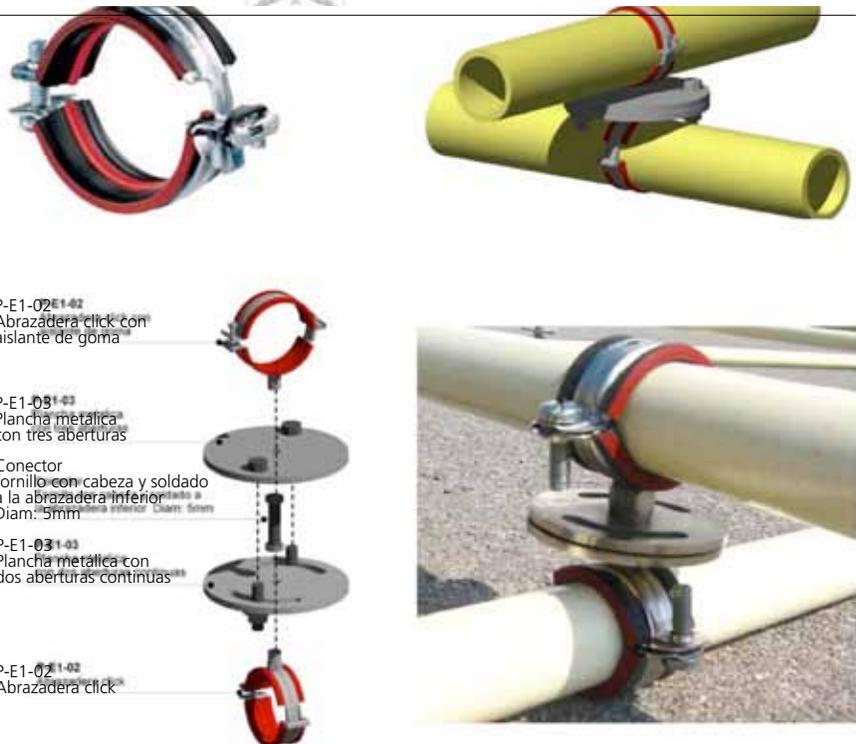
Las barras son de plástico reforzado con fibra de vidrio óptimo para una estructura transformable que debe ser ligera. También se puede señalar el excelente compor-

Figura 19
Diseño del prototipo



Fuente: Elaboración propia

Figura 20
Diseño del Nodo



Fuente: Elaboración propia

tamiento estructural de los perfiles de PRFV que, aunque frágil, es un material adecuado para trabajar a la flexión dada su alta resistencia a estos esfuerzos, siempre y cuando las fuerzas que actúan sobre él sean repartidas equitativamente a lo largo de la barra y no haya concentraciones de esfuerzos en puntos específicos.

Por otra parte, la longitud comercial de la barra de 6 m, además de ser liviana y fácil de transportar, produce una geometría proporcionada entre las alturas y las luces dado que por una parte permite el acceso al interior de la cúpula y por la otra, una vez dentro, se pueden realizar actividades.

Los terminales de las barras de las esquinas son de plástico macizo como transición entre el perfil del PRFV y la base metálica, la cual cuenta con un sistema telescópico de nivelación con tubos de acero. Este terminal en acero de las barras de los arcos contribuye con un peso inicial para el proceso de deformación (figura 21).

Bases y anclajes

La bases, ubicadas luego del terminal de las barras del borde, son articuladas con giro en un sentido (asegurado por el pasador) y en el otro sentido el tubo roscado permite corregir pequeños ángulos de dirección) esto con la finalidad de adaptarse a los ángulos finales de la malla. Esta pieza está conformada por la base giratoria, separadores y pernos de unión (figura 22).

La base está compuesta por 3 piezas metálicas: la primera es un tubo que se conecta a la barra maciza de PRFV que lo penetra. A este tubo, se le conecta una pieza de transición conformada por un pequeño tubo metálico roscado de menor tamaño para permitir giros en el sentido horizontal, y a este tubo se unen unas planchas para unirse a la base en forma triangular que tiene un agujero para articular la base durante el montaje y una ranura circular para poder colocar otro tornillo al concluir el proceso de montaje y adaptarse ángulo final con lo cual queda

Figura 21
Barras y terminales de las barras

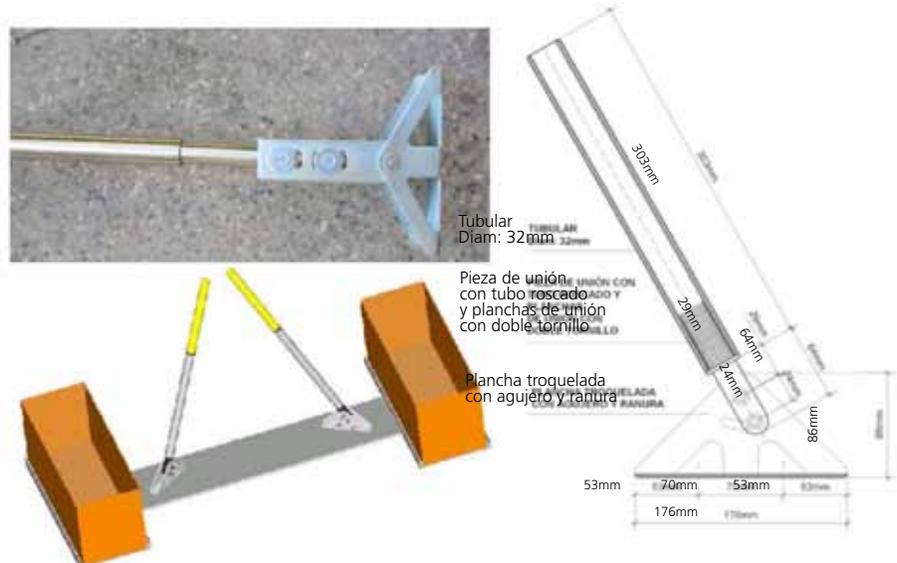


Terminales de barras del Borde



Fuente: Elaboración propia

Figura 22
Bases



Fuente: Elaboración propia

totalmente fijo en punto. Esta base tiene dos agujeros ovalados para unirse con la plancha que contiene los pesos.

Los anclajes son de planchas de aluminio estrellado y perforado para recibir las bases de la malla. Estas planchas están reforzadas con unos perfiles "U" y unos perfiles "L" remachados, donde serán colocados los pesos al plegar la estructura. La plancha cuenta con unas aberturas con separaciones de 80 y 70 centímetros para recibir las bases de la malla. El peso superficial es de dos piezas por cada anclaje de concreto, de 40 kg cada uno, para un total de 80 kg por base, alcanzando un total de 640 kg. Esta pieza va conectada a la base giratoria a través de 3 tornillos cabeza plana de 12,5 mm. (figura 23).

Unión entre la membrana y barras

La unión del borde de la tela con el arco perimetral de la malla plegada es a través de tiras de plástico Tirrak, colocadas al borde de la tela, con ojetes metálicos

por donde pasar este tensor de plástico que va a buscar la barra y a la vez tensar y sujetar la membrana.

El punto de unión de la membrana textil con el interior de la malla plegada es a través de un gancho de terminal abierto con doble sistema de roscado para poder tensar la membrana. En la membrana se colocará un refuerzo de láminas de plástico agujereadas para introducir el gancho y poder tensar la membrana en este punto y evitar la aparición de arrugas producto de imperfecciones en la fabricación o desplazamientos en el montaje (figura 24).

Armado de la malla

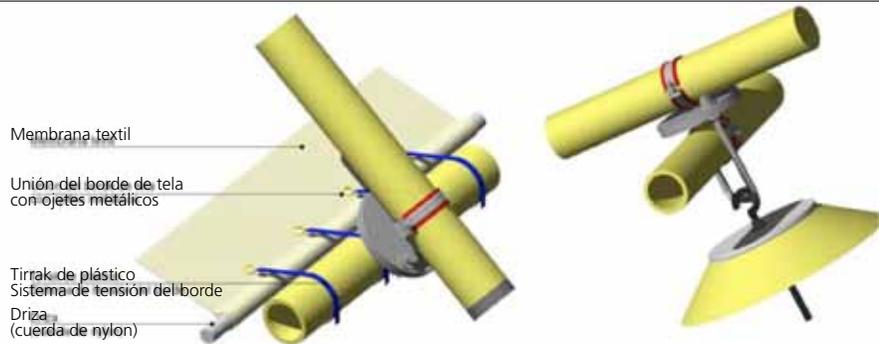
Para armar la malla se procede primero a colocar las barras y nodos centrales en ambos sentidos, seguido por la colocación de las barras inferiores en un sentido y colocación de todos los nodos. Seguidamente se colocan las barras superiores y se concluye el armado apretando los nodos con el sistema clips (figura 25).

Figura 23
Anclajes



Fuente: Elaboración propia

Figura 24
Unión entre la estructura y la membrana



Fuente: Elaboración propia

Figura 25
Armado de la malla



Fuente: Elaboración propia

Comprobación del primer nivel de transformabilidad de la malla

En este primer nivel de comprobación los nodos funcionaron perfectamente haciendo plegar la malla hasta su posición totalmente cerrada para ser transportada y abierta posteriormente para ser montada en el sitio. La longitud total de la malla plegada es de 12 m. (figura 26).

Proceso de erección

El proceso de erección se realizó con grúa y dentro de sus ventajas están:

- El proceso de deformación es homogéneo gracias a la fuerza mecánica que se le aplica desde la grúa.
- Es más fácil para controlar todo el proceso de preflexión.
- Es más rápido (tiempo: 5 min).

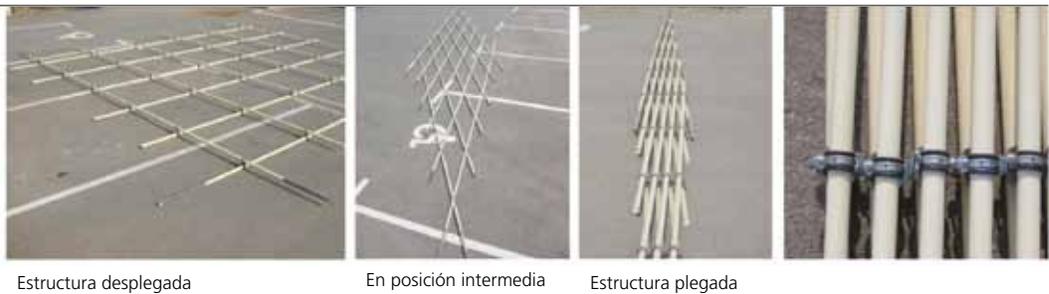
- Requiere máximo de cuatro operarios o menos (figuras 27 y 28).

Uno de los principales problemas que se tuvo que solucionar durante el proceso de montaje fue cuando la cúpula perdió la flexión de las barras internas al descolgarla de la grúa-pluma. Esto se debió a que las abrazaderas con el sistema clips no transmitieron suficiente presión sobre las barras, permitiendo que se deslizaran a nivel de los arcos de borde, presentando desplazamientos entre los 20 a 30 centímetros (figura 29).

Pérdida de la geometría y la preflexión

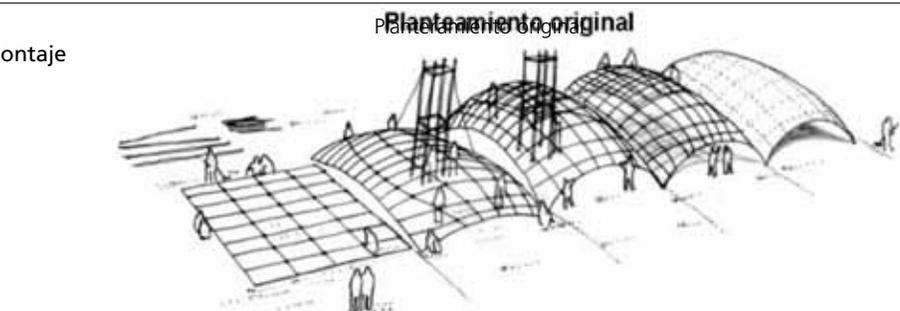
El rediseño consistió en asegurar que el nuevo nodo no permitiera a la barra desplazarse perdiendo así su eje. Se confinaron los nodos agregando a ambos lados de la abrazadera unos topes de plástico, encolados con resi-

Figura 26
Primera transformabilidad de la malla



Fuente: Elaboración propia

Figura 27
Boceto inicial del proceso de montaje



Fuente: Elaboración propia

Figura 28
Proceso de erección del prototipo



Fuente: Elaboración propia

na. Los topes son de sección más pequeña que la barra para aplicar presión, por otra parte se encoló con el mismo pegamento de resina un forro de goma a la abrazadera para que no se desprendiera del aro metálico de la abrazadera. Todos estos cambios se realizaron con el objetivo de aumentar el roce entre la barra y el nodo sin alterar considerablemente el aspecto del nodo tal y como se muestra en la figura 30.

Rediseño del nodo

En esta segunda oportunidad, una vez retirada la grúa, los nodos funcionaron muy bien al no permitir el desplazamiento de la barra, preservando su preflexión. Se

bloquearon los nodos con tornillos y tuerca y se eliminó el movimiento de rotación o giro del nodo que quedó en la posición correcta y sin presentar deformaciones ni excentricidades entre las barras. Los elementos de tope y aumento de roce funcionaron y no permitieron que la barra se deslizara a través de la abrazadera (figura 31).

Resultado final del prototipo

El resultado final fue una cubierta de un peso total/ área cubierta de $3,57 \text{ Kg/m}^2$, lo que significa que se obtuvo una estructura muy ligera. Las luces obtenidas en el prototipo son iguales a las teóricamente estimadas, mientras que las alturas presentan una diferencia de 9,3 % entre los

Figura 29
Pérdida de la geometría



Fuente: Elaboración propia

Figura 30
Nueva propuesta de nudo con topes



Fuente: Elaboración propia

Figura 31
Prototipo final construido



Vista de la estructura pre-flectada

Fuente: Elaboración propia

distintos modelos realizados y el prototipo. Esto se debe al asentamiento de la estructura que, una vez terminada, re-equilibra las fuerzas, abriendo los arcos del perímetro y descendiendo la cúpula.

Aplicaciones sugeridas

En el campo de las estructuras de rápido montaje se puede considerar que este trabajo constituye un aporte para la construcción de refugios temporales. Se definen como cubiertas mínimas, ligeras, modulares y sistematizadas que pueden ser dedicadas a cualquier actividad que necesite resguardo o protección de manera temporal. Debe satisfacer, por una parte la condición de abrigo y protección y, por la otra, participar en el entorno en que será puesto, así como también poseer implementos para su anclaje y garantizar estadía en el lugar.

En términos generales, un refugio puede desempeñar las siguientes funciones:

- Ofrecer protección contra los factores ambientales.
- Proporcionar almacenamiento a pertenencias y bienes.
- Marcación de propiedad de territorios para su resguardo o vigilancia.
- Establecimiento de centros comunales.
- Proporcionar intimidad.
- Proporcionar resguardo a personal o a equipos.

Los refugios pueden ubicarse principalmente en dos áreas: la primera, si consideramos el refugio como un objeto modular prefabricado compatible entre sí y cuya combinación permite crecer por sumatoria, para lo cual habría que desarrollar accesorios que permitieran su implemen-

tación como una tienda con características dependientes de la zona climática donde se quiera ubicar (figura 32).

Se puede mencionar como principales accesorios las fachadas de cerramientos laterales, anclajes y sobrecubierta.

La otra área de aplicación podría ser su implementación en el campo de las estructuras de rápido montaje como método constructivo, pudiéndose realizar cubiertas transformables con materiales de cada localidad que cumplan con la condición de tener capacidad para ser flectados.

Como ideas a desarrollar se proponen aplicaciones exploratorias del módulo, donde la estructura plectada se aplica como refugio modular de rápido montaje que incluye la incorporación de elementos laterales de protección como:

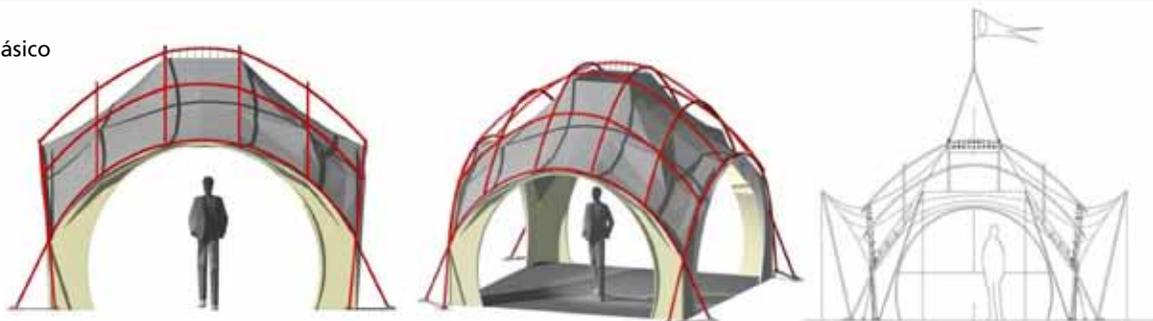
- Fachadas laterales
- Accesos y ventanas
- Piso textil, que sustituye los cables o cintas de arriostre inferiores

A continuación se presentan las alternativas de aplicación destacando sus dimensiones y áreas.

Combinación de crecimiento a partir del módulo básico

El carácter y la condición modular es muy importante, ya que puede, por la adición de varios módulos, obtener un gran espacio cubierto. Tal y como se comenta en artículo titulado "From small parts to large structure" de Marijke Mollaert (2001), donde se define que: "... Una unidad básica y elemental de tienda puede generar

Figura 32
Módulo básico



Dimensiones
4,40x4,40mts

h: 3,20mts

Área Útil: 16m²

Área Total de ubicación: 25m²

Fuente: Elaboración propia

grandes envolventes. Estas áreas pueden ser cubiertas por composición y repetición del módulo básico (...) cada módulo se soporta a sí mismo conectado por elementos de transición...”.

Esto indica que para el crecimiento y combinación del módulo es necesario unas zonas de transición que conecten los módulos y ofrecer las mismas prestaciones de resguardo y protección a la intemperie que el módulo en sí. La unión entre módulos de la cubierta experimentada se realiza a través de una conexión textil entre los arcos de los accesos permitiendo el crecimiento en los dos sentidos y continuidad espacial (figura 33).

El crecimiento horizontal en ambos sentidos se plantea por agregación de módulos. En la alternativa aquí descrita se proponen cuatro módulos partiendo del módulo base, conectados por los arcos laterales. En el centro de los cuatro módulos resulta un espacio que puede ser aprovechado para la ventilación del área cubierta o para colocar equipos que necesiten resguardo o exponerse y estar en contacto con el aire al exterior (figura 34).

Estas alternativas buscan demostrar que el módulo obtenido puede ser usado en diferentes funciones y combinaciones abarcando una gama bastante amplia de posibilidades de aplicación, así como también demostrar versatilidad de adaptarse a diferentes situaciones.

Estas alternativas de aplicación no sólo dependerán de la función a que se destine, sino también responderán a otras variables como las posibilidades de apoyo, que a su vez, dependen del tipo de terreno donde se ubicará el módulo, el medio de transporte, que puede variar según sea el caso de la accesibilidad y la variable más importante que es su frecuencia de uso, es decir el tiempo de permanencia de la estructura en funcionamiento. En la medida en que el tiempo de uso es menor las posibilidades de combinación entre los módulos se reduce por la cantidad de actividades que conlleva el montaje y desmontaje haciéndolo poco rentables, mientras que, cuando el tiempo de uso es mayor pueden generarse configuraciones de módulos más complejas y justificar la adición de accesorios o de componentes complementarios.

Figura 33
Crecimiento lineal con dos o más módulos básicos

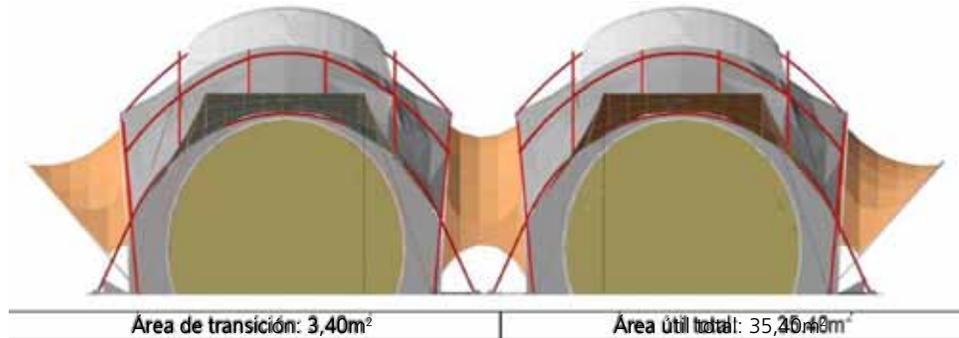
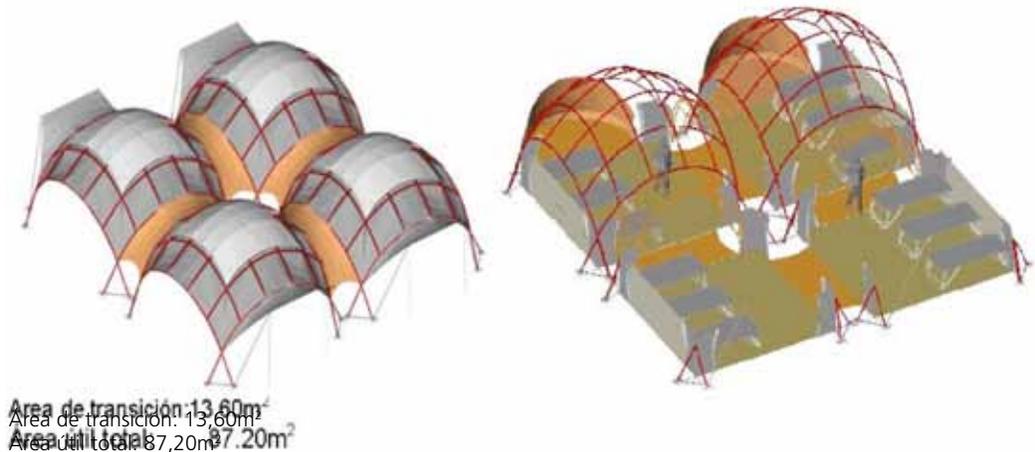


Figura 34
Crecimiento en dos sentidos con cuatro módulos básicos



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El método de obtención de superficies curvas partiendo de mallas planas, bidimensionales con nodos articulados, en nuestro caso es el resultado de someter previamente las barras a flexión aplicando cargas de igual magnitud y sentido en los elementos de la malla. Así se deforma homogéneamente, generando la cúpula apoyada en cuatro puntos con cuatro arcos perimetrales de bordes. En este sentido, se comprobó en la investigación experimental la íntima relación forma-estructura.

Las estructuras resultantes por deformación siempre necesitan estar precargadas por lo que requieren de un sistema adicional para aplicarles las cargas, diferenciándose método y geoméricamente de las formas obtenidas con los modelos colgantes. Este método, como herramienta de diseño, presenta problemas no resueltos entre la forma de la cubierta y la manera de ser construida y montada por cuanto los componentes están formados por curvas catenarias sometidas únicamente a tracción, bajo la acción de su peso propio que no toma en consideración uno de los elementos importantes en el diseño de mallas deformadas, que son los esfuerzos iniciales que se generan en la barra al ser doblada y no suspendida. Consideramos que no contemplar dentro del cálculo geométrico de la forma estos esfuerzos iniciales puede explicar lo sucedido en los prototipos y cubiertas construidas en la década de los sesenta-setenta donde muchos nodos se fracturaron durante el proceso de montaje.

En el método de las barras plectadas la longitud de la barra, el diámetro y su peso son factores determinantes para la obtención de la forma y, por otro lado, definen la fuerza inicial que hay que aplicar para deformar

la malla, la luz a cubrir, la relación flecha/peso y la relación área cubierta/peso.

Desde el punto de vista geométrico, para que la malla sea una estructura transformable requiere pasar de la configuración de damero original de la malla plana a rombos en la malla deformada. Es importante señalar que al retirar la fuerza inicial las barras pueden volver a su estado original de damero plano, pudiendo ser reutilizadas sin perder sus características resistentes, con lo cual hace que el ciclo de vida de los elementos componentes se alarga gracias a su reutilización.

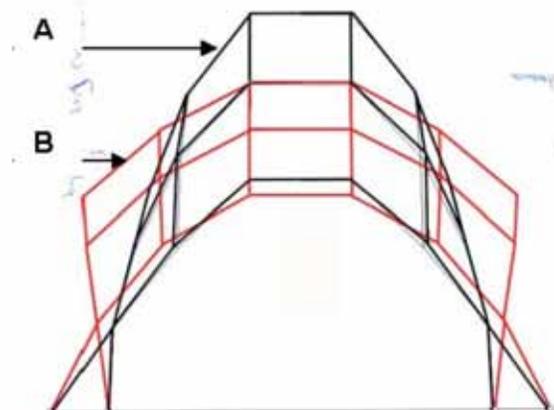
La figura 35 es una simulación computarizada que compara el resultado obtenido de deformar una misma malla con la misma carga.

La malla marcada con el literal "A", es una malla de hilos, la cual se deforma siguiendo la trayectoria de una catenaria. En la malla marcada con el literal "B" se caracteriza el material y su deformación por curvas de flexión (figura 35).

Esta comparación gráfica es importante destacarla, ya que expresa claramente los aportes de esta investigación. Es por ello que afirmamos que el método de curvas de flexión explica con mayor exactitud la mecánica de las estructuras plectadas que los métodos hasta ahora utilizados de los modelos colgantes, dado que son formas producto de la flexión y no de la catenaria. Como hemos mencionado, la malla debe su rigidez global a la flexión sobre el eje normal de las barras y a la rigidez de cada una de las uniones.

El comportamiento estructural de la malla a flexión depende de la sección de las barras, el valor del módulo de elasticidad y de la rigidez de las uniones, donde las barras transmiten fuerzas de compresión y la membrana de tracción.

Figura 35
Comparativa malla
en modelo colgante
y malla por curvas de flexión



Fuente: Elaboración propia

El funcionamiento del nodo satisfizo el proceso de abertura y cierre de la malla, permitiendo que ésta pase de la conformación geométrica de cuadrado (o damero) a rombos, exigencia indispensable que debía cumplir para ser una estructura transformable sin que se presenten desplazamientos importantes de las barras en los ejes "X" y "Y". Esto no se logra por sí solo. Es necesario mantener la preflexión de la malla debido a que el acabado de la barra es bastante liso y permite al nodo deslizarse sobre la barra, por lo que se hizo necesario introducir elementos adicionales para aumentar el roce entre los dos componentes. En términos generales el proceso de montaje se llevó a cabo sin que se presentaran roturas en las barras.

Desde el punto de vista de su producción se puede mencionar que la solución modular sistematizada y repetitiva tiene sentido en un proceso de fabricación industrial seriada, cuyo volumen de producción redunde en costos competitivos que puedan ser amortizados en el tiempo. Respecto a este aspecto, hay que mencionar que la capacidad de la estructura de ser 100% reutilizable y las expectativas reales de la utilización práctica de estas estructuras en nuevos usos en el marco de un ambiente tecnológico, social y económico contemporáneo, son indicadores de que existe un mercado cautivo y en crecimiento.

En el campo de la aplicación, también existe la posibilidad de utilizar la transformabilidad, estudiada y rese-

ñada en este trabajo como un método constructivo que reviste importantes ventajas ya que es producido totalmente en taller, permitiendo un control total de las variables de calidad y precisión, independiente de las condiciones climáticas. Concretamente, adquieren vital importancia para el diseño y construcción: las conexiones móviles, el proceso de cerramiento y el mecanismo de transformación, ya que de ellos dependerá que la solución sea viable técnica y económicamente competitiva, respecto a otras estructuras no sólo transformables, sino también armables, que tienen mucho camino recorrido.

Lo que se intenta decir es que no deben verse los resultados de esta investigación únicamente restringida a la aplicación de un módulo, sino que, desde una óptica más amplia y a la vista de los resultados obtenidos, se abren nuevas áreas de investigación en el desarrollo de las estructuras preflexadas.

Con esta investigación eminentemente experimental que abarcó desde los aspectos conceptuales hasta su comprobación estructural y de aplicaciones, se comprobó una nueva tipología estructural que sustituye peso por fuerza, pudiéndose llamar "estructuras preflexadas". Queda demostrado que al igual que la hormiga, se puede cargar con más peso que el peso propio del esqueleto sustentante, lo que se traduce en eficiencia estructural.

Referencias bibliográficas

Berger, Horst (1996). *Light structures structures of light : the art and engineering of tensile architecture*. Basel Birkhäuser, cop.

Gründig' Lothar (1974). "An example of the static-analytical computation for a suspended model", en IL-10. Institute for Lightweight Structures. Stuttgart, pag. 184-221.

Gründig' Lothar and D. Ströbel (2003) "Recent Developments in the analytical design of textile membranes" *Textiles Composites and Inflatable Structures*. UPC-CIMNE. University of Stuttgart.

Happold, Edmund (1976). "Calculation of the Shell", en IL-13 Multihalle Mannheim. Institute for Lightweight Structures. Stuttgart, pag. 60-98.

Mollaert, Marijke (2001). "From small parts to large structures". Baue mit Textilien Heft, pag. 1-9.

Otto, Frei (1990). Experiments. Form, force and mass. IL-23. Institute for Lightweight Structures. Stuttgart.

Otto, Frei (1973). "Estructuras, Estudios y trabajos sobre construcción ligera". Gustavo Gili. Barcelona.

Otto, Frei (1967). Tensile structures : design, structure, and calculation of buildings of cables, nets, and Pneumatic structures. Cambridge, MA London : MIT Press, cop.

Otto, Frei y Tange, Kenzo (1974). Grid Shells. IL-10. Institute for Lightweight Structure University Stuttgart. Stuttgart.

Williams, Chris (2000). The definition of curved geometry for widespan structures, Widespan Roof Structures. Spo Press. University of Bath. UK.

Una experiencia de aprendizaje sobre tecnologías constructivas bajo el paradigma constructivista

Alejandra González

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción. Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Central de Venezuela

Resumen

El aprendizaje en el área de tecnología en la carrera de Arquitectura es más efectivo cuando vincula lo teórico con la práctica constructiva real. Esta experiencia incluida en la oferta docente de dicho sector en 2009 tuvo énfasis en tecnologías de construcción en acero, teniendo como centro una tecnología en lámina galvanizada denominada SIPROMAT, desarrollada en el IDEC. Los resultados obtenidos fueron comprobables en términos de la medición del desarrollo de competencias: cognitivas, procedimentales y aptitudinales, mediante test exploratorios previos y evaluaciones posteriores.

Descriptor:

Acero; tecnología; módulo habitable; aprendizaje; innovador; constructivismo.

Abstract

Learning about technology in the Architecture career, is more effective when theoretical knowledge is linked to actual building practice. Courses offer in this field in Universidad Central de Venezuela in 2009 emphasized on steel building technologies, especially studying a galvanized steel sheet technology named SIPROMAT, which was developed at Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). Results were verifiable regarding competencies development measurement: cognitives, and procedures and abilities related, through preliminary test and subsequent evaluations.

Descriptors:

Steel; technology; living house module; learning; innovative; constructivism.

Caracterización de la enseñanza de las tecnologías de construcción en Arquitectura y contribución del IDEC¹

En el Plan de Estudios vigente de la carrera de Arquitectura de la Universidad Central de Venezuela, aprobado en Consejo de Facultad el 17 de febrero de 1994, se puede constatar que la estructura de la formación del Arquitecto que egresa de esa casa de estudios se soporta en seis sectores de conocimiento: Diseño, Tecnología, Métodos, Acondicionamiento Ambiental, Estudios Urbanos e Historia y Crítica. "El Sector de Tecnología tiene como campo específico de incumbencia el de las variables técnicas involucradas en la producción del objeto arquitectónico, las cuales incluyen el campo de la construcción, la gerencia de construcción, el campo del diseño estructural y el campo de los sistemas de instalaciones" (FAU; 1995, p. 103).

Este sector de conocimiento estructura su oferta docente, al igual que el resto, en función de los ciclos: primero (Semestres 1 y 2), segundo (Semestres 3º a 8º) y tercero (9º y 10º). Cada ciclo posee objetivos específicos. En el Primero se "procura el desarrollo de destrezas iniciales propias de la formación universitaria y de la disciplina de la Arquitectura" (FAU, 1995, p. 35). En el Segundo se profundiza "desarrollo de destrezas cognitivas propias de la carrera, incluyendo el manejo crítico de conocimientos sustantivos y complementarios pertinentes a la formación profesional" (FAU, 1995, p. 36). Y por último en el Tercero se "posibilita la síntesis cognoscitiva con base en la formación lograda en los ciclos anteriores y estimular

el desarrollo de posturas individuales y creativas frente a la arquitectura, que superen el manejo básico del oficio” (FAU, 1995, p. 37).

Estos ciclos, en el caso específico del campo de las tecnologías, se diseñan en función de tres áreas temáticas a saber: Construcción, Instalaciones y Aspectos resistentes. Cada una de ellas a su vez se estructura de la siguiente forma (FAU, 1995, p. 103):

1. Construcción:
 - a. Línea de Materiales
 - b. Línea de Procesos constructivos
 - c. Línea de Topografía y Suelos
 - d. Línea de Seguimiento de obras
 - e. Línea de Práctica Profesional
 - f. Línea de Patología, mantenimiento y reciclaje de edificaciones
2. Instalaciones
 - a. Línea de Instalaciones Sanitarias
 - b. Línea de Instalaciones Eléctricas
 - c. Línea de Instalaciones Mecánicas
 - d. Línea de Instalaciones Especiales
3. Aspectos Resistentes
 - a. Línea de Diseño Estructural
 - b. Línea de Cuantificación y Dimensionamiento Estructural

El Plan de Estudios especifica que las asignaturas Optativas “son materias destinadas exclusivamente a la innovación del conocimiento dentro del campo de la tecnología; por lo cual su creación, transformación o sustitución deberá ser el resultado de una investigación...” (FAU, 1995, p. 106). Y más adelante cita: “...tiene especial importancia para la conformación de la oferta de materias optativas del Sector: a. La relación del Sector con el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, IDEC..., las materias optativas pasan a constituir la vía para la incor-

poración de los contenidos e innovaciones que se desarrollen a través de las investigaciones del IDEC;...” (FAU, 1995, p.106). Estas asignaturas optativas aportan un total de diez (10) créditos en la formación total del Arquitecto.

En la actualidad el Sector Tecnología está integrado por un total de 36 profesores: 2 Titulares (5,5%), 4 Asociados (1,1%), 2 Agregados (5,5%), 9 Asistentes (25%), 10 Instructores (27,7%) y 9 Docentes temporales contratados (25%), según datos de la Coordinación de Docencia Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) para Diciembre 2010. Como puede observarse el 52,7% se concentra en instructores en período de formación y profesores contratados que aún no han ingresado al sistema de escalafón universitario. Desde el punto de vista de las dedicaciones, los datos para la misma fecha y la misma fuente indican que 5 son convencionales 3 horas; 13 convencionales 6 horas; 9 medio tiempo (20 horas de dedicación), 5 tiempo completo (36 horas de dedicación) y 4 dedicación exclusiva (40 horas de dedicación). En este sentido podemos observar que 18 de los profesores (50%) se concentran en las dedicaciones más bajas.

De este universo de profesores podemos inferir que solo 9 (25%) pudieran estar realizando investigaciones que generaran conocimientos para ofrecer asignaturas optativas. Ello nos lleva a afirmar que la actual oferta docente de asignaturas optativas del Sector Tecnología es insuficiente, dado que el mayor porcentaje de la planta profesoral del sector se encuentra dedicado a cubrir la oferta de docencia de materias obligatorias por tanto, el aporte del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción IDEC de la FAU es fundamental en la oferta de asignaturas optativas. Toma relevancia entonces lo contemplado en el Plan de Estudios en torno al aporte que se espera de los institutos de investigación, en este caso específico del IDEC en cuanto al campo de conocimiento de la tecnología.

Figura 1
Alumnos
realizando prácticas
de ensamblaje
de la tecnología
Sipomat en la
planta El Laurel



Desde el año 1998 el IDEC ha participado ininterrumpidamente en la oferta de asignaturas para el sector Tecnología. Esta participación se ha dado en los últimos cinco años a partir del dictado de las asignaturas: Diseño y producción de componentes y sistemas constructivos en acero, Estructuras tensiles, Sostenibilidad de las edificaciones en acero, Tecnologías para la construcción sostenible y Producción de edificaciones modulares en acero.

La asignatura “diseño y producción de componentes y sistemas constructivos en acero” se viene dictando desde el año 2004. La misma es producto de varios proyectos de investigación y de trabajos de ascenso del Área de Desarrollo Tecnológico, en la línea de investigación del material acero desde el año 1992. Esta asignatura precursora de esta línea de optativas, abrió paso a la experiencia que en este trabajo presentamos denominada “Construcción de viviendas modulares de condición apilable y crecimiento progresivo con tecnologías en acero”.

El temario de la asignatura se centra en tres bloques de conocimiento: caracterización general de las técnicas tradicionales de construcción predominante para viviendas en Venezuela, SIPROMAT tecnología de carácter innovador en lámina delgada de acero, y desarrollo de proyecto y fabricación de un módulo habitable de carácter progresivo, transportable y apilable.

Pero el aspecto más innovador de la concepción de esta asignatura está centrado en la metodología y las estrategias de facilitación del aprendizaje, empleadas para su dictado a lo largo de todos estos semestres, con especial énfasis en lo realizado en el último período Intensivo del período lectivo 2010, y el cual abordaremos de manera detallada más adelante (figura 1). Este hecho da carácter a la experiencia y la saca parcialmente del paradigma “conductista” frecuentemente utilizado en la enseñanza y que tiene como emblema funcional la clase magistral con

o sin apoyos de tipo audio visual (proyecciones en *Power Point*) para la “transmisión”² del conocimiento y en el caso particular de Arquitectura, la sesión de corrección maestro-discípulo en el escenario del Taller de Diseño.

En este tipo de experiencia se trabaja con énfasis en la “construcción colectiva del conocimiento” mediante la experiencia de integración del facilitador y el socio de aprendizaje³, a partir de la proposición de experiencias de aprendizaje complejas, la reflexión comparativa, la incorporación de técnicas y dinámicas novedosas para el intercambio, la ejecución “real” de tareas constructivas y la orientación de la experiencia hacia motivaciones reales de los participantes (figuras 2 y 3).

Objetivos de la propuesta instruccional

A pesar de los avances que en materia de ciencias cognitivas se han dado en el mundo, aún la cultura educativa o pedagógica de gran parte de nuestras instituciones se centra en los métodos tradicionales de “transmisión del conocimiento”, y de un proceso entendido como unidireccional, del maestro al discípulo. De esto no escapa la tradición pedagógica de nuestras universidades, incluso se agrava en el nivel de educación superior, incluso reconociendo que en general ha habido una importante incorporación de nuevas técnicas en la enseñanza y que la Facultad de Arquitectura en particular posee una interesante apertura hacia dichos cambios.

El estudiante que se incorpora a la carrera asume una propuesta curricular en cuya definición no ha participado en absoluto, y acepta de manera pasiva la propuesta o modelo instruccional que le ofrece la institución y el estilo docente que le ofrece el profesor, en muchos casos carente aún de formación docente formal y en el mejor



Figura 2
Izando un plano
portante Sipromat
en una explicación
en planta

de ellos con alguna formación docente básica, refrendada por algunos años de experiencia práctica.

El hecho tecnológico-constructivo, fase fundamental de la Arquitectura como disciplina, es esencialmente práctico y rigurosamente ligado al quehacer constructivo de la cultura en la que se inserta. Ello hace aun más complejo el reto de facilitar procesos de desarrollo de destrezas y competencias cognitivas, procedimentales y aptitudinales en los estudiantes de esta carrera (saber, hacer, ser).

Algunas investigaciones sobre las competencias menos presentes en los egresados de la carrera de Arquitectura señalan claramente la carencia de conocimiento significativo⁴ de tecnologías y procesos constructivos aplicables a sus proyectos y una incipiente experiencia en el campo constructivo.

El estudiante de Arquitectura recibe de manera "sectorizada" y principalmente teórica los conocimientos de diseño y tecnología así como las del resto de su formación, y en su mayoría poseen manifiestas y profundas dificultades para integrar dichos conocimientos de manera individual.

El estudiante de Arquitectura suele diseñar sus proyectos asumiendo por defecto que ellos serán construidos en concreto, mampostería, cemento y cabillas, los materiales fundamentales de nuestra cultura constructiva y a partir de la aplicación del modelo estructural aportado. Esta realidad trae como consecuencia una manifiesta dificultad a la hora de afrontar el desarrollo de detalles constructivos de sus proyectos, una baja creatividad en la diversidad de propuestas materiales, formales y estructurales, y una latente dificultad para trabajar, multidisciplinaria o transdisciplinariamente.

El objetivo es lograr una mayor participación del estudiante en la propuesta instruccional, una mayor conexión con problemas reales que motiven su interés,

un incremento de las actividades de carácter práctico, una propuesta de desarrollo y evaluación de competencias más integral y una más esmerada conexión personalizada con la diversidad de experiencias cognitivas previas que poseen los participantes.

Ibañez (1994), en su magnífico artículo sobre la construcción del conocimiento desde una perspectiva socio-constructivista, afirma: "... las tecnologías son producciones sociales que resultan de determinadas prácticas humanas, que tienen un carácter socio-histórico, que son en definitiva construcciones sociales".

El conocimiento, comprensión y aplicación de la tecnología Sipromat, permitió la creación de un escenario de aprendizaje que como veremos más adelante, propicia y estimula el cambio de paradigma en materia de construcción que nuestros estudiantes poseen y a su vez, a partir de la contrastación de experiencias constructivas tradicionales y no tradicionales, motiva una reflexión a mayores niveles de complejidad (Morin, 2005).

El enfoque de esta propuesta instruccional aspira desarrollar en el estudiante las competencias necesarias para entender el carácter heterogéneo de la producción de edificaciones con tecnologías tradicionales, representado en la variada intervención de insumos provenientes de diversas industrias, así como su carácter discreto definido por la necesaria fabricación del producto en largas y repetitivas jornadas de producción. Pero a su vez también pretende contraponer estos conceptos a los principios aportados por las tecnologías no convencionales que utilizan menor diversidad de insumos y procedimientos de ensamblaje seco y rápido, que sin duda conducen a un mayor rendimiento de la producción de las edificaciones y a la yuxtaposición de actividades en fábrica y en obra que permitirían incluso reducir la jornada de manera drástica.

Figura 3
Estudiantes en
tareas de
construcción de
módulos Sipromat
y colocando
fijaciones



Las premisas básicas del paradigma epistemológico constructivista

La tradición pedagógica se basa en el paradigma epistemológico positivista de la ciencia que dirigió conceptualmente el mundo por casi tres siglos, con énfasis en la segunda mitad del siglo XIX y la primera del XX a partir del Positivismo Lógico. Este enfoque epistemológico se ha basado en suponer que "...fuera de nosotros existe una realidad totalmente hecha, acabada y plenamente externa y objetiva, y que nuestro aparato cognoscitivo es como un espejo que la refleja dentro de sí, o como una pasiva cámara oscura o fotográfica que copia pequeñas imágenes de esa realidad exterior..." (Martínez, 2009, p.52-53).

Podemos hablar de cinco generaciones de enfoques epistemológicos relativos a la experiencia de enseñanza aprendizaje, su planificación y el diseño instruccional correspondiente. Muchos de ellos coexisten en nuestro mundo contemporáneo aunque surgieron en distintos y definidos momentos.

La primera generación, alrededor de los años sesenta, directiva, típicamente conductista, causa-efecto, estímulo-respuesta, orientada a la modificación de conductas o comportamientos observables, cuya evaluación mide fundamentalmente contenidos, y lo evaluado es el producto, no así el proceso. La segunda generación, hacia los setenta, empieza a considerar la participación del estudiante de forma más dinámica y activa, habla de procesamiento de la información, memoria, e inicia la evaluación del proceso. Es considerada una fase de transición. La tercera generación, representativa de los ochenta, se basa en la teoría cognitiva, entiende y reconoce el proceso, identifica los aspectos fundamentales o básicos del proceso cognitivo o de las funciones de la mente (análisis, síntesis, clasificación, comparación, observación, memoria, entre otros), y a su

vez también reconoce habilidades superiores de la mente como toma de decisiones, resolución de problemas, creatividad, habilidad para planificar, etc. En la cuarta y quinta generación la palabra y el pensamiento son considerados dos procesos mentales fundamentales. Integra la visión constructivista de proceso y producto, tiene conciencia del valor de la cultura y la sociedad en el aprendizaje, propone la complejización del proceso, la conciencia del otro y la aceptación de la diversidad. Y específicamente en la quinta generación incorpora las tecnologías informáticas y los conceptos de meta-cognición, por tanto de consciencia del propio proceso y forma de aprender. Se considera que la percepción empírica, basada en la participación de los sentidos en la captación o aprehensión de la realidad, es una pequeña parte de los innumerables aspectos que condicionan la percepción humana. Toda sensación fisiológica a partir de cualesquiera de los sentidos es, desde el mismo instante de su ocurrencia, una percepción cargada de significados subjetivos asignados a partir del conocimiento previo que posee de manera genética, experiencial y/o adquirida intelectualmente, el sujeto que participa. En otras palabras ha quedado demostrado que "el conocimiento no es un 'reflejo especular' de "lo que está allá afuera"; el conocimiento es el resultado de un elaboradísimo proceso de interacción entre un estímulo sensorial ... y todo nuestro mundo interno de valores, intereses, creencias, sentimientos, temores, etc." (Martínez, 2009, p. 51).

Los aportes realizados por la neurociencia –ese complejo híbrido transdisciplinario entre informática, neurología y otros campos– han contribuido de manera muy significativa en este proceso evolutivo de comprensión del proceso de enseñanza-aprendizaje. Los conceptos de objetividad, certeza y verdad han sido ampliamente modificados por estos descubrimientos y por supuesto han afectado



Figura 4
Paneles Sipromat
apilados y muestra
de una unión
de paneles

tado, en nuestra opinión de manera muy positiva, a la ciencia y a la educación.

Es a partir de estos descubrimientos y de las múltiples investigaciones que en este campo de la neurociencia se han realizado, que se han empezado a alimentar hace ya un largo tiempo las diversas disciplinas que, aguas abajo, se nutren de esta ciencia. La educación en todas sus facetas ha sido una de las afortunadas herederas de estos nuevos conocimientos y saberes.

El enfoque constructivista enfatiza que el aprendizaje y el conocimiento es función directa de cómo el individuo crea significados a partir de sus propias experiencias. Este enfoque posee raíces en los trabajos de Piaget, Bruner y Goodman (Perkins, 1997). En el constructivismo se considera que la mente filtra lo que nos llega del mundo y con ello cada sujeto produce su propia y única realidad. No es que se niegue en esta teoría la existencia del mundo real, pero sí se afirma que lo que entendemos por realidad surge en la interpretación que hacemos de nuestras experiencias. No se habla de adquirir o transmitir el aprendizaje sino de crear o construir el conocimiento (figuras 4 y 5).

Para el constructivismo es importante el factor ambiental del aprendizaje tanto como el propio sujeto, así como su interacción. Se recomienda vincular el aprendizaje a las situaciones donde este será utilizado o aplicado, es decir, conectarlo a ambientes y situaciones reales y no dejarlo exclusivamente circunscrito al aula de clase y al enfoque teórico. En el constructivismo la memoria no es estática y siempre estará en construcción, una especie de historia acumulativa de interacciones (Ertmer, P. y Newby, T., 1993).

Reivindicar el carácter “construido” del conocimiento implica someter muchas de nuestras creencias y paradigmas a una profunda crítica (Ibañez, 1994).

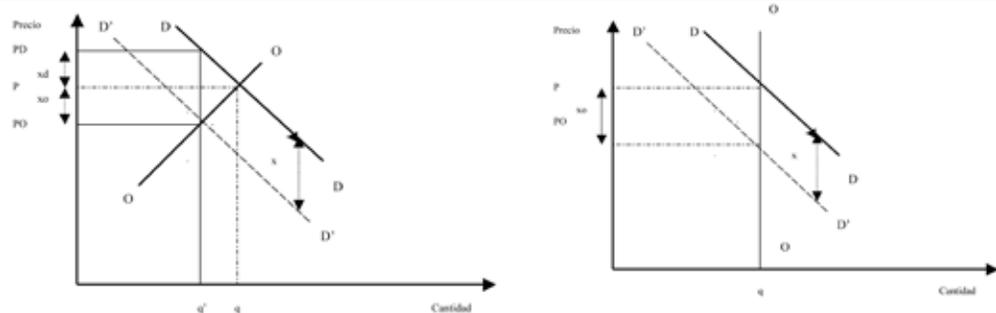
Las fases del proceso de facilitación, estrategias del aprendizaje y diseño instruccional para esta propuesta

El diseño instruccional de la propuesta incluyó los siguientes aspectos: nombre de la experiencia, duración, descripción de la audiencia, nivel de complejidad de la experiencia, tecnología educativa informática, alcance, apoyo, necesidad instruccional detectada, objetivos, resultados esperados en los participantes, preguntas y sub-preguntas guía, actividades potenciales, productos, actividades de aprendizaje, apoyo instruccional, definición y descripción de los ambientes de aprendizaje, identificación de recursos, actividades y responsabilidades del mediador, actividades y responsabilidades del participante, aprendizajes que fomenta el proyecto, formas y tipos de evaluación, dificultades y obstáculos que estima y observaciones generales.

El nombre de la experiencia debe expresar los objetivos de la propuesta y a la vez ser impactante para el estudiante, a fin de que capte su atención una vez que sea publicada la oferta docente. El mismo debe procurar no conducir a equívocos ni a la generación de expectativas erróneas en cuanto a los objetivos de la experiencia didáctica. El nombre escogido fue “Construcción de viviendas modulares de condición apilable y crecimiento progresivo con tecnologías en acero”.

La duración viene dada de manera preestablecida por la extensión del período lectivo y la modalidad que haya sido seleccionada podrá expresarse en semanas y horas. La primera versión de esta experiencia se realizó durante el primer período lectivo del año 2010 de catorce (14) semanas a razón de tres horas semanales. La segunda versión se realizó durante el período intensivo de ese mismo año con una duración de siete (7) semanas a razón

Figura 5
Estudiantes aprendiendo el manejo de herramientas de construcción armando planos portantes



de seis (6) horas semanales. Un total en ambos casos de 42 horas/semestre.

La descripción de la audiencia contempla una descripción de las características de las audiencias de experiencias anteriores, y se nutrirá en cada nueva puesta en escena con los datos de las nuevas audiencias, puede incluir aspectos como edad, sexo, condición laboral del estudiante entre otras. En las dos versiones de la experiencia se observó que la constitución de los grupos se caracterizó por la participación de estudiantes de los dos últimos semestres de la carrera, es decir noveno y décimo semestres, con edades comprendidas entre 20 y 23 años de edad y 60% de estudiantes femeninas. Los cursantes deben haber aprobado la totalidad de las materias obligatorias de este sector de Tecnología, además de Taller de Aplicaciones Tecnológicas. Los participantes poseen comprobables capacidades para la elaboración de material gráfico en Auto Cad y otros programas tales como SketchUp, 3D, etc. Elaboran maquetas con destreza, poseen poca costumbre de escribir y disertar y una escasa capacidad para administrar eficientemente su tiempo. Se les dificulta en general la integración de los aprendizajes de las asignaturas teóricas al proyecto de diseño que están desarrollando. Manifiestan interés por las actividades prácticas y el aprender haciendo.

Otro aspecto fundamental de la descripción de la audiencia se refiere a la exploración del mapa cognitivo de los participantes. Esto se refiere a la aplicación de dinámicas que permitan conocer o hacer presente el tipo y nivel de conocimientos previos que posee el participante. Esta fase es fundamental ya que permitirá establecer comparaciones a partir de las evaluaciones finales e intermedias, contrastándolas con los resultados obtenidos previamente.

La complejidad de la experiencia es según palabras de Morin (2005) "...el tejido de eventos, acciones, interacciones, retroacciones, determinaciones, azares que constituyen nuestro mundo fenoménico". Hay un orden adentro de nuestras mentes, que no encaja de manera exacta con el orden de todos estos elementos en el afuera y por ello hay que poner orden, categorizar, esquematizar, poner certidumbre, jerarquizar, distinguir, para facilitar la inteligibilidad (Morin, 2005).

En el caso de este proceso de aprendizaje, la complejidad está representada por la cantidad y cualidad de las áreas de conocimiento involucradas así como por la diversidad de ambientes de aprendizaje. En la propuesta que nos ocupa, se reconoce un nivel de complejidad alto,

debido al enfoque del tema de lo constructivo-tecnológico desde la visión de las técnicas tradicionales de construcción confrontadas con una técnica innovadora, así como por involucrar dos ambientes de aprendizaje polarizados, el aula de clase y la planta experimental y por la producción de prototipos a escala real, utilizando equipos y herramientas reales.

Sabiendo que las tecnologías informáticas se han convertido en ineludibles aliadas del proceso de aprendizaje porque potencian las posibilidades de construir el conocimiento, y que en la disciplina de la Arquitectura resultan especialmente atractivas a los jóvenes estudiantes por las posibilidades que alcanzan en la representación gráfica de sus prefiguraciones mentales, en esta propuesta didáctica fueron utilizadas de manera moderada las tecnologías informáticas, dado también el énfasis en las actividades prácticas en taller. Se reservaron para las actividades de representación y presentación de proyectos.

Refiriéndonos a las actividades y responsabilidades propias del facilitador o mediador y las del participante, en el nuevo paradigma de la educación "...el profesor será un animador, un experto en mayéutica⁵, que buscará situaciones problemáticas de la vida y las propondrá..., situaciones que tengan en cuenta todas las dimensiones del ser humano: inteligencia, sensibilidad y cuerpo, ya que la neurociencia actual nos demuestra que existe una relación estrecha entre la inteligencia y la afectividad..." (Martínez, 2009).

En esta propuesta las responsabilidades del facilitador se centraron en: la propuesta y planificación de los objetivos generales de la experiencia, el diseño instruccional, la coordinación de visitas a obras, plantas o fábricas, el dictado de charlas expertas sobre diversos temas, la participación en las discusiones grupales, la retroalimentación mediante preguntas expertas y cierres cognitivos, la adquisición de equipos y materiales, la invitación a expertos, la investigación en profundidad sobre los temas a abordar, el establecimiento de vínculos a lo externo.

En cuanto a los participantes: investigar los temas propuestos, asistir puntualmente a las actividades, participar activamente en las dinámicas, realizar investigaciones sobre los diversos temas, planificar exposiciones sobre los temas investigados, organizar su tiempo personal, jerarquizar sus prioridades, participar en la toma de decisiones sobre actividades, temas y problemas, presentar las evaluaciones previamente pautadas, proponer actividades, reali-

zar actividades a distancia, asistir a las visitas, dar *feed back* al mediador en torno al desenvolvimiento de la experiencia.

Finalmente la evaluación midió cualitativa y cuantitativamente los resultados de la experiencia y permitió una variada gama de situaciones que se dan a lo largo de la evolución de la experiencia de aprendizaje. La misma contempló en las etapas iniciales evaluaciones exploratorias que permitieron al grupo conocer la diversidad de experiencias y visiones de sus integrantes. Se propusieron dinámicas exploratorias que permitieron identificar a grandes rasgos los antecedentes cognitivos de los participantes y sus expectativas en torno a la experiencia. Se realizaron evaluaciones a lo largo de la experiencia, que variaron la dinámica de interacción, evaluaciones individuales y en equipo, de carácter escrito y verbal, exposiciones, debates, competencias.

Entrando ya de lleno en las etapas en las que se desarrolló esta asignatura, identificaremos cinco: etapa inicial exploratoria, etapa de revisión de contenidos teóricos, etapa de desarrollo del proyecto, etapa de deconstrucción-construcción del módulo y finalmente etapa de presentación y evaluación de resultados.

La etapa exploratoria inicial fue concebida como un espacio para el conocimiento general del escenario cognitivo de cada uno de los participantes con la propuesta de dinámicas de intercambio con base en ejercicios propuestos por el facilitador. Aquí las técnicas de torbellino de ideas, y cartografía mental o mapas mentales fueron de gran utilidad. El *brainstorming* o tormenta de ideas supone una aproximación inicial a cualquier tema a partir de la asociación de ideas que caracteriza el funcionamiento natural del cerebro humano, en un tiempo recomendable de un minuto (Buzan, 1996). Esta técnica, de gran potencial en el procesamiento de la información, se utilizó en esta experiencia como estrategia rompe-hielo para producir la "materia prima" para la elaboración de los mapas mentales para el abordaje de las diversas actividades e incluso en las etapas de evaluación.

Se propuso la elaboración de una lista de ideas con esta técnica sobre palabras asociadas al tema construcción tradicional. La dinámica se realizó primero con la construcción de la lista a nivel individual, para pasar a una elaboración grupal del mapa mental, luego de haberse realizado un proceso de reflexión por equipos sobre las semejanzas y diferencias entre las diversas listas de los miembros del equipo. El mapa mental producido por

el grupo constituye una expresión del pensamiento irradiante y una poderosa herramienta gráfica que potencia el proceso de aprendizaje, dado que refuerza una imagen central, asocia ideas irradiadas a partir de la idea central, jerarquiza, asocia imágenes gráficas con verbales y propicia la interconexión de ideas y puede ser trabajado en jornadas sucesivas (Buzán, 1996).

Este tipo de experiencia propició el conocimiento intragrupal y "el darse cuenta" entendido como toma de conciencia y alerta (Stevens, 2008) del nivel cognitivo del grupo y de sus integrantes. En este caso específico auspicia el conocimiento de los integrantes y la exploración del nivel y las expectativas cognitivas de los participantes.

En la segunda etapa de revisión de los contenidos teóricos se realizaron exposiciones por parte del facilitador sobre la tecnología innovadora en estudio, lecturas creativas integradoras⁶ y debates evaluados sobre el tema.

En la tercera etapa los integrantes del grupo se dedican, luego de haber realizado la primera aproximación al conocimiento de la tecnología Sipromat, a la elaboración de un proyecto de vivienda propia, de carácter modular, apilable, de crecimiento progresivo, que sea accesible a sus propias posibilidades individuales de inversión, aplicando la tecnología. Esta actividad debe realizarse utilizando las técnicas digitales propias del proyecto arquitectónico, se elaboran maquetas y se montan tablas de Excel sobre la estructura de costos básica de los proyectos.

La cuarta etapa es la de mayor duración y se realizó totalmente en la planta experimental El Laurel. La misma se inicia con un recorrido de campo para el conocimiento directo de un prototipo de vivienda ya elaborado y consolidado (con revestimientos y acabados aplicados), y el área de almacenaje de componentes Sipromat, no ensamblados aún, además del reconocimiento de materiales tradicionales presentes en otros prototipos.

Luego de esta actividad se inician las tareas de deconstrucción de un módulo no consolidado (sin revestimientos ni acabados) que auspicia el conocimiento de los detalles de construcción y ensamblaje de la tecnología y la manipulación real de los componentes para una toma de conciencia del peso, dimensión, flexibilidad, rigidez, etc. En esta misma fase se realizan prácticas de pre-ensamblaje, acarreo y apilamiento de los componentes y accesorios, que propician en el participante la familiarización con la nueva técnica constructiva. En paralelo se realizan algunas experiencias de contacto con materiales tradicionales,

bloques, cabillas, perfiles de acero y otros, a fin de que los estudiantes puedan realizar de manera vivencial las comparaciones correspondientes.

Finalmente organizados por equipos cuyos líderes se rotan semanalmente, la construcción del módulo habitable que ha resultado seleccionado en la presentación de proyectos individuales realizada previamente. La organización de los equipos se realiza conforme a la secuencia de actividades y tareas propias de la tecnología, que han sido revisadas en la fase tres. Los equipos se estructuran en función del despiece de planos portantes resultante de la sistematización⁷ del proyecto. En el caso que nos ocupa se dividió el grupo en seis subgrupos encargados de ensamblar cada uno dos módulos portantes.

Todas las actividades y tareas constructivas fueron registradas fotográficamente. Durante la fase final los participantes realizaron por equipos una presentación en *power point* comentada de la experiencia, resaltando las vivencias y aprendizajes experimentados.

Los resultados obtenidos. Tipos de competencias desarrolladas

Podemos entender las competencias como desarrollo de capacidades que se generan a partir de aprendizajes complejos, es decir aprendizajes que fomentan la integración entre: desarrollo del ser (ser), información (saber), comportamiento (hacer y convivir). Se busca como ya lo hemos mencionado desarrollar competencias de tipo cognitivas o conceptuales, procedimentales o instrumentales y aptitudinales o sociales. Este desarrollo se medirá utilizando como indicadores los logros específicos y concretos del estudiante. La definición de las competencias y su sistematización en indicadores de logro deberá hacerse en un proceso participativo y en lo posible de consenso, en el que estén presentes docentes, alumnos, egresados, especialistas etc. El número y complejidad de competen-

cias a desarrollar deberá estar acorde a la complejidad de la experiencia y al nivel de los participantes dentro de la formación.

Las competencias cognitivas o conceptuales son aquellas vinculadas al pensamiento y la forma en que se da (Ibañez, 1994) y los contenidos y habilidades de la mente, ya sean básicas: análisis, síntesis, reflexión, etc, y ejecutivas: toma de decisiones, elección de objetivos, logro, resolución de problemas, capacidad de abstracción, planificación, entre otras. En esta propuesta los indicadores que permitieron evaluar esta competencia fueron: capacidad de analizar, interpretar la realidad socio-cultural de la construcción de viviendas tanto con técnicas tradicionales como con técnicas innovadoras y la de comprender y aplicar de forma creativa el conocimiento de una nueva tecnología para la producción de objetos arquitectónicos específicos. Estas competencias fueron chequeadas a partir de las evaluaciones de conocimientos de diversos tipos: completación, selección o desarrollo y de los resultados de los debates entre equipos.

En cuanto a las competencias procedimentales, los indicadores para evaluar su desarrollo fueron: la capacidad para planificar las etapas, actividades y tareas de su proyecto así como su realización en el tiempo, así también la de programar, calcular, obtener y administrar los recursos para la realización del mismo. También fueron interesantes los indicadores de aprendizaje del uso de herramientas de construcción y del logro de la ejecución de un modelo a escala real.

Las competencias aptitudinales trabajadas se evaluaron a partir de las responsabilidades asumidas por individuos y grupos, el respeto a las diferencias personales en torno a habilidades y destrezas constructivas del otro, la disolución de roles de género en la construcción, la toma de conciencia en torno a las competencias y el sentido de cooperación en el trabajo de equipo, entre otras.

Notas

- 1 IDEC es el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, adscrito a la Facultad de Arquitectura de la Universidad Central de Venezuela y fundado en 1975.
- 2 Varios autores hacen notar la utilización misma de la palabra "transmitir" en torno al conocimiento y el aprendizaje, destacando el carácter unidireccional de la misma típico de los enfoques conductistas en los cuales se parte de la creencia de que es el profesor quién posee con exclusividad el conocimiento y puede "introyectarlo" en los "alumnos" (aquellos que no tienen luz).

- 3 Por el contrario, el socio de aprendizaje es un participante activo de la experiencia de construcción del conocimiento y en consecuencia aporta conocimientos que le son particulares individualmente y lo diferencian del resto de los participantes.
- 4 Se entiende por conocimiento significativo aquel que propicia la aplicación o utilización de dichos conocimientos en actividades reales propias del quehacer técnico-profesional de quien lo recibe. Es conocimiento que va más allá de la simple memorización o expresión verbal y se convierte en acción.
- 5 Mayéutica atribuida a Sócrates viene del griego "maya" ayudar a parir.
- 6 La lectura creativa integradora es una técnica de fabricación propia basada en la hibridación de varias técnicas creativas propuestas en las investigaciones de De Bono y otros. Consiste en repartir por separado páginas no numeradas de un texto, para identificar en ellas ideas resaltantes para cada grupo y luego instar a los participantes a encontrar la secuencia de dichas ideas y la configuración del todo.
- 7 Se refiere al plano donde se expresa la cadena de ensamblaje de los paneles SIPROMAT que guía el armado de los planos portantes.

Referencias bibliográficas

- Buzán, T.(1996). El libro de los mapas mentales. Cómo utilizar al máximo las capacidades de la mente. Barcelona. Ediciones Urano.
- Ertmer, P. y Newby, T.(1993). Conductismo, cognitivismo y constructivismo: una comparación de los aspectos críticos desde la perspectiva del diseño de instrucción. Caracas. Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
- Facultad de Arquitectura (1995). Plan de estudios. Caracas. Ediciones de la Biblioteca de Arquitectura.
- González, A. (1991). SIPROMAT. Tecnología constructiva a base de lámina delgada de acero galvanizado para la producción de vivienda progresiva dirigida a los sectores de bajos ingresos. Trabajo de tesis de Maestría. Caracas. IDEC/FAU/UCV.
- González, A. (1999). Aplicaciones experimentales de Sipromat. Trabajo de Ascenso a Asistente. Caracas. IDEC/FAU/UCV.
- González, A. (2003). Evaluación cualitativa de las aplicaciones de la tecnología Sipromat a viviendas. Trabajo de Ascenso a Agregado. Caracas. IDEC/FAU/UCV.
- González, A; Perdomo, M. y Velandria, V. (2005). Manual de producción, uso y aplicaciones de la tecnología Sipromat. Caracas. IDEC/FAU/UCV
- Ibañez, T.(1994). La construcción del conocimiento desde una perspectiva socio-constructivista. En conocimiento, realidad e ideología. Caracas. Asociación Venezolana de Psicología Social Avepso.
- Martínez, M.(2009). Epistemología y Metodología Cualitativa en las Ciencias Sociales. México. Editorial Trillas.
- Martínez, M.(2009). Nuevos paradigmas en la investigación. Caracas. Editorial Alfa.
- Morin, E. (2005). Introducción al pensamiento complejo. Barcelona. Gedisa Editorial.
- Perkins, D. (1997) La escuela inteligente. Del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente. Barcelona. Gedisa Editorial.
- Stevens, J. (2008). El darse cuenta. Buenos Aires. Cuatro Vientos.

Sistema constructivo Idec-Sidetur

Un caso de producción en red de viviendas sostenibles de desarrollo progresivo

Alfredo Cilento

Nelson Rodríguez

Antonio Conti

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción. Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Central de Venezuela

Resumen

La idea central es que cualquier familia pueda adquirir los componentes estructurales necesarios para construir una protovivienda (célula básica de desarrollo progresivo), para una vivienda completa o para ampliar su vivienda. El resto de los materiales y accesorios pueden obtenerse localmente en el mercado. La tecnología será transferida a quien la demande sin costo alguno (*royalty libre*).

Abstract

The central idea is that any family can acquire the necessary structural components for building a "protovivienda" (basic cell of progressive developpe), for a full house, or to expand housing. The rest of the materials and accessories are from local origin. The technology will be transferred to whom claim it at no charge (royalty free).

En lo que se refiere a la fabricación de viviendas, una vieja discusión tiene que ver con la escala y la producción masiva de edificaciones. La idea de producción en gran escala se asoció siempre a la elaboración masiva y a las grandes series de producción, en plantas de prefabricación pesada, en general surgidas en la Europa de la segunda posguerra, como consecuencia de la destrucción de centenares de miles de viviendas durante la conflagración. Los resultados si bien cubrieron una necesidad perentoria –la pérdida de un gran número de hogares– a la larga fueron un fracaso desde el punto de vista social, económico, ambiental y urbano; de hecho las grandes plantas de prefabricación prácticamente desaparecieron y muchos de los conjuntos, contruidos en los años 1950 y 1960 del siglo pasado, han venido siendo demolidos sistemáticamente en toda Europa. La casi totalidad de esos conjuntos, contruidos durante la emergencia habitacional europea del siglo XX, no satisfacen los requerimientos funcionales, de seguridad, habitabilidad y confort exigidos en el siglo XXI, es decir se transformaron en edificaciones no sostenibles.

Esto también tiene que ver con otra discusión: la de cantidad *versus* calidad. Si bien los planteamientos de principios del siglo pasado de la socialdemocracia europea con relación a la producción de viviendas públicas hacían énfasis no sólo en la calidad de las construcciones y del urbanismo, sino en el equipamiento del hogar, las políticas y las instituciones públicas que se crearon posteriormente en todas partes, se concentraron en la cantidad. En los países del Tercer Mundo la ideología de la cantidad se apo-

Descriptor:

Sistema constructivo;
estructura metálica apernada;
vivienda de bajo costo;
producción en red.

Descriptors:

*Building system;
metal bolted frame; low cost
housing; production net.*

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN | Vol. 27-1 | 2011 |
pp. 41-54 | Recibido el 16/04/11 | Aceptado el 02/07/12

yó en una supuesta lucha contra el “déficit de viviendas”, que en la práctica no significó más que el otorgamiento de numerosos contratos para producir “viviendas” en cualquier lugar, creando más problemas que los que se resolvían (Cilento, 2006).

Lo que ahora planteamos es que se puede alcanzar la producción de viviendas en gran escala, a través de múltiples operaciones de pequeña escala, y no sólo de procesos continuos y largas series de producción, sin desmedro de la calidad y larga vida de los hogares. Las estrategias de descentralización conducen a un incremento de las demandas locales y a calificarla en función de recursos que se puedan obtener localmente. El resultado es la necesidad de desarrollar formas de producción versátil en pequeña escala que utilicen recursos y capacidades locales; lo que tiene implicaciones adicionales con el ahorro de energía, la preservación del medio, el aprovechamiento de materiales, incluso provenientes del reciclaje de residuos de procesos agrícolas, industriales y de la propia construcción, que se encuentran o que pueden producirse localmente. Todo en concordancia con la idea de sincretismo tecnológico o hibridación en la construcción (Cilento, 2002).

La instalación o aprovechamiento de pequeñas y medianas empresas que utilicen recursos y potencialidades regionales y locales, reduce también los gastos del transporte, con evidentes efectos en la reducción de gastos de capital, del consumo de combustibles fósiles y de los niveles de contaminación ambiental.

Al tratarse de una red de pequeñas empresas y talleres se incrementa la viabilidad del enfoque de diseño y producción de un sistema para la construcción de **viviendas sostenibles de desarrollo progresivo**. En este caso particular hablamos de un **sistema estructural** porque éste es la base para garantizar la progresividad de una manera organizada y coordinada, modular y dimensionalmente. Esto se traduce en un proceso de creación de hogares que parten de una célula básica o **protovivienda**, que puede ampliarse, transformarse y mejorar su calidad y confort a lo largo de toda su vida útil; y en los que se utilicen materiales y componentes que también sean capaces de mejorar su calidad y comportamiento de manera progresiva. Los conceptos tecnológicos que garantizan esa **transformabilidad** progresiva son la **coordinación modular-dimensional**, la **deconstrucción**, la **construcción por la vía seca** y la meta de construir bajo la premisa de **cero desperdicio**. Estos conceptos son básicos para garantizar proce-

dos sostenibles de construcción de viviendas (Acosta, D. y Cilento, A. 2005).

La adopción de un sistema estructural que puede ser producido en pequeñas instalaciones metalúrgicas locales (talleres y herrerías) resuelve cuestiones fundamentales relacionadas con la construcción de viviendas progresivas. Una estructura independiente de los cerramientos es una condición indispensable para garantizar la viabilidad técnica del crecimiento a dos plantas de las protoviviendas de un piso, además de su crecimiento horizontal. Los cerramientos pueden ser fácilmente resueltos con materiales y componentes disponibles localmente.

La variedad y progresividad están garantizadas mediante la conformación por agregado de módulos espaciales que permiten el diseño y construcción de una gama muy amplia de viviendas, de distinto tamaño y facilidades, de una o dos plantas, que pueden crecer (ampliarse) dentro de un rango de áreas variable. Esto significa que pueden producirse viviendas de desarrollo progresivo o viviendas completas según las características del proyecto. Es evidente también que, aunque el sistema ha sido concebido para su producción en talleres de pequeña y mediana escala, también puede ser producido en escala industrial en empresas metalúrgicas mayores.

Desarrollo progresivo sostenible

El diseño de las protoviviendas y su proceso de germinación en el tiempo debe responder a una serie de criterios que garanticen su transformabilidad. Se trata de un enfoque que irrumpe contra la práctica tradicional del arquitecto que desearía ver su obra impoluta hasta el fin de los tiempos. La calidad y durabilidad del alojamiento de la familia mejora no sólo por las ampliaciones y adiciones, o por la transformación de los espacios para adaptarlos a nuevas exigencias. También el hogar se hace más confortable por las mejoras en la ventilación, la iluminación, y el aislamiento y protección contra ruidos, lluvia, intrusos, insectos, roedores, etc. Lo que sí es seguro es que la capacidad de transformarse y mejorar en el tiempo es lo que garantiza la prolongación del ciclo de vida de las construcciones.

Todas las mejoras en la calidad y confort del hogar se pueden alcanzar de manera progresiva, e incluso se pueden prever desde que se inicia el proceso de construcción por etapas o fases. Una adecuada y oportuna asistencia

técnica permitirá que el confort pueda lograrse sin incurrir en costos elevados.

Los criterios generales o estrategias de sostenibilidad de la construcción, aplicables a la producción de alojamiento de desarrollo progresivo, están asociados a la reducción del consumo de recursos, la reducción del consumo energético, la idea de construir bien desde el inicio bajo la premisa de “cero desperdicio” y la producción en pequeña escala con manufactura flexible.

Es evidente que las distintas formas de construcción progresiva repercuten directamente en la reducción del consumo de recursos, tanto económicos como materiales, puesto que se trata de la adopción de un proceso de construcción que responde a la demanda individual de cada familia. Es decir, de lo que en la manufactura se denomina producción a la medida o *prêt à porter*. Cada familia o conjuntos de familias utilizarán sólo los recursos que se requieren para la etapa a ejecutar y, con la asistencia técnica apropiada, se puede minimizar el desperdicio originado por malas prácticas constructivas. No debería demolerse nada que produzca escombros para ejecutar la ampliación o transformación de los espacios del hogar. Éste es un principio fundamental que guarda relación con los conceptos de **deconstrucción y construcción por la vía seca**.

El ahorro energético es otro factor básico de sostenibilidad que está asociado, fundamentalmente, a la eliminación del uso del aire acondicionado y de ascensores. En el diseño de las protoviviendas, y a través de la asistencia técnica, se debe promover el uso de sistemas pasivos de ventilación y la iluminación natural. La altura de las cubiertas, el tipo de material de paredes y techo, así como el diseño y ubicación de las ventanas, los patios, aleros y corredores, constituyen elementos arquitectónicos que deben ser estudiados y combinados con el objetivo de reducir el consumo energético de los hogares.

De la misma manera, la idea de “construir bien desde el inicio” implica diseñar bajo la premisa de “cero desperdicio”, pues la mayor parte de los desperdicios en la construcción se originan en la imprevisión y malas prácticas, en el diseño y la construcción de las edificaciones. Ejemplo típico, la rotura de bloques por falta de coordinación dimensional con puertas, ventanas y otros vanos, y con las alturas en fachadas y tabiques. Todo esto agravado por la falta del medio-bloque y del uso de otros componentes “comodines” para evitar roturas y desperdicio. También la colocación de tuberías embutidas es una fuente mayor

de desperdicio y escombros. La lógica de la construcción progresiva impone que el diseño y la selección de materiales, de las tuberías de acueducto y cloacas, así como el cableado de la electricidad, sean para su colocación “a la vista”, es decir sin romper las paredes; lo que implica también un diseño óptimo de las redes eléctricas y “arañas” de plomería y no simplemente dejar a electricistas y plomeros todas las decisiones de diseño de las instalaciones.

La producción en pequeña escala y la manufactura flexible tienen implicaciones con la estrategia de sostenibilidad dirigida a priorizar el uso de los recursos locales, tanto de materiales y componentes como de técnicas constructivas, dado que la construcción progresiva se basa en el potencial de la propia comunidad. Como se ha señalado, se puede alcanzar también la producción masiva mediante la puesta en marcha de muchas operaciones, de pequeña escala, pero continuas y progresivas. La producción versátil en pequeña escala de materiales y componentes tiene implicaciones adicionales en el ahorro de energía, la preservación del medio ambiente y el reciclaje de residuos. Se trata entonces de desarrollar sistemas constructivos que puedan ser producidos en plantas o talleres de pequeña escala (y no en procesos continuos y largas series de producción), que permitan aprovechar al máximo los recursos y potencialidades locales.

Además, estos sistemas deben utilizar con eficiencia los recursos y técnicas disponibles localmente. Es decir, que puedan combinar de manera sincrética óptima materiales y componentes de producción industrial y de alta energía incorporada, con los de origen local de baja energía incorporada, derivados de recursos naturales renovables y de materiales reciclados localmente (ver Cilento, 2002; Acosta y Cilento 2005). Estos criterios de diseño y producción han sido determinantes para el desarrollo del Sistema IDEC-Sidetur.

El sistema constructivo

Se trata del desarrollo de un sistema constructivo (SC) de estructura metálica apertada autónoma, para viviendas de una y dos plantas, utilizando productos de acero del catálogo de la empresa Sidetur, que permite la utilización eficiente de una variedad de materiales y componentes de cerramientos, existentes en el mercado, que se pueden incorporar progresivamente al catálogo del Sis-

tema (figura 1). El Sistema IDEC-Sidetur está concebido de manera que los procesos de fabricación de los componentes estructurales puedan ser realizados en pequeños talleres o herrerías, sin utilización de equipos complejos de alto rendimiento, y puedan ser montados fácilmente con el concepto de “hágalo usted mismo”. Progresivamente se incluirá la fabricación de escaleras, marcos, puertas y ventanas metálicas modulares, closets, muebles y eventualmente otros componentes que también se incorporarán al catálogo de componentes del Sistema (figura 2).

En el desarrollo del SC se utilizan los criterios de coordinación modular con base a 60 cm y de normalización dimensional (figuras 3, 4a y 4b), de manera de reducir al mínimo indispensable la variedad de componentes a utilizar pero que, por sus posibilidades combinatorias, permitan la producción de una vasta gama de soluciones distintas de alojamiento, es decir de hogares. Está concebido para facilitar el desarrollo progresivo de las viviendas y su crecimiento tanto horizontal como verticalmente (hasta dos plantas). Esto implica ampliar la vivienda familiar original o construir espacios de alojamiento para otro grupo familiar. Incluso espacios, si fuera el caso, para una actividad productiva familiar. Además de la ampliación, la pro-

gresividad implica el mejoramiento de la calidad y confort de la vivienda a lo largo de su uso.

La versatilidad del SC está dada por las múltiples soluciones que genera la combinación de seis Unidades Espaciales con dimensiones modulares desplazadas (las dimensiones modulares de retícula desplazada garantizan la coordinación modular entre columnas, muros o pórticos. Es decir la retícula se desplaza para que los componentes de cerramiento se utilicen sin provocar desperdicios) (figura 5) de 3,00m x 3,00m; 3,00 x 3,60; 3,60 x 3,00; 3,60 x 3,60; 4,20 x 3,00 y 4,20 x 3,60; que se corresponden con la configuración de los distintos módulos estructurales (figuras 6a y 6b). Por supuesto que el SC permite además de la construcción de viviendas de crecimiento progresivo, la construcción de viviendas completas con distintas áreas de construcción, según las necesidades de las familias usuarias (figuras 7 y 8).

La progresividad está dada por la posibilidad de crecimiento de la “protovivienda” o vivienda básica inicial, en forma horizontal: hacia delante, hacia atrás o lateralmente; o hacia arriba en una segunda planta, sin necesidad de demoler lo ya construido (figura 9). Esto quiere decir que el SC permite construir el entrepiso (en el caso de crecimiento hacia arriba) sin desmontar el techo, evitan-

Figura 1
Sistema constructivo

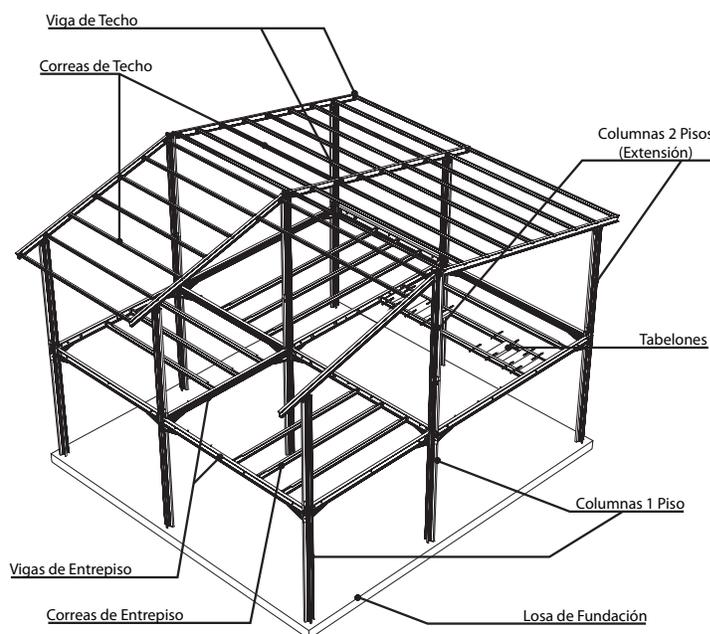


Figura 2
Fabricación en pequeños talleres

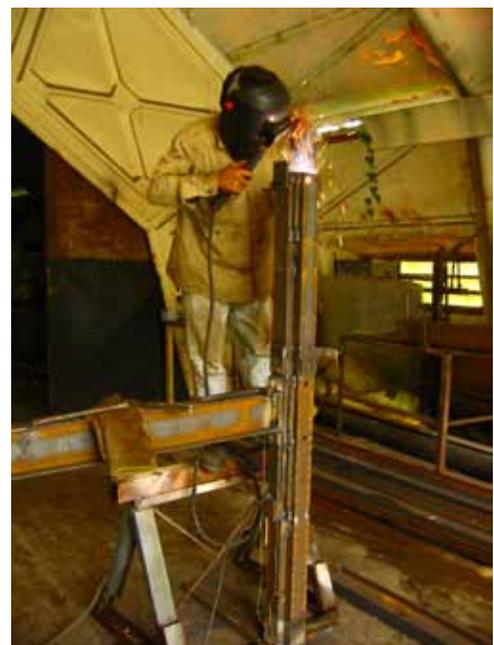
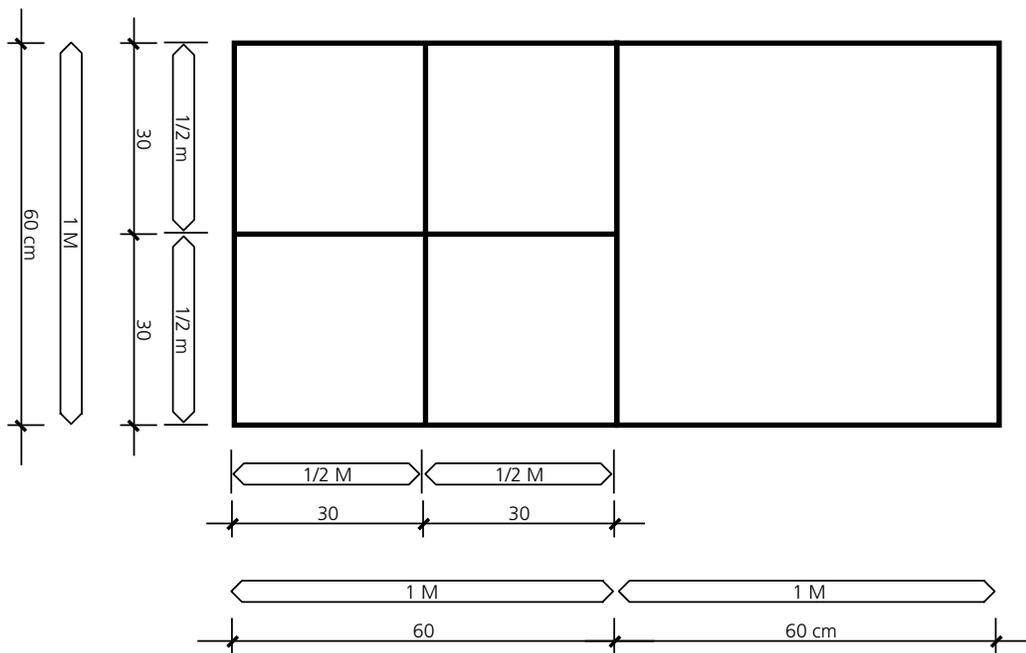


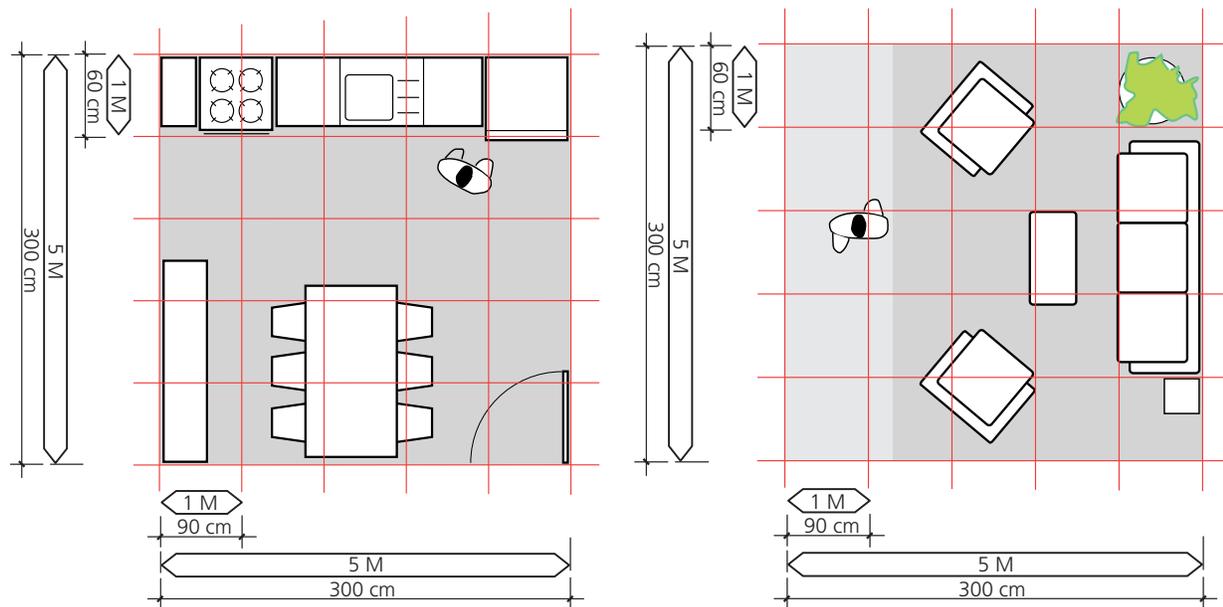
Figura 3
Módulo de diseño 60x60cm

Módulo de diseño 60x60 cm



M: Módulo

Figuras 4 a y 4 b
Análisis de actividades



M: Módulo

Figura 5
Configuración de las unidades espaciales (UE)

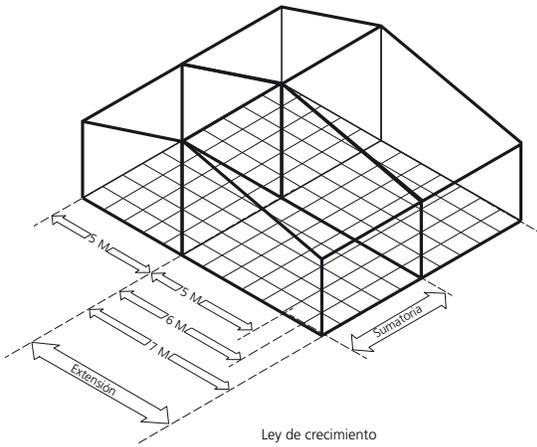


Figura 6a
Unidades espaciales (UE)

Relaciones geométricas

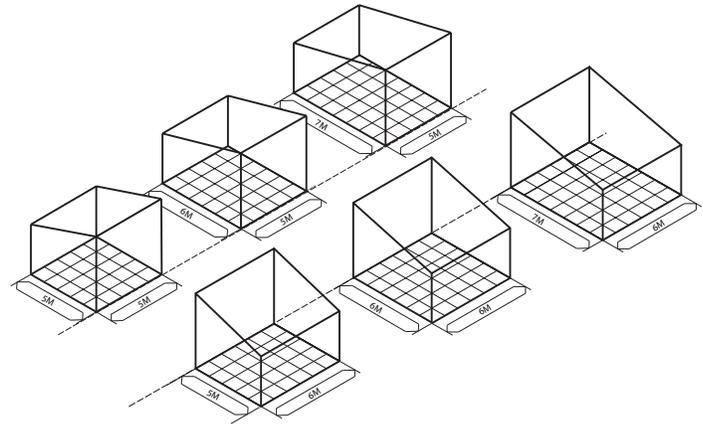


Figura 6b
Planta unidades espaciales (UE)

M= Módulo
E 1= Espacio 1 E 4= Espacio 4
E 2= Espacio 2 E 5= Espacio 5
E 3= Espacio 3 E 6= Espacio 6

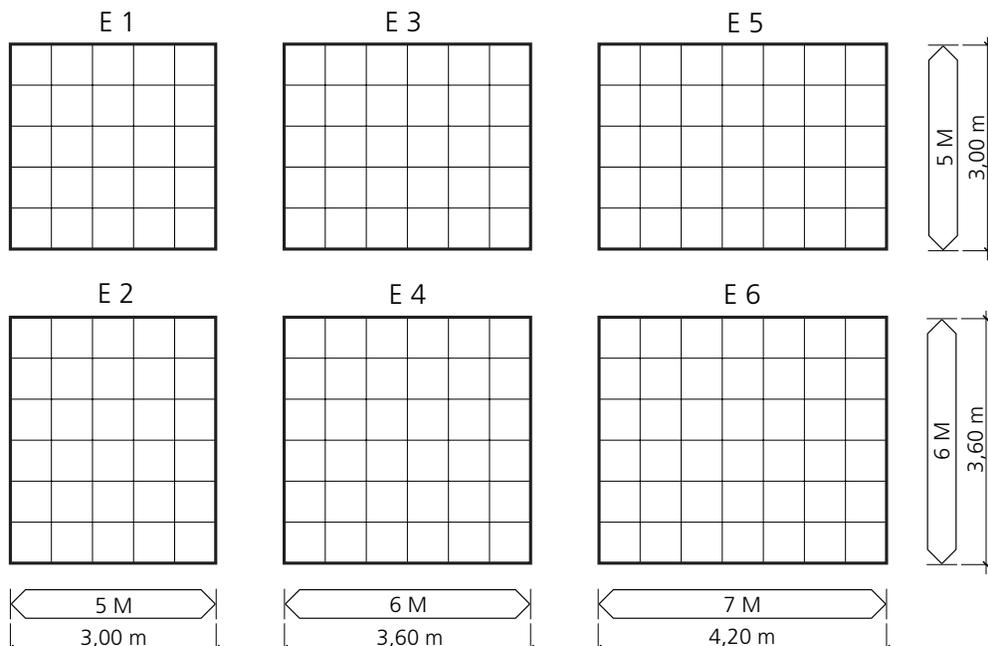
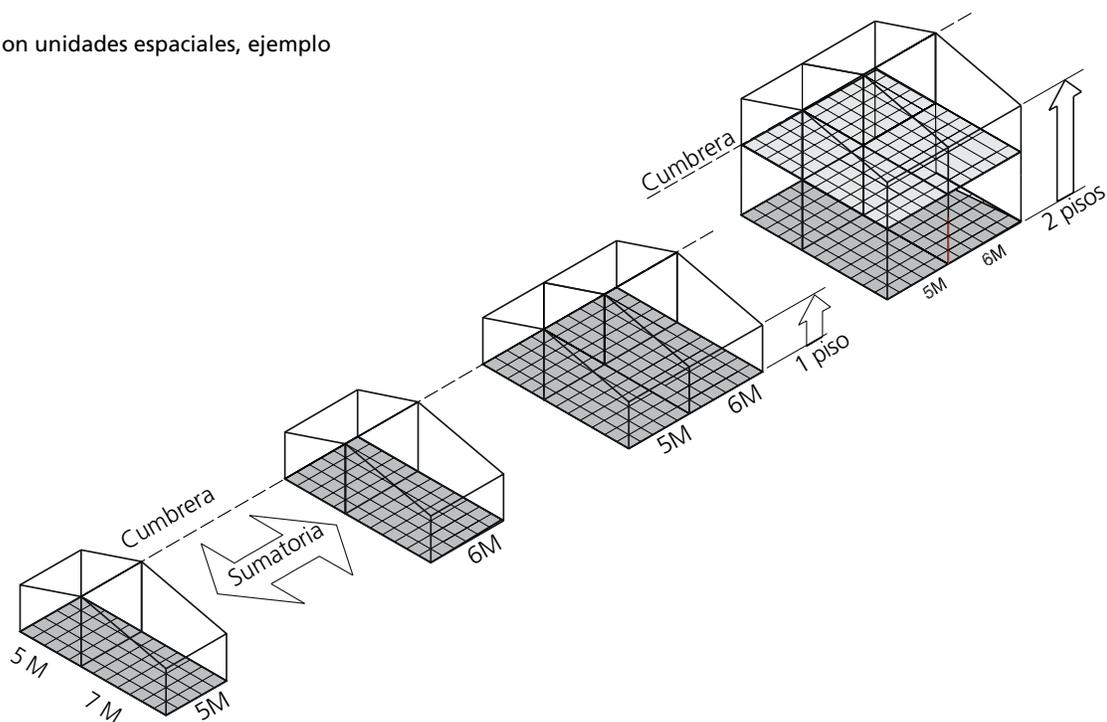
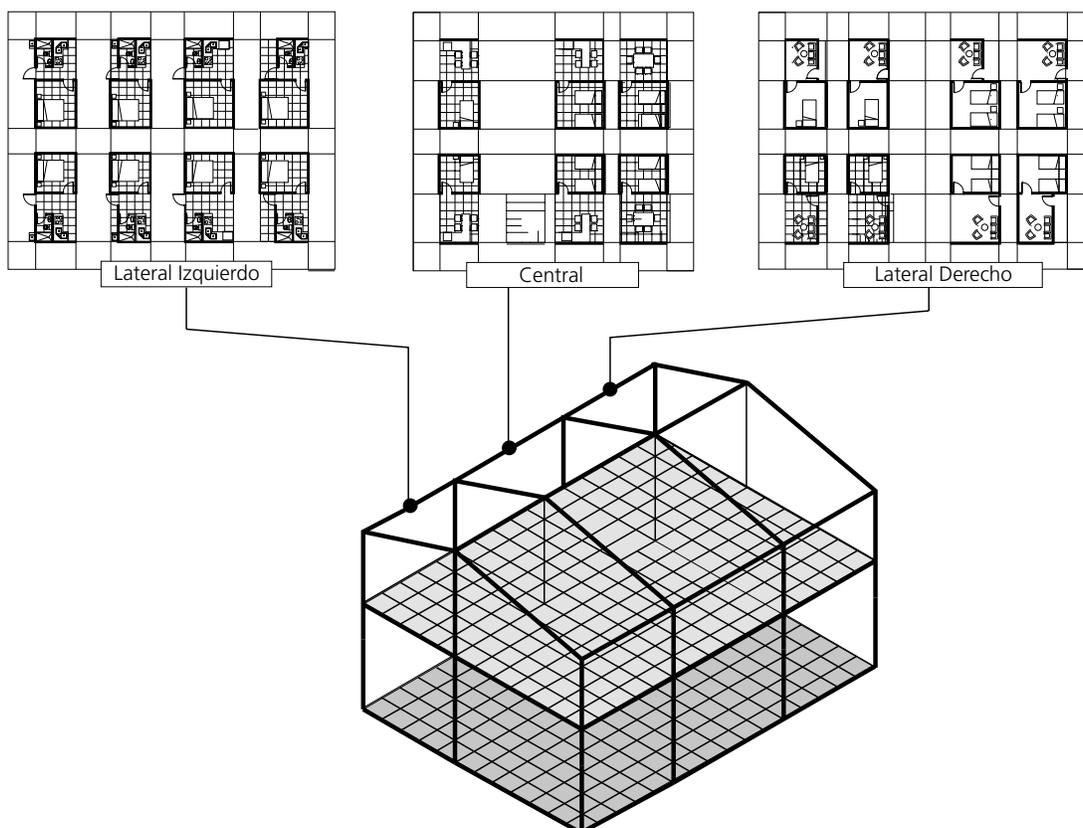


Figura 7
Combinación unidades espaciales, ejemplo



M: Módulo

Figura 8
Alternativas de configuraciones de viviendas



do que la familia tenga que mudarse parcial o totalmente. Luego de colocada la estructura básica del entrepiso se puede desmontar el techo y colocarlo sobre la segunda planta. Esta es una ventaja comparativa muy importante (y es un factor clave del SC) aunque implica un ligero costo adicional por la necesidad de unos centímetros más de altura en la planta baja, que por lo demás repercuten en mayor confort. El SC también permite la opción de incluir las vigas del entrepiso desde el inicio en las viviendas de una planta (figura 10).

La documentación del SC incluye un Manual de Diseño (MDSC), el Manual de Producción (MPSC), y el Manual de Montaje (MMSM), que constituirán parte de la documentación técnica que será suministrada a las unidades de producción, junto con el catálogo de componentes del sistema (figura 11). Estos documentos constituyen la base de la transferencia tecnológica de Sidetur a los talleres y unidades de fabricación de los componentes, que será completada

con las actividades de capacitación y asistencia técnica que podrán suministrar Sidetur y el IDEC (figuras 12a, 12b y 12c).

El Sistema está orientado a programas de viviendas de bajo costo promovidos por Consejos Comunales, organizaciones comunitarias de vivienda, cooperativas de vivienda, clientes individuales (construcción y ampliaciones) y a programas de construcción de viviendas públicas (nacionales, estatales y municipales). Sin embargo, podrá responder también a la construcción de viviendas para sectores de ingresos medios con los debidos ajustes en las especificaciones.

Producción de componentes: red de unidades de fabricación de componentes

La definición de la forma organizativa-operativa que asumirá la producción de componentes es un factor clave para la transferencia tecnológica y la asistencia técnica.

Figura 9
Módulos de uno y dos pisos

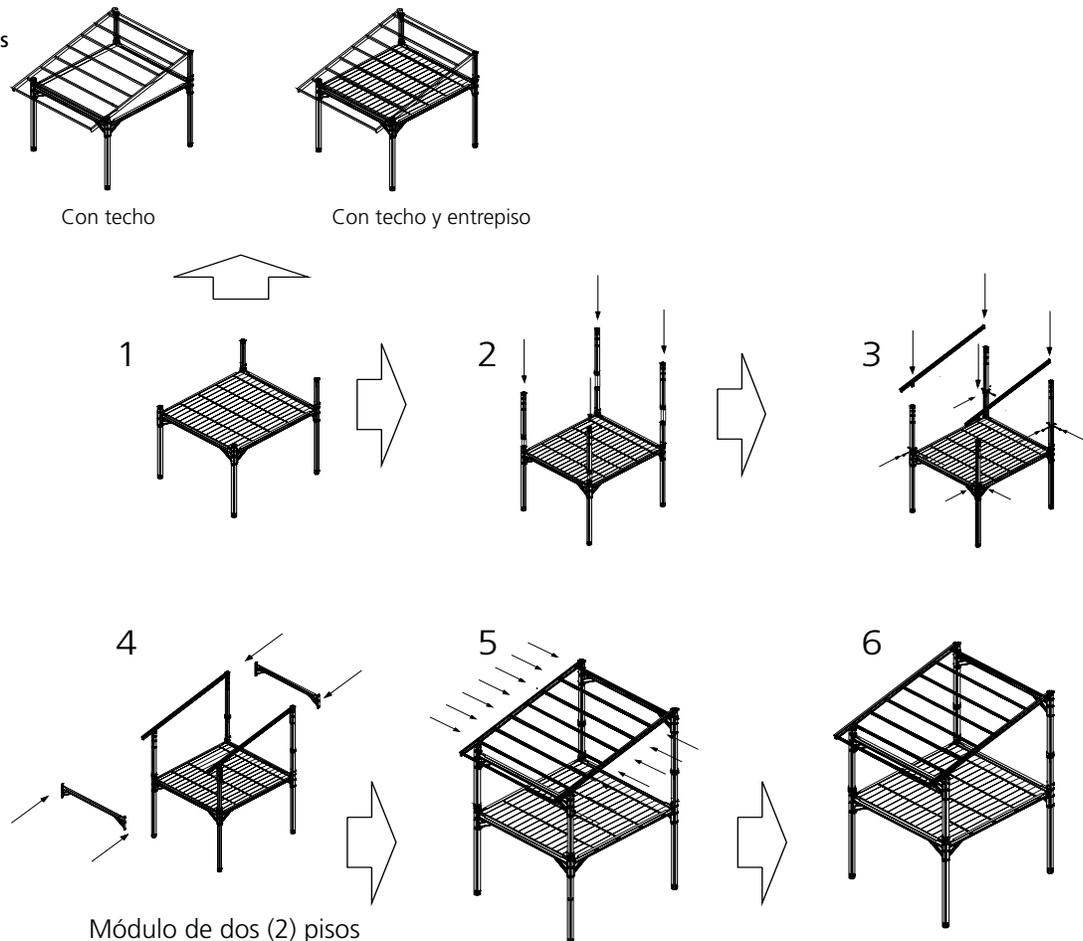
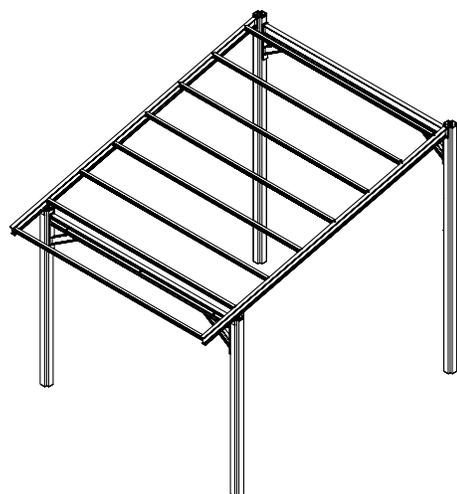
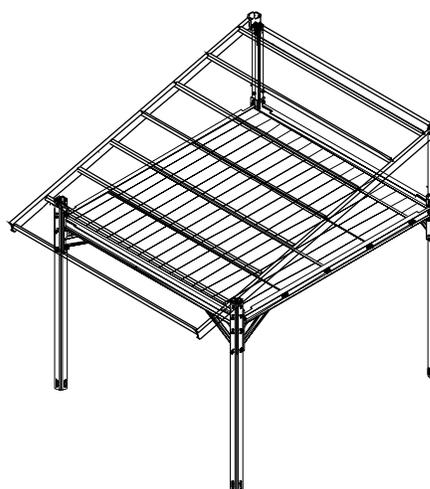


Figura 10
Unidad estructural



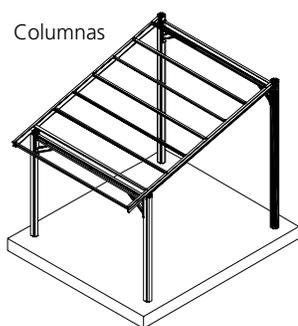
Unidad estructural con techo



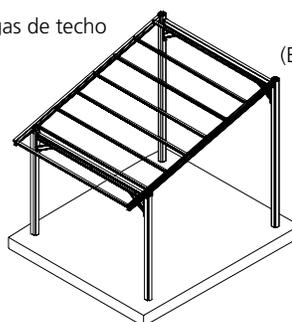
Unidad estructural con techo y entrepiso

Figura 11
Componentes básicos

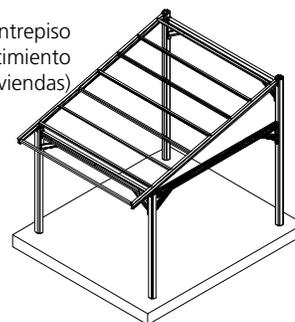
Tipos de componentes principales



Columnas

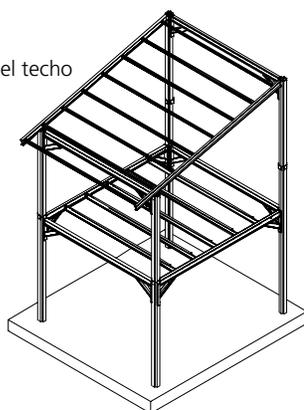


Vigas de techo

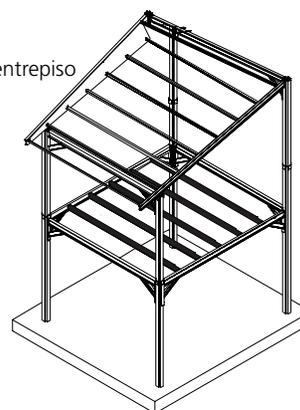


Vigas de entrepiso
(En caso de crecimiento
de las viviendas)

Tipos de componentes secundarios



Correas del techo



Correas del entrepiso

En este caso nos referiremos solamente a los componentes estructurales de la vivienda y otros componentes como marcos-puertas y marcos-ventanas y demás elementos de carpintería metálica.

La producción se podrá realizar por dos vías: planta centralizada y pequeñas plantas o talleres de herrería para lo cual existen las siguientes posibilidades (figuras 13 y 14).

Producción centralizada en talleres metalúrgicos existentes de nivel tecnológico medio o alto, mediante acuerdos o convenios para la fabricación de componentes, los cuales se despacharían a los distintos sitios de construcción a través de distribuidores autorizados. Esta es la fórmula que actualmente utiliza Sidetur para la producción de su Kit estructural. En este caso Sidetur comercializa directamente los productos.

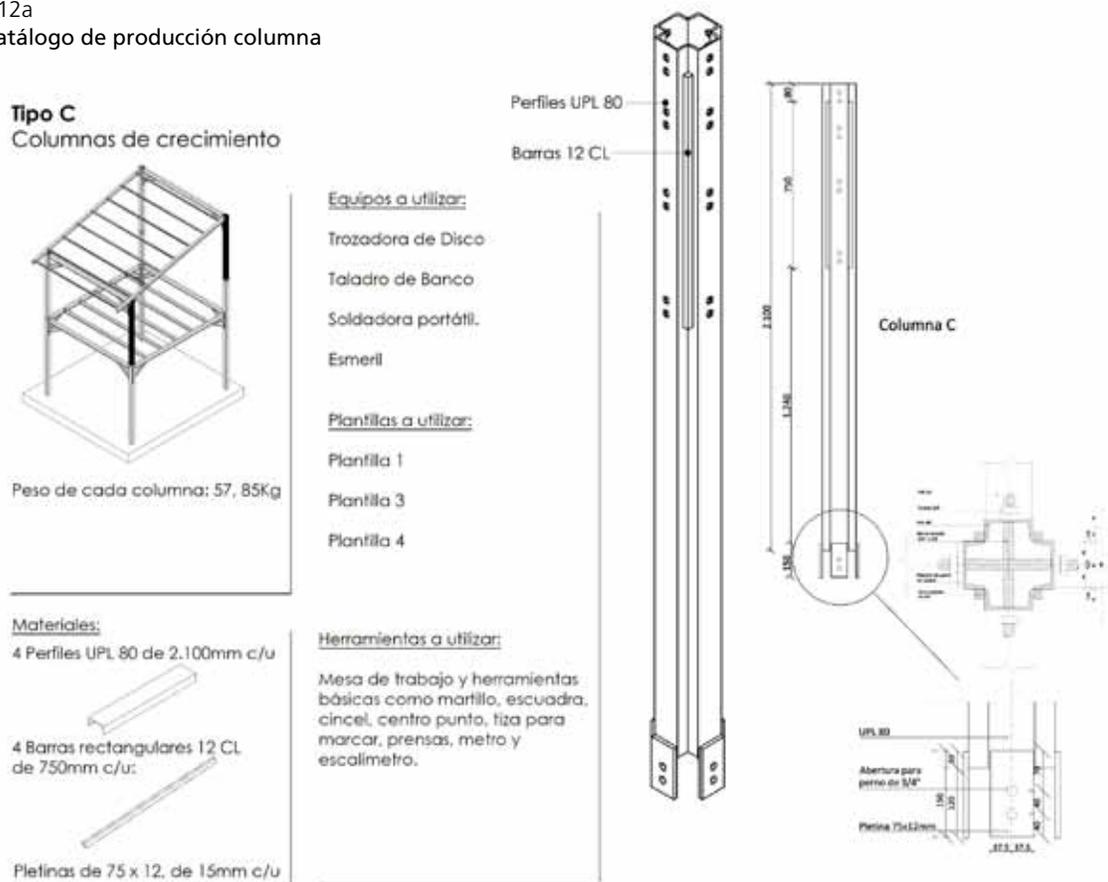
Pequeños talleres metalúrgicos-herrerías, autorizados o promovidos por Sidetur, quienes serían licenciados, a través de un acuerdo de transferencia tecnológica, para la producción-comercialización de los componentes del sistema, adoptando los criterios y lineamientos establecidos por Sidetur. Estas pequeñas unidades de producción operarían

como una red de producción en pequeña escala. Vamos a centrarnos en esta opción.

En el caso de pequeñas unidades de fabricación y comercialización (UFC) existentes (talleres y herrerías), una vez formulados los acuerdos correspondientes, Sidetur suministraría la materia prima, a través de su red de distribuidores: perfiles, ángulos, cabillas, barras, pletinas, etc. y estas se encargarían de la manufactura y venta de los componentes del sistema: columnas, vigas, piezas especiales, etc. Incluyendo componentes de marcos-puertas y marcos-ventanas y otros que pudieran requerirse y la UFC pudiera estar en capacidad de producir.

En el caso de nuevas UFC, Sidetur promovería su constitución y suministraría, además de la documentación, la formación técnica necesaria para la producción de los componentes del sistema. Esta misma formación técnica sería suministrada también a las otras organizaciones que se incorporaren al programa. La formación técnica incluiría entrenamiento en el manejo del sistema constructivo, suministro de nuevos diseños y modelos de viviendas de desarrollo progresivo, diseño de nuevos componentes, asis-

Figura 12a
Hoja catálogo de producción columna



Vigas de techo

Figura 12b
Hoja catálogo de producción viga techo

Equipos a utilizar:
Trozadora de Disco
Taladro de Banco
Soldadora portátil.
Esmeril

Plantillas a utilizar:
Plantilla 5
Plantilla 6
Plantilla 7
Plantilla 8
Plantilla 9

Materiales:
Perfil IPN 120 de la longitud requerida.
Perfil IPN 100 de 372mm

Herramientas a utilizar:
Mesa de trabajo y herramientas básicas como martillo, escuadra, cincel, centro punto, tiza para marcar, prensas, metro y escalímetro.

Peso de cada viga:
Viga de 4,00m : 46,45 Kg
Viga de 4,40m: 50,69 Kg
Viga de 4.80m: 55,03 Kg

Figura 12c
Hoja catálogo de producción componentes plantillas

<p>Plantilla para perforar columnas tipo A y C</p> <p>PLANTILLA 1</p>	<p>Plantilla para perforar columnas tipo B</p> <p>PLANTILLA 2</p>	<p>Plantilla para soldar los 4 perfiles UPL que arman la columna</p> <p>PLANTILLA 3</p>	<p>Plantilla para soldar planchas a la columna C, para crecimiento a 2do piso.</p> <p>PLANTILLA 4</p>	<p>1era plantilla para cortar extremo "B" de la viga de techo.</p> <p>PLANTILLA 5</p>
<p>2da plantilla para cortar extremo "B" de la viga de techo.</p> <p>PLANTILLA 6</p>	<p>Plantilla para cortar y perforar el apoyo A de la viga de techo en la columna tipo A.</p> <p>PLANTILLA 7</p>	<p>Plantilla para soldar el apoyo A, a la viga de techo.</p> <p>PLANTILLA 8</p>	<p>Plantilla para soldar apoyo B a la viga de techo.</p> <p>PLANTILLA 9</p>	<p>Plantilla para armar los apoyos diagonales de la viga de entrepiso</p> <p>PLANTILLA 10</p>

Figura 13
Producción en industria metalmeccánica



Figura 14
Producción en talleres pequeños y medianos



tencia en aspectos administrativos y legales del manejo de las UFC y Talleres. SIDETUR suministraría la materia prima de la misma manera que en el caso de talleres existentes, a través de sus distribuidores.

El objetivo sería crear una red de productores-comercializadores de pequeña escala (RedUFC) que junto con la compra de materiales básicos a Sidetur, recibirían un certificado de formación técnica y la posibilidad de un tratamiento especial en los precios.

Se deberá revisar también la posibilidad de que los distribuidores de Sidetur pudieran suministrar los materiales en dimensiones tales que reduzcan la generación de desperdicios en la producción de componentes, es decir, realizar pre-cortes para reducir el desperdicio y facilitar el transporte y almacenamiento de materia prima.

La formación técnica integral a la RedUFC sería realizada por Sidetur, manteniendo actualizado el sistema e incorporando nuevos componentes metálicos y otros que pudieran ser producidos por la RedUFC con materiales no necesariamente de Sidetur (por ejemplo, para cerramientos, entresijos y cubierta). Sidetur organizaría un programa de difusión-capacitación para pequeños empresarios, productores, maestros de obra, herreros, etc.

La RedUFC incluiría tanto a los talleres de producción como a distribuidores, minoristas, clientes... La existencia de una Red implica que los integrantes intercambian permanentemente las experiencias, prácticas habituales y pequeñas o grandes innovaciones en producción y comercialización, que cada una puede generar, y que serán incorporadas al catálogo general y manuales del sistema. La eficiencia de

la Red se puede estimular mediante un concurso periódico de mejores prácticas, organizado como parte de la formación técnica. Inclusive la Red permitiría la posibilidad de que algunos talleres se especialicen en la producción de determinados componentes o accesorios, lo que implicaría una forma de cooperación técnica. Se trata de la búsqueda de complementación y cooperación para competir en calidad y precios en el mercado.

En el sistema de franquicias, la formación técnica, la introducción de nuevos productos y el apoyo comercial (publicidad, etc.) es parte del contrato-franquicia y es pagada por la empresa franquiciada. En el caso de la RedUFC, Sidetur costeará la Formación Técnica a través de Cursos de Suficiencia, así como la difusión y publicidad del Sistema, como parte de los costos de mercadeo de la empresa. Si fuesen necesarias asesorías a pie de obra, es decir en sitio, esta sería suministrada por la UFC directamente o por la RedUFC que ha sido previamente asistida por Sidetur.

Como se ha señalado, las UFC pueden organizarse de distinta manera. Las relaciones con Sidetur se establecerán fijando las condiciones básicas siguientes:

- Formación del capital de instalación o adaptación (si es un taller existente) y del capital de trabajo. Sidetur no participará en la formación de los capitales de las UFC, pero asesorará a la UFC para la obtención de su financiamiento.
- Suministro de manuales: proyecto y organización del taller, selección de equipos, procesos de fabricación, entrenamiento de personal, organización administra-

tiva, mercadeo, formación técnica a terceros (compradores, constructores, OCV, etc.).

- La Formación técnica a las UFC y otras unidades de producción del SC será realizada por Sidetur directamente, a través IDEC u otra organización que determine la empresa.
- Habrá que definir las condiciones de cesión del *know how* o transferencia tecnológica y el uso de la marca IDEC-Sidetur. No se establecerá pago de *royalty* ni derechos de patente. El sistema IDEC-Sidetur será de uso libre.

En cuanto a la definición territorial, no existirá exclusividad de las UFC, nuevas o existentes, en un territorio determinado, esto con el fin de promover la competencia de precios y especialmente de calidad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la Red opera sobre la base de complementariedad y de información compartida.

Las UFC podrán producir y vender otros materiales y componentes distintos a los del SIDETUR. Esto sería deseable para fortalecer sus capacidades y diversificar la oferta de productos (figura 15).

Anotación final

Para la evaluación del sistema fueron construidos dos prototipos. Al segundo prototipo se le realizó una auditoría técnica en las fases de producción y de montaje en el sitio de la Planta Experimental de El Laurel del IDEC-UCV. Ello permitirá la resolución de los defectos y dificultades encontradas tanto en la producción como en el montaje, así como la formulación de la etapa final de desarrollo del sistema (figuras 16, 17, 18 y 19).

Figura 15
Producción y venta de materiales distintos



Figura 17
Construcción prototipo en la Planta Experimental



Figura 16
Construcción prototipo en la Planta Experimental



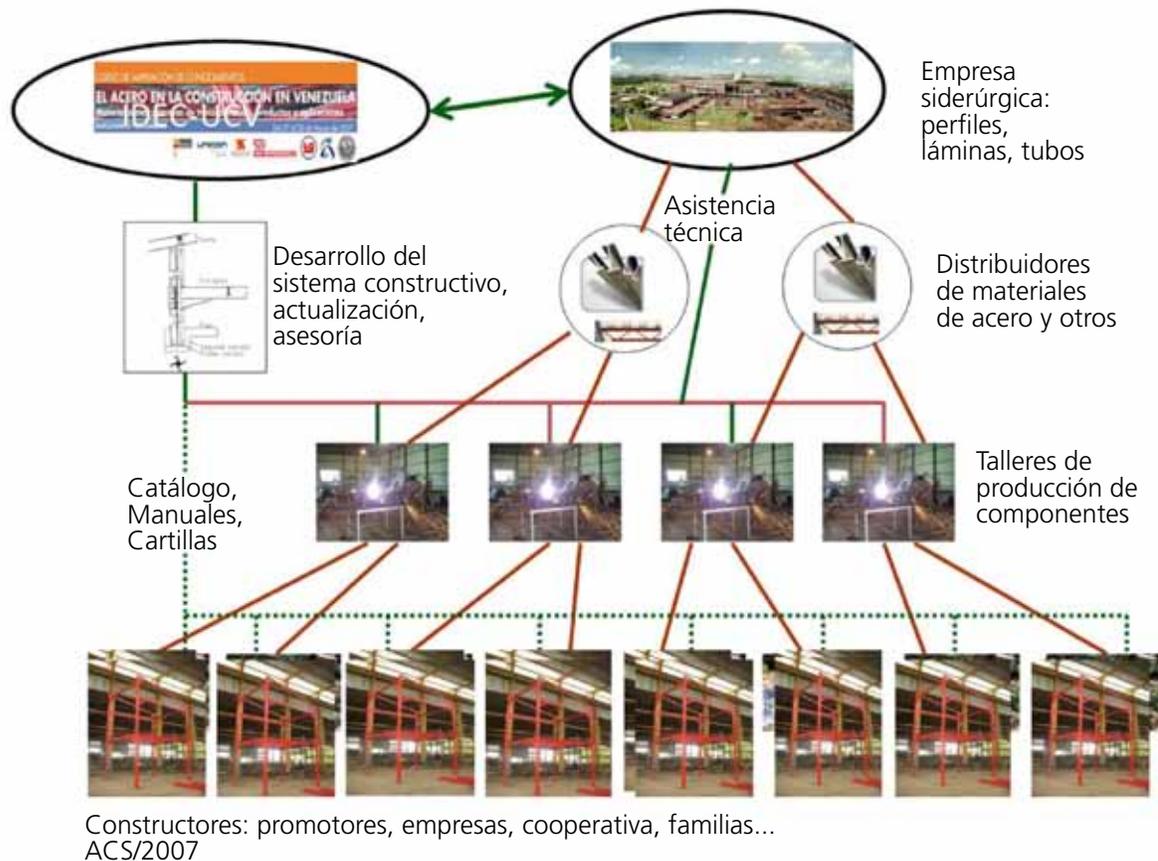
Figura 18
Detalle construcción prototipo en la Planta Experimental



La siguiente fase a desarrollar abarcará la revisión y adaptación del SC para la construcción de edificaciones de tres (3) y cuatro (4) plantas, tal como fuera recomendado luego de la evaluación y auditoría técnica del segundo prototipo construido. Esta fase incluirá la formalización del

subsistema de cerramientos y tabiquería del SC, así como el desarrollo los componentes de circulación vertical necesarios. La idea final es poder producir edificaciones unifamiliares, bifamiliares, multifamiliares o plurifamiliares de hasta cuatro (4) pisos de altura.

Figura 19
Red de productores de pequeña escala. Proyecto IDEC-Sidetur



Referencias

Cilento S., Alfredo (1996). "Sincretismo e Innovación Tecnológica en la Producción de Viviendas". *Tecnología y Construcción*, N° 12-I. 1996: 15-19.

Cilento S., Alfredo (2002). "Hogares sostenibles de desarrollo progresivo". *Tecnología y Construcción* N° 18 III, 2002: 23-38.

Cilento S., Alfredo (2006). "Penuria habitacional y vulnerabilidad urbana. Una revisión necesaria". En: Equipo Acuerdo Social. *Venezuela: Un acuerdo para el desarrollo*. Caracas: Publicaciones UCAB. 2006: 263-278.

Acosta G, Domingo y Cilento S, Alfredo (2005). "Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo". *Tecnología y Construcción* N° 21, 2005: 15-30.

Edificaciones con paraboloides hiperbólicos. La obra de Félix Candela en México y de Álvaro Coto en Venezuela

Rafael Gerardo Páez

Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela

Resumen

El trabajo analiza ejemplos emblemáticos de construcciones con paraboloides hiperbólicos proyectadas por Candela en México y Coto en Venezuela agrupándolos en cinco tipos diferentes: paraguas simple, eje z en posición vertical, bóveda por arista, eje z inclinado y bordes libres. Mientras que Candela construyó el Pabellón Rayos Cósmicos (México, 1950), en Venezuela el arquitecto mexicano Álvaro Coto llegó a realizar proyectos, patentes y construcciones innovadoras mediante cubiertas de doble curvatura.

Abstract

Examples are analyzed with emblematic buildings designed by Candela hyperbolic paraboloid in Mexico and Coto in Venezuela. Grouped into five types: single umbrella, z axis vertical, groin vault, z axis tilted and free edges. Candela built the Pabellón Rayos Cósmicos (Mexico, 1950), subsequently, Álvaro Coto, Mexican architect, came to perform in Venezuela projects, patents and innovative buildings covered of double curvature.

La metodología empleada en este artículo permite la agrupación en cinco tipos estructurales diferentes: paraguas simple, en la cual quedan incluidos los paraboloides hiperbólicos de forma de paraguas invertido y paraguas normal; eje z en posición vertical, bóvedas por aristas, eje z inclinado y bordes libres. Éstas fueron cronológicamente las modalidades construidas por Félix Candela en México (Faber, 1970) y que se difundieron por todo el mundo mediante la elaboración de 1.439 proyectos, de los cuales se materializaron 896 (Tonda, 2000) como manifestación de los más altos niveles tecnológicos de edificación de sistemas de cubiertas de superficies regladas de doble curvatura. En Venezuela hubo un rezago de estas aplicaciones limitándolas principalmente a los modelos de paraguas invertidos y algunos ejemplos estructurales muy particulares de otras tipologías de paraboloides hiperbólicos. Salvo muy contados ejemplos –entre los que se cuenta la obra proyectada y construida por Coto Asenjo– los arquitectos, ingenieros, constructores e investigadores venezolanos hicieron a un lado las innovaciones de las construcciones de paraboloides hiperbólicos en concreto armado como soluciones de sistemas de cubiertas.

Antecedentes

Los estudios geométricos que inciden en los conocimientos de las superficies alabeadas de doble curvatura, entre las que se encuentran incluidos los paraboloides hiperbólicos, se remontan al siglo V a. de C., en el período

Descriptor:

Félix Candela; Álvaro Coto; paraboloides hiperbólico; cubiertas de doble curvatura.

Descriptors:

Félix Candela; Álvaro Coto; hyperbolic paraboloid; covers of double curvature.

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN | Vol. 27-1 | 2011 | pp. 55-70 | Recibido el 06/06/2011 | Aceptado el 01/03/12

helénico; mas no fue sino hasta el inicio del siglo XX, con la obra del arquitecto español Antonio Gaudí (figuras 1, 2 y 3) cuando se desarrollan "...las primeras bóvedas tabicadas de paraboloides hiperbólicos en la historia de la arquitectura" (Matzner, 1997). En 1933, el ingeniero francés Bernard Lafaille (figura 4) construyó en la ciudad de Dreux, Francia, a partir de una innovación desarrollada por él, la V Lafaille, un poste prefabricado que facilitó la tarea de erigir un primer paraboloide hiperbólico de concreto armado: la cubierta de doble cantiliver (figura 5) con cuatro unidades de superficies regladas (Catalano, 1962). Fue así como Lafaille publicó, dos años más tarde, las Memorias sobre el estudio general de las Superficies Alabeadas. En 1936, Fernand Aimond, ingeniero francés, publicó un primer tratado: Estudio estático de las bóvedas delgadas en paraboloide hiperbólico trabajando sin flexión (Pilarski, 1936).

Figura 1
Antonio Gaudí
(1852-1926)



Fuente:
Fotografía de Pablo Audouard

Figura 2
Cripta de la Colonia Güell
en Barcelona, España



Fuente:
<http://www.experienciasnn.com/tag/colonia-guell>.

Figura 3
Bóvedas regladas
en la Sagrada Familia
en Barcelona, España



Fuente: http://1.bp.blogspot.com/_3acmgihFAPg/TIKe9Odcqz/AAAAAAAAAHvk/Z8J65Le7hjo/s1600/Gaudia.jpg

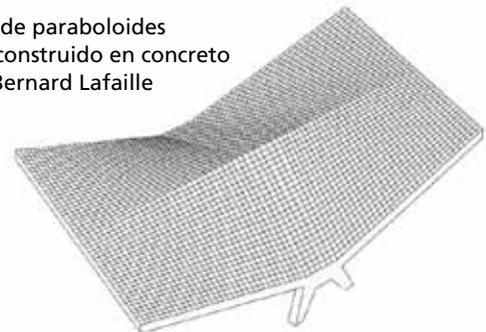
En 1966, el ingeniero André Paduart (figura 6) construyó una cubierta muy similar emulando a la de Lafaille, en la Universidad de Bruselas (figura 7), aumentando las dimensiones de los volados pero disminuyendo el espesor a 7 cm (Espion, Halleux & Sciffmann, 2003).

Figura 4
Bernard Lafaille
(1900-1955)



Fuente: <http://www.notre-dame-royan.com/expositions/notre-dame-le-symbole-de-royan/laffaille-et-sarger-ingenieurs-de-notre-dame/>

Figura 5
Primer techo de paraboloides
hiperbólicos construido en concreto
armado por Bernard Lafaille



Fuente:
Elaboración propia con base en Eduardo Catalano (1962)

Figura 6
André Paduart,
(1914-1985)



Figura 7
Cubierta de concreto armado formada por cuatro unidades
de paraboloides hiperbólicos, en la Universidad de Bruselas



Fuente: http://www.ulb.ac.be/polytech/sgc/album/publicat/Espion_Paper_V4.pdf

La experiencia mexicana en la obra de Félix Candela

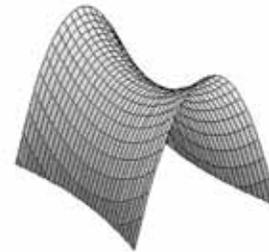
La experiencia mexicana en las obras con paraboloides hiperbólicos se inició en 1950, año en que el ingeniero español Félix Candela (figura 8) constituyó la compañía Cubiertas Ala de México junto a los hermanos arquitectos Raúl y Fernando Hernández Rangel. Esta sociedad perduró sólo tres años y el mismo Candela se separó posteriormente de la empresa en 1969, dejando a su propio hermano encargado de las contrataciones. De acuerdo con lo expresado con Juan Tonda (2000) este período, que se extendió hasta 1976, fue reconocido como la "era de oro de las estructuras de Candela".

La innovación que marcó la verdadera pauta en el inicio de construcciones con superficies alabeadas de doble curvatura fue el estudio y refinamiento de las fórmulas y ecuaciones contenidas en el trabajo de Fernand Aimond. Esto permitió que, para 1950, Candela, resolviera eficazmente –junto al Arq. J. González Reyna– el encargo de diseñar y construir el Pabellón de Rayos Cósmicos en la Ciudad Universitaria en Ciudad de México.

Candela construyó ésta, su primera cáscara reglada de doble curvatura, con forma de silla de montar sin cálculos estructurales previos. Según Colin Faber: "...la bóveda estaba a punto de ser colada, cuando un comité de supervisión pidió los cálculos. No había ningunos [sic]"

(Faber, 1970:51). La condición explícita, solicitada a Candela fue que "El techo debía ser suficientemente delgado para dar paso a los rayos cósmicos: no más grueso que 15 mm." (Faber, 1970:51). La modalidad geométrico-cartesiana construida por Candela para el Pabellón de Rayos Cósmicos (figura 9) era la de un paraboloide hiperbólico como superficie anticlastica. A continuación, mostramos la ecuación cartesiana de la superficie alabeada de doble curvatura en su forma general y representación gráfica con sus líneas de contorno:

$$\frac{y^2}{b^2} - \frac{x^2}{a^2} = \frac{z}{c}$$



Clasificación de los tipos de Paraboloides hiperbólicos construidos por Candela

Seguidamente serán analizadas las diferentes tipologías de paraboloides hiperbólicos que fueron diseñados y construidos por Félix Candela.

Paraguas invertidos

La determinación de los esfuerzos y reacciones aportadas por Aimond, en 1936, fueron perfeccionadas por Candela, entre los años 1950-1954. Esto le permitió crear cubiertas de concreto armado en forma de paraguas invertidos (ver figura 10) que, aun cuando poseían el eje z en posición vertical, podían construirse con los bordes inclinados para permitir el paso de luz y ventilación natural.

Figura 8
Félix Candela (1910-1997)



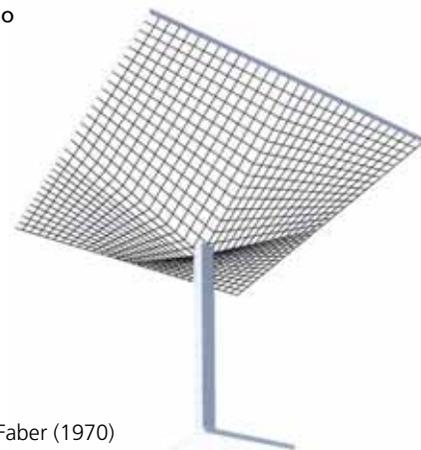
Fuente: http://www.arquitecturablanca.com/noticias/exposicion-%22felix-candela-1910-2010%22-en-el-meiac_121.html.

Figura 9
Pabellón de Rayos Cósmicos



Fuente:
Cortesía Arq. Caro Carmona

Figura 10
Paraguas invertido



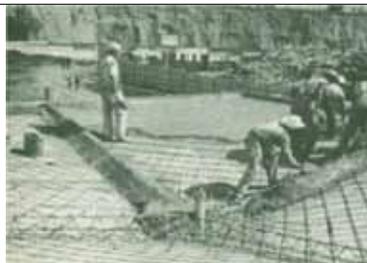
Fuente:
Elaboración propia con base en Colin Faber (1970)

El primer prototipo de paraboloides hiperbólicos del tipo paraguas invertidos fue el de Tecamachalco, México, D.F., construido en 1952 (figura 11). Según lo describe Candela fueron solucionados "...con un peralte de 1 m, medía 10 x 10 m y un espesor de 4 cm. La flecha era escasa se produjeron deflexiones de cerca de 5 cm. La estructura también mostró tendencia a vibrar con el viento" (Candela mencionado por Faber, 1970:84).

Otro prototipo experimental fue el de la obra del Almacén de Las Aduanas, en la zona de Vallejo, México, D.F., "...con dimensiones de 8 X 8 m y flecha de 60 cm" (Faber, 1970:84). Fue allí donde 25 trabajadores junto a Candela posaron sobre la cubierta para demostrar la estabilidad de la misma al someterla a importantes cargas sin llegar a colapsar (figura 12).

Otro ejemplo de esta tipología de paraguas invertidos es el Almacén de Río construido en 1954 en la zona de Linda Vista en México, Distrito Federal (figura 13). El Almacén de Río fue resuelto con 36 paraguas esta vez rectangulares de 10m x 15m, con la particularidad de que los paraboloides hiperbólicos tenían inclinaciones que permitían el paso de luz y ventilación natural.

Figura 11
Prototipo de paraguas invertidos de Tecamachalco en México, D.F.



Fuente: Colin Faber (1970)

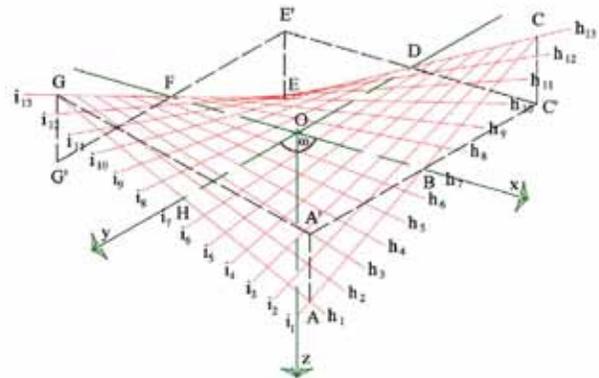
Figura 12
Prototipo experimental en el Almacén de Las Aduanas, Colonia Vallejo México, D.F.

Paraboloides hiperbólicos con el eje z vertical

Pero, desde una visual meramente geométrica, ¿en qué consiste el posicionamiento vertical de un eje z de un paraboloides hiperbólico?

Los paraboloides hiperbólicos se obtienen geométrica y gráficamente, según la descripción hecha por Candela, en dos modos distintos: el primero como superficie anticlástica (figura 14) a partir de "...dos sistemas de líneas rectas hn e in, cada sistema paralelo a un plano director y ambos planos formando un ángulo arbitrario" (Candela, mencionado por Faber, 1970:27).

Figura 14
Representación, según lo explica Candela, del modo de generar un paraboloides hiperbólico como superficie anticlástica mediante dos tipos de rectas generatrices, hn e in con eje z vertical



Fuente: Elaboración propia con base en Colin Faber (1970)

Fuente:
<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?s=8fce64dd73754ab4ba2dbb11e034de74&t=981060>

Figura 13
Almacén de Río. Construido en 1954 en Linda Vista, México, D.F.



Fuente:
<http://www.frente.com.mx/2011/10/13/felix-candela-y-max-cetto-en-el-mam/>



Candela define el plano director y el primer sistema de generatrices del siguiente modo: “Las líneas rectas hn que intersecan a ambas directrices, siendo al mismo tiempo paralelas a un plano xOz llamado plano director, definen la superficie. Se les denomina el primer sistema de generatrices” (Candela, mencionado por Faber, 1970:26).

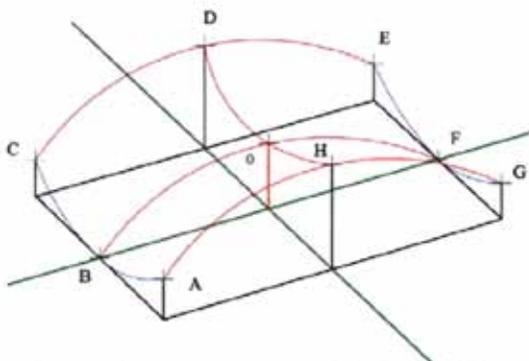
El segundo sistema de generatrices in son rectas paralelas a un segundo plano director yOz , el cual, a su vez, también es paralelo a las directrices HOD y ABC .

Paraboloides hiperbólicos como superficies de traslación

Con eje z vertical se obtienen también paraboloides hiperbólicos como una superficie de traslación generados por una parábola principal que se mueve paralelamente a si misma a lo largo de otra parábola invertida (figuras 15, y 16): “Por consiguiente, la superficie tiene dos sistemas de generatrices parabólicas. Cada sistema está compuesto por parábolas idénticas, situadas en planos paralelos” (Candela mencionado por Faber, 1970:28).

La iglesia de La Medalla Milagrosa (figura 17), ubicada en la zona residencial de Narvarte en Ciudad de México, permitió a Candela desarrollar, entre los años 1954-55, una construcción de paraboloides hiperbólicos con mayor complejidad que los paraguas simples conservando el eje z en posición vertical. Félix Candela describió el diseño así: “Es un edificio notable. (...) La estructura es una combinación de superficies alabeadas todas ellas (excepto en la pequeña capilla lateral) paraboloides con el espesor usual de 4 cm o menos. Hasta el espigado campanario está hecho con hypares” (Faber, 1970:99).

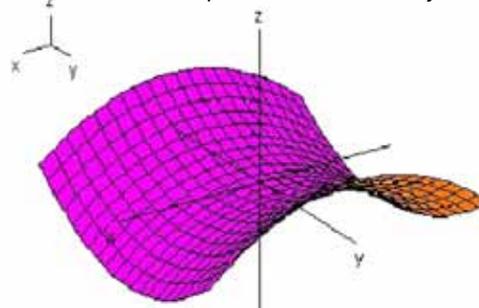
Figura 15
El paraboloides hiperbólico como superficie de traslación



Fuente: Elaboración propia con base en Colin Faber (1970)

Todo el concreto fue vaciado a mano requiriéndose gran habilidad para los encofrados y al presentarse alguna falla en determinada columna (figuras 18 y 19) la superficie alabeada permitía su corrección sin conllevar al colapso de la estructura. “El diseño fue hecho en una tarde, dibujado en una semana y calculado durante la construcción” (Candela, mencionado por Faber, 1970:102).

Figura 16
Representación de la superficie alabeada $z = y^2 - x^2$



Fuente: Elaboración propia mediante el software matemático Derive®.

Figura 17
Vista exterior de la iglesia de La Medalla Milagrosa



Fuente: <http://www.google.co.ve/imgres?q=iglesia+de+la+medalla+milagrosa+felix+candela>

Figura 18
Columna colapsada que debió demolerse parcialmente en la Iglesia de la Medalla Milagrosa



Fuente: Colin Faber (1970)

Figura 19
La misma columna colapsada en 1954 permanece en la actualidad en óptimas condiciones estructurales



Fuente: http://hermanmao.com/files/gimms/8_jpg-arch-candela-mexico01.jpg

Las Bóvedas por aristas una innovación constructiva que antecedió a los paraboloides hiperbólicos con bordes libres

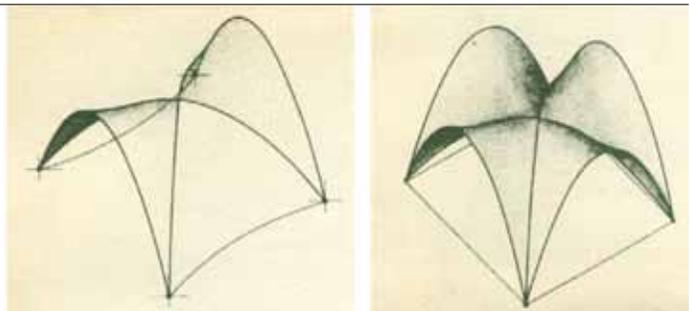
Constructivamente las bóvedas por aristas se emplearon desde el período románico y fueron el resultado de resolver geoméricamente la intersección perpendicular de dos bóvedas de cañón para cubrir espacios cuadrados o rectangulares. El término aristas se refiere a que las líneas de intersección entre las curvas diagonales de la bóveda conformaban arcos de semielipses que se unían en el vértice de la cúpula. Estas bóvedas por aristas dieron pie a una nueva particularidad que se denominó bóveda de crucería a partir de la intersección ya no de bóvedas de cañón sino de bóvedas de crucería, que se difundió en las construcciones góticas renacentistas durante la Edad Media.

La forma de interceptar dos o más paraboloides hiperbólicos en un mismo plano, aun cuando estaba geoméricamente concebida, era considerada como improbable de edificar debido a que no se lograba definir la magnitud de los esfuerzos que actuaban en las líneas de intersección de las superficies cuando estas eran doblemente regladas. Candela alcanzó a dar con la solución en términos prácticos y conceptuales.

La Sala de Remates de la Bolsa de Valores, ubicada en la calle Uruguay de la ciudad de México fue proyectada, en 1954, por los arquitectos Enrique de la Mora y Fernando López Carmona. Ambos pensaron que esta modalidad de bóvedas por aristas, propuesta por ellos, resultaba casi imposible llevarla a la práctica. Sin embargo, Candela dejó ver una opinión muy diferente en La Medalla Milagrosa señalando que el diseño era "...interesante, perfectamente lógico y no difícil de construir" (Candela mencionado por Faber, 1970:150). La bóveda de la Sala de Remates de la ciudad de México fue solucionada bajo la condición geométrica de intersectar dos paraboloides hiperbólicos (figura 20).

Figura 20
Modo de intersección de dos paraboloides hiperbólicos, empleado por Félix Candela, para responder al proyecto estructural del Edificio de la Bolsa de Valores

Fuente: Colin Faber, (1970)



Eje z no vertical

Candela desarrolló una modalidad matemáticamente interesante de concebir los paraboloides hiperbólicos: la colocación del eje z en posición oblicua. Él fue el artífice de esa innovación constructiva.

Ante el reto de diseñar y construir estructuras con paraboloides hiperbólicos con el eje z no vertical y la existencia de muy pocos ejemplos para finales de los años cincuenta, el Arq. Catalano escribió: "Quizás ello se deba a la mayor complejidad requerida en su análisis estructural y evidentemente al hecho de hallarnos en los albores de su uso como estructura" (Catalano, 1962:11).

En la solución del recinto de Nuestra Señora de La Soledad en 1955 (también conocida como Capilla del Altílllo, ubicada en Coyoacán, ciudad de México), se conjugaron, además de la sencillez resultante, un empeño por afinar las técnicas constructivas que conllevaron al empleo de materiales constructivos autóctonos en combinación con el concreto a la vista sin ningún tipo de tratamiento (figuras 21 y 22).

Figura 21
Capilla del Altílllo una vez vaciada la cubierta



Fuente:
Colin Faber, (1970)

Figura 22
Vista de los accesos laterales de la Capilla del Altílllo



Fuente:
<http://es.wikiarquitectura.com/index.php/Archivo:CapillaSoledad.jpg>

Candela supo interpretar con certeza la simplicidad arquitectónica con la alta complejidad estructural. El eje z no vertical rompió los esquemas superando todas las expectativas que determinan las reglas del equilibrio estable de las superficies doblemente regladas.

Bordes libres

Candela resolvió la implantación de un modelo de cubiertas totalmente diferente: el borde libre, que consistía en un sistema donde se proponía conservar los bajos espesores ya alcanzados, de aproximadamente 4 cm, mediante la eliminación de los refuerzos y de los elementos de rigidización rectilíneos que hasta ese entonces eran imprescindibles en todas las otras tipologías de cubiertas de paraboloides hiperbólicos, sustituyéndolos por arcos que transmitían los esfuerzos hacia los apoyos.

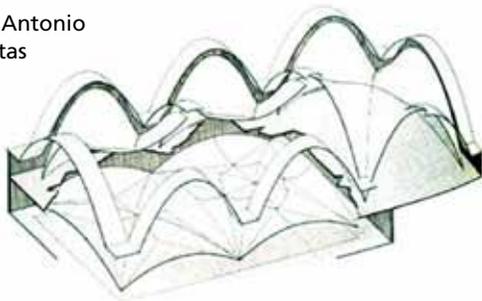
La capilla de San Antonio de las Huertas (Calzada México-Tacuba, 1956) fue un proyecto de los arquitectos Enrique de la Mora y Fernando López Carmona. Una propuesta que brindó a Candela la posibilidad de abordar constructivamente este problema geométrico que aún quedaba por resolverse, la solución de cubiertas de paraboloides hiperbólicos con los bordes libres (figuras 23 y 24).

Respecto a esta innovación constructiva Candela dijo que: "La significación real de las condiciones de borde, nunca explicitada claramente en la mayoría de los tex-

tos, fue finalmente clara para mí. (...) A pesar de que se me dio todo el tiempo necesario para hacer los cálculos, estos estaban equivocados en muchos detalles" (Candela, mencionado por Faber, 1970:198-199).

Resulta casi imposible describir la obra de Candela sin relacionarla con el restaurante Los Manantiales (ubicado en Xochimilco, México, D.F., 1958), diseño arquitectónico de Joaquín y Fernando Álvarez Ordóñez, cálculo estructural y construcción de Félix Candela. Esta nueva edificación tuvo como antecedente la iglesia de San Antonio de las Huertas. Además, todo constructor tiene una construcción que considera más emblemática y para Candela ese fue el significado que marcó el restaurante Los Manantiales: un antes y un después respecto a edificaciones con cubiertas de paraboloides hiperbólicos de concreto armado. Xochimilco es una zona de canales de agua dulce que constituyó el mejor paisaje natural para emplazar allí su obra cumbre. Respecto a este proyecto dice Faber que: "La estructura de Xochimilco es una bóveda por arista octogonal, compuesta por la intersección de cuatro hypars" (Faber, 1970:216) (figuras 25 y 26).

Figura 23
Capilla San Antonio
de las Huertas



Fuente: Colin Faber, (1970)

Figura 24
Capilla de
San Antonio
de las Huertas.
Calzada México-
Tacuba D.F.1956



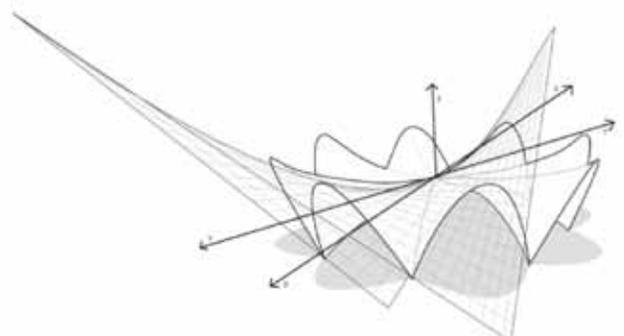
Fuente: Faber, 1970

Figura 25
Restaurante
Los Manantiales



Fuente: <http://blogs.iteso.mx/arquitectura/2011/12/13/exposicion-felix-candela-1910-2010/>

Figura 26.
Esquema de intersección de los 4 paraboloides hiperbólicos que generan la cubierta de bordes libres del restaurante Los Manantiales



Fuente: www.arquitecturablanca.com/noticias/exposicion-%22felix-candela-1910-2010%22-en-el-meiac_121.html

La experiencia venezolana en la obra del arquitecto Álvaro Coto Asenjo

Según Guido Bermúdez, el arquitecto Álvaro Coto Asenjo (figura 27), venezolano de origen mexicano y José Gabriel Loperena fundaron en Venezuela, para finales de los años cincuenta, la empresa Cubiertas Ala de Venezuela S.A. filial y representante de los proyectos y contratos del ingeniero y arquitecto español Félix Candela (Bermúdez, 1993:354). Posteriormente ambos arquitectos registraron la empresa Coto & Loperena y finalmente, al romperse la sociedad Coto Asenjo, se constituyeron otras dos firmas comerciales: Constructora Orión y Cubiertas Orientales, las cuales realizaron buen número de diseños y construcciones de estructuras de paraboloides hiperbólicos de concreto armado en Venezuela, alcanzando un mayor auge en los años sesenta hasta la década de los ochenta, cuando decayó casi por completo la edificación de este tipo de techos. En Venezuela se construyeron paraboloides hiperbólicos, en concreto armado, del tipo de paraguas invertidos para sistemas de cubiertas. Algunas experiencias específicas se resolvieron bajo otras modalidades y precisamente Coto Asenjo propuso otros materiales como la fibra de vidrio forrada en resinas plásticas. La construcción de superficies alabeadas de doble curvatura de concreto armado, específicamente de estructuras con paraboloides hiperbólicos, en otros países ha sido el resultado de la aplicación de los más avanzados conocimientos edificatorios. Mientras que en Venezuela, sencillamente, son cosa del pasado. Aún más: actualmente en el país se realizan mayores propuestas para demoler cubiertas de paraboloides hiperbólicos ya existentes, que las que se efectúan para planificar y construir otras.

A continuación serán analizados algunos casos de diseño, edificaciones y patentes solucionadas con parabo-

loides hiperbólicos que fueron propuestos por el arquitecto Álvaro Coto en Venezuela. Se agruparán en dos conjuntos: los paraboloides hiperbólicos que fueron construidos en Caracas y los que planteó en la provincia venezolana.

Estos últimos incluyen las propuestas innovadoras de estanques y silos de uso agrícola. Finalmente se presenta una de las patentes desarrolladas y registradas por él relacionada con paraboloides hiperbólicos que se construirían con fibra de vidrio.

Algunas construcciones con paraboloides hiperbólicos diseñadas en Caracas por Coto

Estaciones de gasolina

Entre finales de la década de los cincuenta y durante los años setenta se construyeron en Caracas, al igual que en algunas otras ciudades de Venezuela, estaciones de gasolina¹ que emplearon cubiertas de paraboloides hiperbólicos construidos en concreto armado para el área de los surtidores del combustible. Hoy son pocas las que aún funcionan perdurando algunas a la espera de ser demolidas (figura 28).

En la Estación de Gasolina de Coche, en Caracas, actualmente sólo se hallan en pie algunos de los paraguas invertidos de paraboloides hiperbólicos del área de servicio eléctrico automotriz, y los de las oficinas administrativas (figuras 29), el resto de estos techos ubicados en la zona de surtidores de combustible después de su demo-

Figura 27
Álvaro Coto Asenjo.
(1928 -)



Fuente:
Cortesía de Arq. Carolina Coto

Figura 28
Estación de gasolina
Av. Río de Janeiro.
Caracas



Fuente:
Fotografía del Autor

Figura 29
Área de surtidores
en la estación de
gasolina de Coche,
Caracas



lición fueron sustituidos por estructuras metálicas ligeras (figuras 30, 31 y 32).

Centro comercial Canaima

Ubicado en la Av. Francisco de Miranda Norte, sector Los Palos Grandes, hasta su demolición con explosivos a finales de la década de los años ochenta, esta obra cedió paso a la construcción de una torre de oficinas de mediana altura con igual nombre.

La Arq. Carolina Coto (hija del arquitecto Coto Asenjo) nos informa textualmente: “El cine Canaima, el centro comercial y el Pin 5 (bowling) fue un proyecto que mi papá hizo junto a José Gabriel Loperena (Coto y Loperena Arquitectos). Luego del incendio que en los ochenta destruyó gran parte de la mampostería (sorpresivamente los paraboloides sobrevivieron), los dueños originales vendieron los “restos” a una constructora que demolió (dinamitó) el cine, cubrió el resto de los paraboloides y construyó la torre de oficinas que hoy existe” (figuras 33, 34, 35 y 36) (C. Coto, comunicación personal, correo de noviembre 29, 2010).

Figura 33
Centro comercial Canaima.
Los Palos Grandes, Caracas



Fuente:
<http://sieim2007.blogspot.com/2010/04/caracas-hace-anos-y-urb-altamira.html>

Figuras 34, 35 y 36.

Fotografías inéditas captadas por el arquitecto Álvaro Coto Asenjo, donde se observan las condiciones de preservación de los paraboloides hiperbólicos de concreto armado después del incendio devastador que acabó con su funcionamiento y que conllevaría a su demolición total



Fuente:
Cortesía de Arq. Carolina Coto

Figura 30
Vista del conjunto de cubiertas de paraboloides hiperbólicos en forma de paraguas invertidos ubicados en los cuales fueron demolidos en su totalidad



Fuente: Fotografías del autor

Figura 31
Paraguas invertidos de paraboloides hiperbólicos del área de servicio eléctrico automotriz, y de las oficinas de la Estación de Gasolina de Coche en Caracas.



Figura 32
Estructuras metálicas ligeras con las cuales fueron sustituidos los paraboloides de concreto armado posterior a su demolición



Fuente: Fotografías del autor

Ejemplos de paraboloides hiperbólicos de concreto armado diseñados y construidos por Álvaro Coto en la provincia venezolana

Terminal de autobuses de Ciudad Bolívar

Por razones quizás relacionadas con el factor económico, rapidez de ejecución, ausencia de mano de obra especializada en la zona, u otras, la terminal de autobu-

ses de Ciudad Bolívar, al oriente de Venezuela, que fuera diseñada por el Arq. Coto para construirse con paraboloides hiperbólicos los cuales serían armados, encofrados y vaciados con concreto, tuvieron como resultado una estructura metálica a dos aguas, con cubierta de asbesto cemento (figura 37).

Al revisar una copia del plano estructural de este proyecto realizado por Coto Asenjo en 1969 (figura 38), perteneciente a la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas de Venezuela, se observa que la idea concebida responde a andenes con una estructura de cuatro unidades de paraboloides hiperbólicos en la modalidad de paraguas invertidos rectangulares de 12m x 8m.

Un ejemplo de la solución de andenes con paraguas invertidos de paraboloides hiperbólicos en concreto armado, similar a la que fue planteada por el Arq. Coto Asenjo para la Terminal de Ciudad Bolívar, se puede observar tanto en la Terminal de Pasajeros de Barinas (figura 39) como en la Terminal de Pasajeros de San Cristóbal, estado Táchira (figura 40).

Esta última es un ejemplo superior del empleo de superficies regladas que desarrollan una doble curvatura mediante una flecha alta, un bajo espesor de losa (4 cm)

y un volado grande novedoso en construcciones para el transporte público en la provincia venezolana.

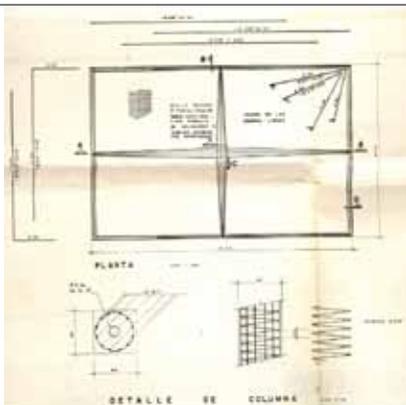
Esta terminal se caracteriza primordialmente por la limpieza en la edificación, condición que se refleja en la excelente apariencia que presenta el concreto armado de toda la estructura. Los detalles de iluminación natural fueron resueltos mediante aberturas en las cúspides de los techos donde se unen cuatro unidades de paraboloides hiperbólicos, mientras que en la parte interna cuelgan difusores metálicos con persianas, también con forma de paraboloides hiperbólicos, que permiten el paso de la luz solar, diseminándola (figuras 41, 42 y 43).

Figura 37
Terminal de pasajeros de Ciudad Bolívar



Fuente:
Fotografía del autor

Figura 38.
Detalles de armados de los paraguas invertidos para la Terminal de pasajeros de Ciudad Bolívar



Fuente: Archivo de trabajos del Arq. Coto Asenjo. Cortesía de Sra. Alicia de Coto

Figura 39
Andenes de paraboloides hiperbólicos en la Terminal de autobuses de Barinas



Fuente:
Fotografía del autor

Figura 40
Acceso al público Terminal de San Cristóbal



Fuente:
Fotografía del autor

Figura 41
Terminal de autobuses de San Cristóbal. Al poco tiempo de culminar la edificación Coto Asenjo captó esta imagen de la parte interna



Fuente: Cortesía Arq. Carolina Coto

Figura 42.
Se observa el estado de conservación de la estructura, lámparas y diseminadores solares



Fuente:
Fotografía del autor

Figura 43
Andenes resueltos con cubiertas de paraboloides hiperbólicos de concreto armado en la Terminal de pasajeros de San Cristóbal



Fuente: Fotografía del autor

Planta ensambladora de Volkswagen en Palma Sola

Para 1963 los arquitectos Dirk Bornhorst y Pedro Neuberger proyectaron la planta de ensamblaje de Volkswagen en Palma Sola, Morón, estado Carabobo, la cual contó con la participación para el proyecto y ejecución de los paraboloides hiperbólicos con la propuesta de Álvaro Coto en colaboración con Félix Candela (figuras 44 y 45).

La nave de montaje fue resuelta de acuerdo con el siguiente criterio: "Después de estudiar distintos tipos de estructuras industriales corrientes, como solución favorable se optó por los paraboloides hiperbólicos y estructuras de hormigón en forma de hongo con una columna central, por cuyo interior van las bajantes de aguas pluviales (...) La particularidad del diseño de Bornhorst estriba en la inclinación dada los paraboloides. (...)

Los paraboloides se han inclinado ligeramente hacia el norte para obtener una ventilación e iluminación natural tipo diente de sierra controlada por ventanales de plástico traslúcido y aluminio" (Bornhorst mencionado por Vicente, 2001:11).

Los paraguas invertidos han quedado como muestra fehaciente de un proyecto arquitectónico (figuras 46 y 47) que supo conjugar los valores estéticos de la edificación con el uso de una tecnología constructiva que adaptó necesidades financieras y de producción industrial mediante el aprovechamiento espacial a cubierto resolviendo necesidades de ventilación e iluminación natural.

Figura 44.
Nave central Planta ensambladora Volkswagen



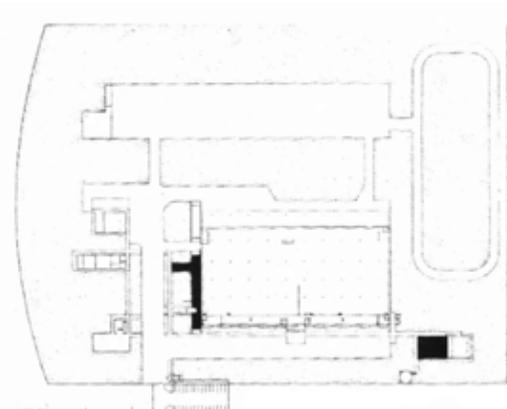
Fuente: www.automotriz.net/articulos/entr-kozma-mayo2002.html

Figura 45
Vista de conjunto de la Planta ensambladora Volkswagen en Palma Sola, Morón, estado Carabobo



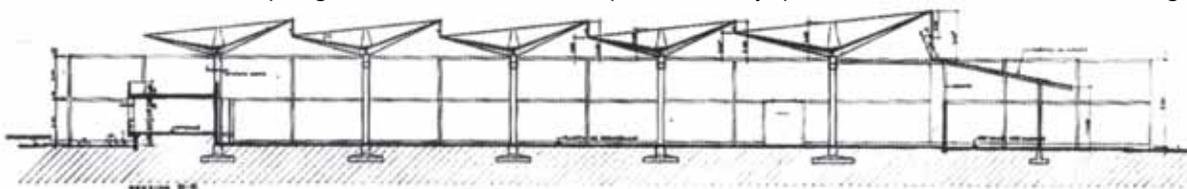
Fuente: <http://www.dirkbornhorst.com/Cont3/obra5.htm>

Figura 46
Plano de arquitectura de la Planta ensambladora Volkswagen



Fuente: Extraída de Revista DADA (mayo-agosto, 2001)

Figura 47
Corte estructural de la propuesta de paraboloides hiperbólicos en forma de paraguas invertidos desarrollada por Coto Asenjo para la Planta ensambladora Volkswagen



Fuente: Extraída de Revista DADA (mayo-agosto, 2001)

A pesar de la importancia que tuvo la planta ensambladora de la Volkswagen de Palma Sola para la industria automotriz venezolana, la edificación fue abandonada sin que hasta el presente se perciban acciones para su recuperación.

Propuestas innovadoras de construcciones con paraboloides hiperbólicos en la obra de Álvaro Coto

Álvaro Coto caracterizó su obra por el desarrollo de nuevas aplicaciones para las estructuras de paraboloides hiperbólicos. Fue así como la empresa Cubiertas Ala de Venezuela planteó soluciones para edificaciones agroindustriales. Los primeros silos fueron concebidos para las unidades de almacenamiento de baja capacidad requeridos por Fedegro Araure y los silos de Fedegro Turén, ambos en el estado Portuguesa de Venezuela.

Sin embargo, a pesar de las ventajas que estos depósitos agroalimentarios presentaban, Coto Asenjo no alcanzó a construir ninguno de ellos.

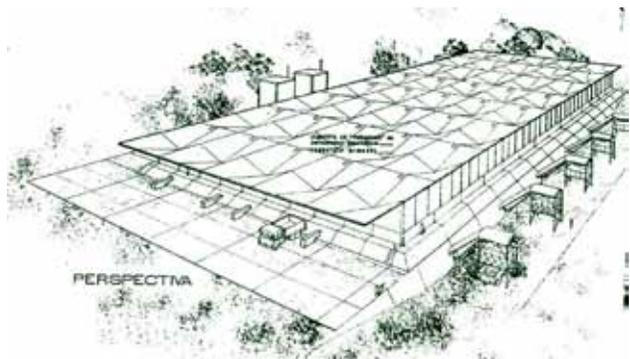
Una tipología de silos agroindustriales de gran capacidad fue diseñada en los años 1980-1990 por el Arq. Coto Asenjo para Arquitectura Orión, otra de las empresas fundadas por él (figura 48). La propuesta se caracterizaba por una estructura de 40 paraboloides hiperbólicos de cuatro unidades de paraguas invertidos de 12m x 12m, para disponer 25 silos semienterrados, los cuales podían ser visitables por operarios facilitando su limpieza y disponían mediante camiones de sistemas de alimentación y descarga a cubierto gracias a voladizos perimetrales de la misma estructura de concreto reforzado (figura 49).

Otra propuesta innovadora desarrollada por el arquitecto Álvaro Coto, para Cubiertas Orientales, C.A. la última de las empresas registradas por él en la Isla de Margarita, estado Nueva Esparta, permitió, a través del dominio geométrico y estructural de los paraboloides hiperbólicos, generar estanques de agua potable de capacidad superior a 500 mil litros que bien podían desplantarse semienterrados o elevados sobre el nivel del terreno (figura 50) según las condiciones topográficas.

La carencia de agua potable en muchos meses del año en gran parte del territorio nacional venezolano condujo a que la idea original de la propuesta convirtiera las mismas cubiertas del paraboloide hiperbólico, además de la tapa del recinto, en superficies de captación de aguas de lluvia (figura 51).

Las características geométricas de los paraboloides hiperbólicos empleados como paredes, pisos y techos de los

Figura 48
Vista de conjunto de la propuesta de silos



Fuente: Dibujos del Arq. Coto Asenjo.
Cortesía de Sra. Alicia de Coto

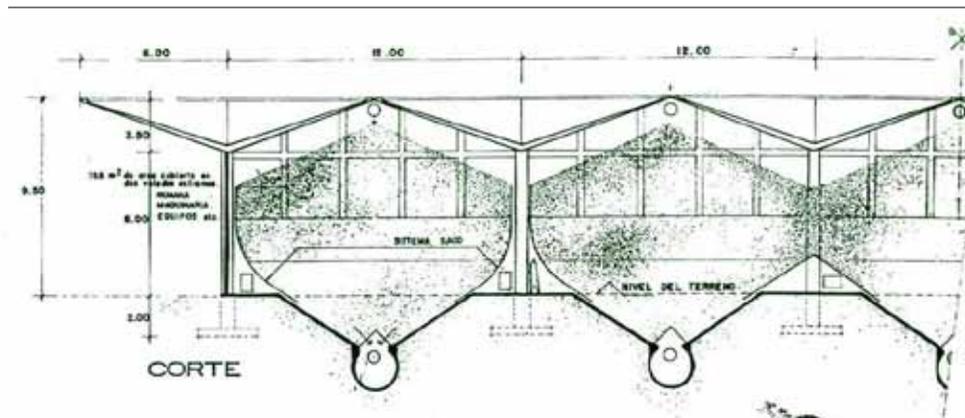


Figura 49
Detalle en corte de los silos agroindustriales para 20 mil TM de cereales diseñados por Coto con estructuras de paraboloides hiperbólicos

Fuente:
Archivo de trabajos del Arq. Coto Asenjo. Cortesía de Sra. Alicia de Coto

estanques de doble curvatura para más de 500 mil litros diseñados por Coto Asenjo (figura 52 y 53) eran determinantes para lograr condiciones favorables tales como un bajo espesor del concreto armado, poco movimiento de tierras y rapidez de ejecución, lo que representaba una eficaz solución de almacenamiento en comparación con las soluciones de depósitos esféricos y cilíndricos que aún se emplean.

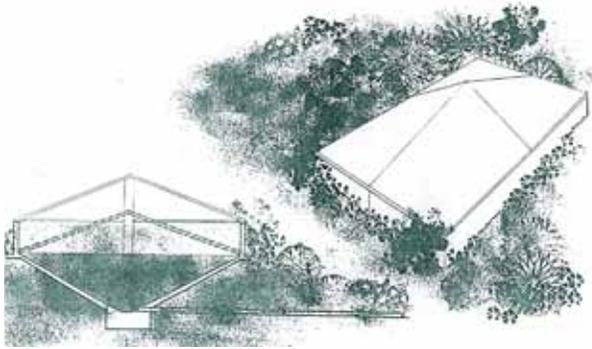
Solicitud de registro de Patente de Álvaro Coto con propuestas inéditas para generar paraboloides hiperbólicos con fibra de vidrio y resinas plásticas.

Álvaro Coto, como investigador independiente, formuló innovaciones estructurales y aplicaciones de nuevas técnicas y materiales constructivos. Fue así como para el

año 1994 solicitó el registro de una patente para fabricar cubiertas de paraboloides hiperbólicos (figura 54) que respondía a la siguiente denominación: "Pieza reversible, prefabricada en forma de dos sectores de paraboloides hiperbólicos, usable en repetición ensamblada en la ejecución de cubiertas".

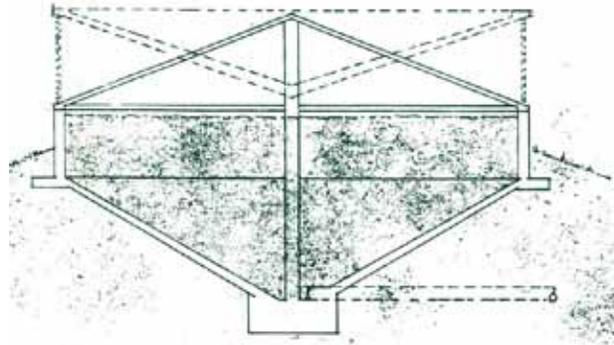
En la memoria preliminar de la solicitud de registro de la patente N° 1994-00417 el sistema estructural desarrollado por Coto Asenjo se mencionan las siguientes características: "...un elemento formado por una superficie desarrollada en doble curvatura anticlástica en forma de un paralelogramo alabeado en dimensiones de 2,5m x 2,5m perfectamente cuadradas en proyección horizontal para efecto de ensamblaje, y con una flecha de alabeo de 0,80m.

Figura 50
Estanques de agua potable



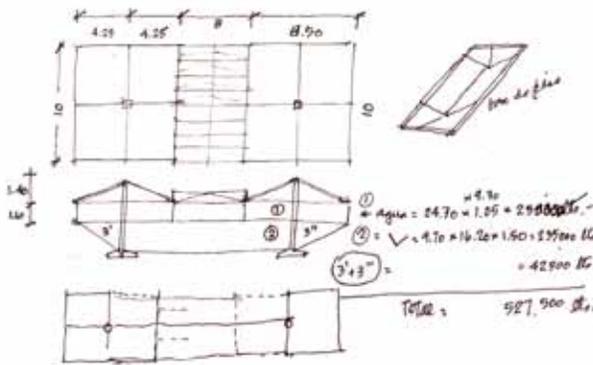
Fuente: Dibujos del Arq. Coto Asenjo. Cortesía de Sra. Alicia de Coto

Figuras 53
Detalle del corte estructural del estanque para depósito de agua

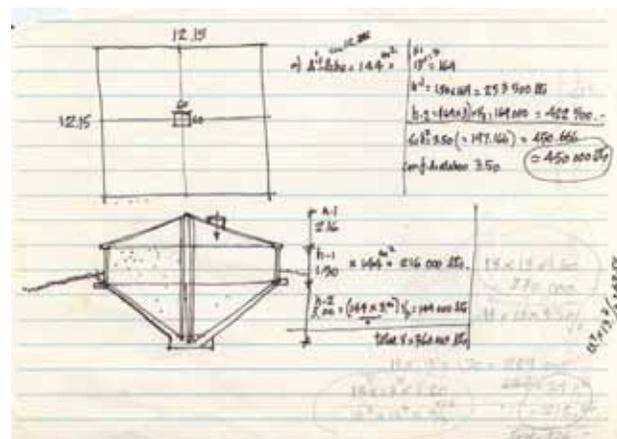


Fuente: Archivo de trabajos del Arq. Álvaro Coto Asenjo. Cortesía de Sra. Alicia de Coto

Figuras 51 y 52
Croquis realizados por Coto Asenjo para concebir la idea original y cálculo del proyecto de los estanques de agua potable con solución estructural de paraboloides hiperbólicos



Fuente: Archivo de trabajos del Arq. Álvaro Coto Asenjo. Cortesía de Sra. Alicia de Coto



La superficie estará formada por una capa de un espesor máximo de 1,5 mm, reforzada con bordes de 12cm de altura por 8mm de espesor" (A. Coto, comunicación escrita enviada a la empresa Fibro Productos CCB, noviembre 11, 1994, requiriendo el presupuesto para la fabricación de los prototipos).

Como detalle interesante que denota el nivel tecnológico de esta innovación se halla el sistema de ensamblaje de las piezas de paraboloides hiperbólicos con el poste estructural (figura 55 y 56), descrito así: "En una de las esquinas la pieza llevará un corte en sección de un cuarto de círculo para formar un círculo completo formado por 4 de un tubo de hierro de tres pulgadas (3"); este corte deberá tener una prolongación de 13cm angulada, en el caso de tener que colocar bridas, abrazaderas, etc., si se unieran unas con otras" (A. Coto, s/f. descripción del modelo

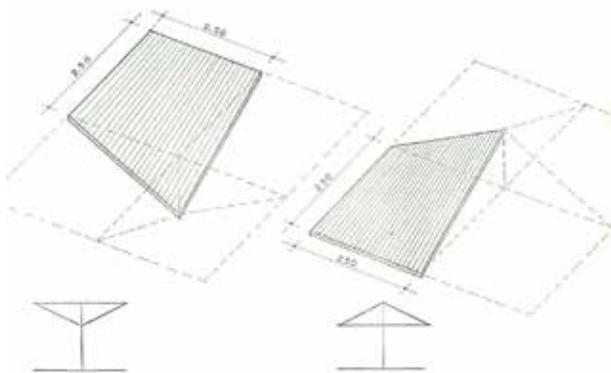
de sujeción para la solicitud de patente No 1994-00417, información suministrada por la Sra. Alicia de Coto).

Sede del Colegio de Médicos del estado Zulia

El Colegio de Médicos del estado Zulia (Maracaibo, 1964) fue un proyecto del Arq. Casas Armengol y la solución estructural de los paraboloides hiperbólicos quedó a cargo del Arq. Coto Asenjo (C. Coto, comunicación personal, correo-e, noviembre, 30, 2010).

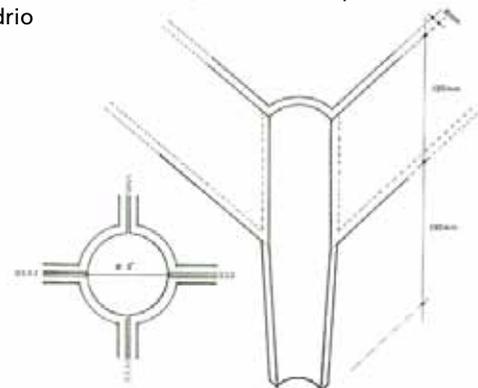
Constituye una muestra de las cubiertas de paraboloides hiperbólicos que con mayor audacia geométrica y estructural se han construido en Venezuela (figura 57), a la vez que guarda semejanza formal con las propuestas realizadas en los cursos de diseño del Massachusetts Insti-

Figura 54
Descripción de las modalidades de cubiertas propuestas por Coto Asenjo para ser fabricadas en plástico



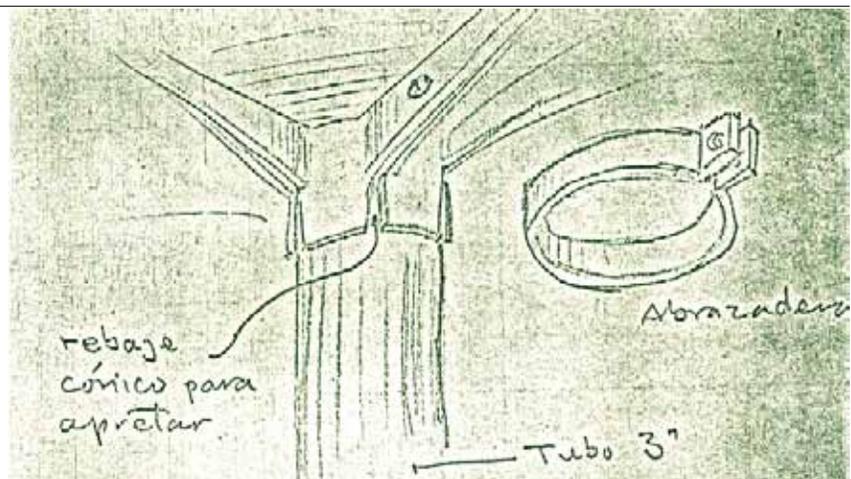
Fuente: Archivo de trabajos del Arq. Álvaro Coto Asenjo. Cortesía de Sra. Alicia de Coto

Figura 55
Detalles del sistema de ensamblado para las cubiertas de paraboloides hiperbólicos patentado por el arquitecto Álvaro Coto, los cuales serían fabricados en capas de resina y fibra de vidrio



Fuente: Archivo de trabajos del Arq. Álvaro Coto Asenjo. Cortesía de Sra. Alicia de Coto

Figura 56
Boceto tomado de los apuntes originales que permitieron al Arq. Coto concebir esta innovación



tute of Technology (MIT-EEUU) bajo la dirección del arquitecto argentino Eduardo Catalano, trabajos que quedaron registrados en el texto Estructuras de superficies alabeadas. Combinaciones de paraboloides hiperbólicos, donde el autor describe que el "...paraboloide hiperbólico se ha hecho presente en los últimos diez años como leitmotiv de un vasto número de estructuras" (Catalano, 1962:7).

Además de la ubicación de un conjunto de paraguas invertidos, el auditorio es una cubierta simétrica de ocho unidades de paraboloides hiperbólicos sobre cuatro apoyos oblicuos (figura 58).

En esta obra Coto Asenjo explota con originalidad la inclinación de las columnas que más que apoyos semejan la continuidad de los pliegues de la misma cubierta hacia el piso.

La edificación se halla hoy día en excelentes condiciones de mantenimiento (figura 59).

Conclusiones

En la empresa Cubiertas Ala de México, fundada por Candela, se realizaron 1.439 proyectos. Entre los 543 que dejó sin construir Candela realizó dos para Venezuela, la sede para el Edificio de Cartografía de Caracas y el Auditorio para la ciudad de Maracaibo (Tonda, 2000).

El legado constructivo de Candela ha sido catalogado, registrado y transmitido a nuevas generaciones mediante investigaciones y publicaciones traducidas a distintos idiomas. Su obra es conservada y en casos de demolición se aplican penalizaciones y cuantiosas multas.

Mientras tanto, la obra de Coto Asenjo ha pasado desapercibida en los medios de investigación. Las edificaciones con cubiertas de paraboloides hiperbólicos, diseñadas, calculadas, patentadas y construidas por él en Venezuela, además de las otras edificaciones importantes realizadas con otros sistemas constructivos tradicionales, hasta ahora han sido ignoradas. En las instituciones públicas así como en los centros de investigación y documentación no se encuentran los planos, memorias descriptivas, fechas de inicio y culminación de obras, presupuestos de ejecución, ni referencias de los clientes originales. Este artículo es un primer intento por dejar un registro de su trabajo.

Los paraboloides hiperbólicos construidos en concreto armado y resinas de plástico por Coto Asenjo en

Venezuela son cosa del pasado. Su obra, sus proyectos y patentes no han tenido ninguna continuidad.

Algunas de las edificaciones proyectadas por él con cubiertas de paraboloides hiperbólicos yacen expectantes a la espera de su demolición, para dar paso a construcciones de mayor envergadura.

El Arq. Coto Asenjo, en este momento de su vida se halla alejado de la actividad creadora que ha sido plasmada en proyectos, cálculos, empresas y solicitudes de patentes industriales. No sabemos hasta cuándo, pero su obra innovadora se ha extinguido quizás para siempre dejando paso a la investigación que deberá develar el misterio que el paso del tiempo y el desconocimiento se empeñan en mantener.

Figura 57
Colegio de
Médicos del
estado Zulia



Fuente: www.comezu.com/instalaciones.html

Figura 58
Paraboloides
hiperbólicos
del Colegio
de Médicos
del Zulia



Fuente:
Archivo del Arq. Coto Asenjo. Cortesía de Arq. Carolina Coto

Figura 59
Cubierta
del Colegio
de Médicos
del Zulia



Fuente: www.comezu.com/instalaciones.html

Nota

- 1 No se consiguen planos, cálculos, ni memorias descriptivas que demuestren con total certeza que estos paraguas de paraboloides hiperbólicos de las estaciones de gasolina aquí relacionadas fueran diseñados por el Arq. Coto Asenjo. Sin embargo, la Arq. Alicia de Coto, en conversación personal (31/octubre/2010), nos aseguró que se trata de proyectos de su autoría.

Referencias bibliográficas

- Bermúdez, G. (1993). Diccionario del arquitecto. Caracas: Editorial. M.A. García e hijos.
- Catalano, E. (1962). Estructuras de superficies alabeadas. Combinaciones de paraboloides hiperbólicos. Buenos Aires: Editorial Universitaria.
- Espion, B.; Halleux, P. & Sciffmann, J. (1993). Contributions of Andre Paduart to the art of thin concrete shell vaulting. Proceeding of the first Congress on Construction History, Madrid, 20-24 January 2003. Madrid: Instituto Juan de Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- Faber, C. (1970). Estructuras de Candela. 1ra ed. Ciudad de México: Editorial Continental.
- Matzner, C. (octubre, 1997). La Arquitectura de la naturaleza. En: La Época. Santiago de Chile.
- Pilarski, I. (1936). Calcul des voiles minces en beton armé. Paris: Dunod.
- Tonda, J. (2000). Félix Candela. Ciudad de México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Publicaciones.
- Vicente, H. (mayo-agosto de 2001). "El destino de los objetos. La arquitectura de Dirk Bornhorst en el programa de modernización nacional" En: DADA. Año 2, No 3, pp. 4-13. Relámpago. Caracas.

Proyecto de formulación para optar por el título de Magister Scientiarum en Desarrollo Tecnológico de la Construcción Resúmenes de los trabajos

IX Maestría en Desarrollo Tecnológico de la Construcción IDEC 2010-2011

Mary Ruth Jiménez

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción. Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Central de Venezuela

La Maestría en Desarrollo Tecnológico de la Construcción del IDEC, reconocida en 2008 con el Premio AUIP a la excelencia en Postgrado en Iberoamérica, en su novena cohorte, iniciada en septiembre de 2010 y culminada la escolaridad en diciembre de 2011, marca la continuidad del principal objetivo de este Postgrado: formar investigadores en el campo del desarrollo tecnológico de la construcción con criterios de sostenibilidad.

Es importante destacar la alta demanda de los profesionales actuales por adquirir y profundizar los conocimientos necesarios para la solución racional y adecuada para la construcción sostenible en aquellos ámbitos en los cuales se desempeñan. Es por ello que nuestro Programa de Postgrado invierte esfuerzos en el mejoramiento académico y actualizado a las nuevas tecnologías de información y comunicación.

En esta oportunidad se ha contado con un nutrido proceso de desarrollo de proyectos, caracterizados por la investigación y desarrollo tecnológico en la resolución de problemas constructivos que afectan nuestra sociedad venezolana y que demandan soluciones eficientes y con criterios de sostenibilidad.

Enfocados en esta visión de desarrollo sostenible como nuevas propuestas constructivas, los proyectos de la IX cohorte están dirigidos bajo conceptos básicos como: construir bien desde el principio, disminuir el consumo energético, y cero desperdicios, además de contribuir con mejoras en la habitabilidad de las edificaciones, que forman una visión integral de la arquitectura en los tiempos modernos.

Por otra parte y considerando los proyectos de investigación trabajados en esta cohorte podemos decir que entre sus características más relevantes está el uso de materiales como la madera, el adobe y el concreto reforzado con fibras vegetales, todos materiales ecológicos, saludables y respetuosos del medio ambiente, principal objetivo del Programa. Entre ellos se aprecian trabajos asociados al mantenimiento y conservación de espacios públicos, habilitación de viviendas en barrios y la vulnerabilidad de edificaciones como respuesta a la problemática urbana presente en nuestro país.

Con lo anteriormente expuesto, se ha pretendido ilustrar someramente el desarrollo de la IX Maestría en Desarrollo Tecnológico de la Construcción así como la respuesta académica de los estudiantes ante los problemas ambientales, urbanos y de construcción que constituyen factores de riesgo y vulnerabilidad demandantes de estrategias de desarrollo sustentable.

El mundo interior del Superbloque de interés social.

De lo pensado a lo vivido.

Caso de estudio 23 de Enero, Caracas.

Facundo Baudoin

Tutora: Beatriz Hernández Santana

Este trabajo tiene por interés interpretar las transformaciones sobre el proyecto de superbloque a partir de la exploración de los distintos modelos de gestión y ocupación de sus espacios desde 1955 hasta el 2011. Como caso de estudio se tomarán los superbloques 2 y 52-53 de la parroquia 23 de Enero.

En su primera parte se ahonda en el impacto que tuvo sobre el proyecto las distintas formas de su ocupación inicial (inauguración en 1955-1956 e invasión en 1958). Posteriormente se realizará una caracterización en tiempo y espacio de las principales transformaciones sufridas por el proyecto estableciendo una comparación objetiva entre su planteamiento original y su situación actual (2011). Luego, y fundamentado principalmente en el levantamiento de entrevistas a informantes claves, se indaga acerca de los distintos modelos de gestión y ocupación de espacios en el superbloque.

Finalmente y a manera de cierre se reflexiona acerca del rol e impacto del desarrollo tecnológico y la visión técnica dentro del desarrollo social en la vivienda realizada por el Estado.



Habilitación de viviendas en barrios.

Caso de estudio: San Agustín del Sur, Caracas.

Arq.: Giovanna Lo Voi Santana

Tutora: Beatriz Hernández Santana

La actual situación de degradación en las viviendas de los sectores informales y el estado de vulnerabilidad física en el que se encuentran son condiciones de la problemática urbana de Caracas que deben ser atacados con igual o mayor importancia con que se abordan los problemas de la ciudad formal. Es evidente que el poder adquisitivo para la mayoría de la población es bastante limitado a la hora de adquirir una vivienda que ofrezca condiciones adecuadas de salubridad y estructuralmente segura, por lo que, para muchos, la solución más accesible es su establecimiento en

algún sector informal de acuerdo a su conveniencia (alquiler de una casa, apartamento, habitación o la construcción progresiva de la vivienda).

La densificación de estas zonas ha producido problemas graves en cuanto a la desestabilización de los suelos, colapso de las viviendas por fallas constructivas y derivadas de su propio peso, colapso de instalaciones, canalizaciones, equipamiento y redes dentro de las viviendas y en las redes interconectadas dentro de los sectores.

En esta investigación hemos tomado como caso de estudio al sector San Agustín del Sur, el cual representa uno de los sectores informales que actualmente está siendo protagonista de muchas transformaciones e intervenciones (a manos de sus habitantes y del Estado), considerando que su crecimiento, dada su morfología y ubicación, no permite expansión sino densificación, es campo experimental propicio para intervenir. Empleamos el término HABILITACIÓN para describir la intención de mejorar y proponer alternativas que conlleven a disminuir la situación de vulnerabilidad actual y lograr espacios aptos y seguros para el habitar cotidiano.

Una metodología cualitativa basada en la observación y recolección de datos obtenidos mediante el levantamiento de un grupo de viviendas dentro del sector La Charneca nos ofrecerá las variables a intervenir dentro del proceso de habilitación, y aunado a esto una realidad cuantificable basada en el diagnóstico obtenido en dicho levantamiento nos respaldará a un nivel más técnico el tipo de intervención a realizar. A partir del análisis y la integración de las variables obtenidas derivará este proceso de habilitación que será guiado por un componente social importante que estará presente en cada etapa de la investigación, pretendiendo la integración en la mayor medida posible de la comunidad y buscando con los resultados una sistematización del proceso que pueda extrapolarse y beneficiar a otros sectores de similares condiciones.



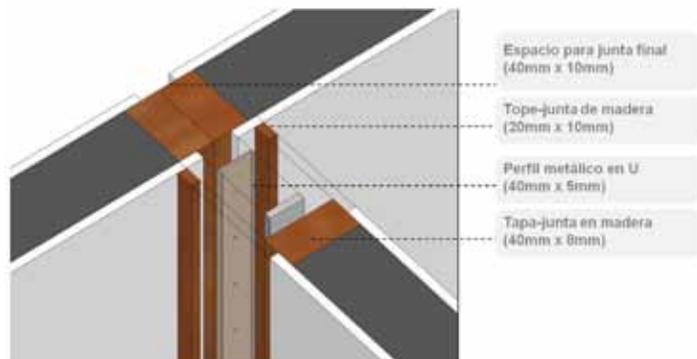
Las 3 zonas a Analizar en el sector de la Charneca.

Tabiques con tableros de madera: un sistema de distribución espacial para la vivienda en Venezuela

Autor: Sven Methling

Tutor: Antonio Conti

Basados en el aprovechamiento de los cuantiosos recursos forestales que posee Venezuela, específicamente en cuanto a plantaciones de especies de rápido crecimiento como pino caribe, eucalipto, melina y teca, se plantea la utilización de tableros de madera, como material de segunda generación, con alto potencial de aplicación en el campo de la construcción. Se toma como referencia las investigaciones de la línea madera del IDEC y se sustenta en la premisa de la madera como material natural, renovable, sostenible y con potencial para ser altamente competitivo dentro del campo de la construcción en nuestro país, gracias a los bajos requisitos energéticos y facilidad de procesamiento. La propuesta tiene como objetivo principal el desarrollo de un sistema de cerramientos para interiores en base



a tableros de madera para viviendas multifamiliares, permitiendo la conformación de tabiques secos y tabiques húmedos, a través de elementos prefabricados que permitan el paso de las instalaciones y la aplicación de diversos acabados. Se propone la construcción progresiva, deconstrucción y reutilización de los tabiques para satisfacer los requerimientos propios del crecimiento y transformación de los núcleos familiares en el tiempo.

Recuperación, mantenimiento y conservación de espacios públicos.

Caso de estudio: bulevar de Sabana Grande

Arq. Roger Vicente López

Tutor: Prof. Domingo Acosta

El objetivo general de esta investigación es proponer mecanismos de mantenimiento y conservación de los espacios públicos que permitan su sostenibilidad en el tiempo. El espacio público es el lugar donde converge un elemento tangible como lo es el espacio físico con un elemento intangible que es la dinámica urbana, entendiendo ésta como el conjunto de actividades y situaciones sociales que se desarrollan en la ciudad. Es por eso que surge la necesidad de mantener y conservar dichos espacios. En Venezuela no existe una cultura de mantenimiento y conservación, lo que se nota claramente en los espacios públicos, los cuales son la cara visible de la ciudad y el reflejo de su historia. Se plantea como caso de estudio el Bulevar de Sabana Grande, uno de los pocos espacios peatonales de la ciudad, donde convergen una gran cantidad de actividades urbanas, residencial, comercial, cultural y turística, también es un conector urbano entre dos puntos importantes de la ciudad.



La vulnerabilidad funcional arquitectónica de los establecimientos hospitalarios

Caso de estudio: Hospital Universitario de Caracas

Arq. Karla León

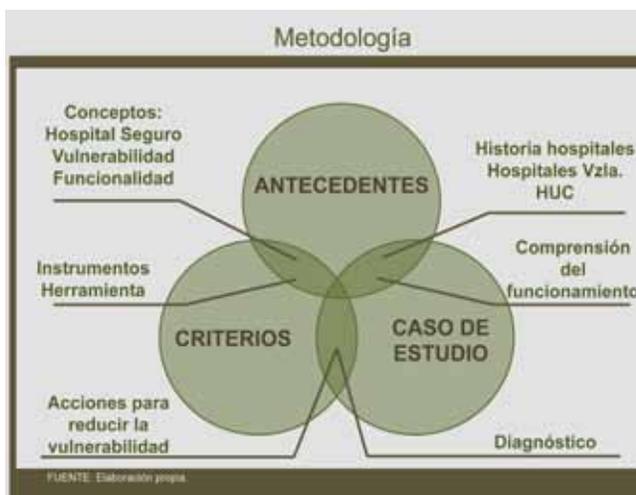
Tutora: Dra. Arq. Sonia Cedrés de Bello

Esta investigación tiene como objeto reducir la vulnerabilidad funcional arquitectónica de las edificaciones hospitalarias a través de una evaluación diagnóstica comparativa de los aspectos físicos espaciales que garantizan el funcionamiento ade-

cuado según los principios de hospitales seguros, utilizando como caso de estudio el Hospital Universitario de Caracas.

Los términos básicos responden directamente a los criterios generales que se deben utilizar tanto para el diseño, remodelación, modificación o ampliación de cualquier establecimiento hospitalario (Hospital Seguro, Vulnerabilidad, Funcionalidad, Riesgos, Adaptabilidad, Eficiencia, Confort Ambiental). Al comprender estos términos podremos dominar la base sobre la cual se argumentan los parámetros que definen la vulnerabilidad funcional arquitectónica.

Se determinan los instrumentos necesarios para elaborar el diagnóstico (mapas, datos, entrevistas y fotografías) por medio de la herramienta diseñada a base de cuadros, fichas y diagramas que se plantea en esta investigación. Éstos permitirán realizar un diagnóstico comparativo por medio del cual un profesional con conocimientos de arquitectura y de seguridad integral pueda recomendar acciones pertinentes para la reducción de la vulnerabilidad funcional. Esta herramienta será validada al aplicarla sobre el caso de estudio, el Hospital Universitario de Caracas.



Reforzamiento de muros portantes de viviendas en adobe en la ciudad de Coro, estado Falcón

Ing. Graymile Arteaga

Tutor: Arq. Domingo Acosta

Esta investigación se refiere a las casas patrimoniales de Coro elaboradas con métodos tradicionales a base de tierra con conformación de adobes, que han sufrido deterioro a lo largo de los años, y que han presentado daños mayores con las lluvias del último trimestre de 2010, produciendo colapsos parciales y totales. Se plantea como objetivo general proponer el desarrollo de técnicas de reforzamiento de muros portantes de viviendas en adobe en la ciudad de Coro y como objetivos específicos diagnosticar el deterioro estructural de las viviendas, identificar los factores ambientales causantes del deterioro, determinar las secciones afectadas de la estructura portante, caracterizar el sistema estructural, plantear técnicas de reforzamiento para el sistema de muros estructurales de mampostería de las viviendas y como último objetivo evaluar las técnicas de reforzamiento planteadas, mediante pruebas experimentales tales como ensayos de laboratorio y modelos a escala con el fin de disminuir la afectación de las viviendas y evitar posteriores derrumbes. Esta investigación se justifica por su valor histórico, ya que la ciudad fue decretada en 1993 por la UNESCO "Patrimonio Histórico de la Humanidad". Para el desarrollo de la misma se han planteado tres fases: la fase diagnóstica, la fase experimental y la fase analítica. Los avances de



la investigación confirman en gran parte la fase diagnóstica, donde se ha establecido la propuesta de reforzamiento de muros portantes con el uso de geomallas, definiendo detalles de su aplicación.

Plafón radiante para el enfriamiento de edificaciones en el trópico húmedo

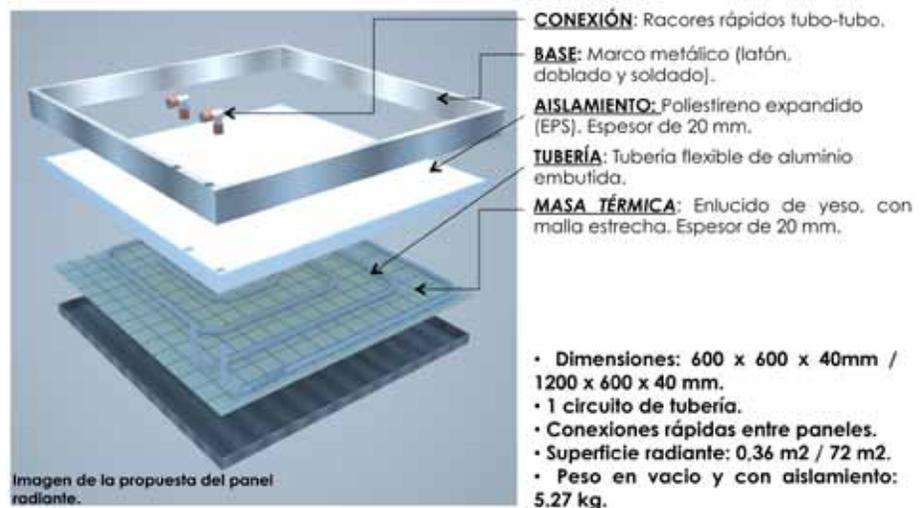
Arq. Henry Ruiz Ortiz

Tutora: Arq. Dra. María Elena Hobaica

Asesores: Esp. Arq. Ernesto Lorenzo, Ing. Luis Rosales

Los sistemas de enfriamiento radiante utilizan una superficie con temperatura fría controlada, que establece intercambio de energía térmica con la temperatura interior produciendo la eliminación de calor sensible, contribuyendo al mejoramiento de las condiciones térmicas y de confort de los ambientes interiores. El trabajo constituye un aporte en el campo de los sistemas radiantes de climatización pasiva, mediante el desarrollo de esta tecnología para su utilización en falsos techos en clima cálido húmedo en Venezuela. Para ello, el análisis de parte del estado del arte evidenció vacíos en la información, principalmente en los procedimientos de cálculo y dimensionado del sistema donde se evalúe el potencial de enfriamiento, así como la inexistencia de alguna aplicación práctica, que documente el comportamiento del sistema de refrigeración radiante en alguna de las distintas zonas climáticas de nuestro país.

La investigación detalla una metodología de cálculo simplificada que cuantifique el potencial real de dicha técnica en climas del trópico húmedo como el de Venezuela, como el diseño y construcción de un prototipo del sistema que permita obtener mediciones *in situ* para verificar y documentar el comportamiento del sistema. Así mismo se espera que los resultados obtenidos ubiquen el sistema como una alternativa viable al uso de los equipos de aire acondicionado convencional, contribuyendo a racionalizar el consumo energético y a reducir el impacto ambiental.



El proceso constructivo: la obra

Rebeca Velasco Di Prisco

Gustavo Izaguirre Luna

Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Central de Venezuela

Resumen

Este artículo recoge en forma sucinta el resultado de la investigación documental emprendida por los autores sobre el *proceso constructivo de la obra* desde una perspectiva que nos sumerge en consideraciones más allá de lo edificable para construir nuevos conocimientos y actualizar aquellos que no están presentes en la nueva generaciones de arquitectos.

El tratamiento holístico que se otorga al proceso constructivo está presente desde la idea de edificio, su confección, utilización en todo o en parte de ésta, así como la extensión sensible de valores culturales propios de la sociedad que realiza la obra.

Esta proposición atiende una solicitud hecha por miembros del jurado examinador en el marco del concurso de oposición para optar al cargo de profesor en el área de construcción del Sector de Tecnología de la Escuela de Arquitectura Carlos Raúl Villanueva de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela en julio de 2005. Esperamos con ello contribuir a la formación y documentación de la arquitectura para la investigación y la docencia.

Presentación

El tema del proceso constructivo, referido a la obra, será tratado desde el punto de vista de la evolución de la construcción en Venezuela, resaltando el impulso que desde la academia-investigación se viene dando en virtud del cambio de paradigma: de lo constructivo a lo medioambiental. Esto se evidencia en que pasamos de ser un país con actuaciones únicamente en torno al hecho constructivo, a hacer consideraciones importantes desde el punto de vista de las estrategias de sostenibilidad.

Este cambio obedece a lo que expone el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en reunión celebrada en Estambul¹ en el año 1996 en el marco de Habitat II, donde se acuerdan estrategias que apuntan directamente a minimizar los impactos ambientales de la construcción y que se basan en:

- Reducción del consumo de recursos
- Reducción del consumo energético
- Reducción de la contaminación y peligros para la salud
- Construir bien desde el inicio
- Cero desperdicios
- Producción local y flexible

Seguidamente, describiremos a grandes rasgos el proceso constructivo como un hecho **sistémico** y **heterogéneo**, que se inicia desde el proyecto y continúa hasta después de ejecutada la obra y en el cual intervienen acciones de mantenimiento y las adecuaciones o modificaciones que realicen los usuarios a través del tiempo.

Introducción

El arte y oficio de proyectar y construir edificios se inicia con aquel a quien los griegos llamaban *arkhitekton*² o “el primer obrero”, hoy día “el arquitecto”. Desde su primera visita a un terreno, el arquitecto comienza la planeación de la edificación, y aporta, a *priori*, su conocimiento para llevar a feliz término la construcción y posterior uso de esa edificación.

Desde la evaluación de la forma y topografía, servicios disponibles, limitaciones naturales y artificiales (regulaciones) del terreno, así como de las variables urbanas el arquitecto comienza a tener una idea de la edificación que luego se concretará en el *expediente del proyecto*, el cual contiene todos los planos y documentos necesarios para la construcción de la obra, así como las certificaciones de dotación de servicios.

De todos los modelos posibles de realizar para expresar la idea de una edificación, el expediente del proyecto es el modelo más utilizado para que los actores y profesionales en diferentes disciplinas, bajo la coordinación del arquitecto, expresen el objeto a construir (el qué), así como las instrucciones para su construcción (el cómo), lo cual determina la importancia del arquitecto en una obra o construcción de un edificio.

Cada vez más, tanto en la enseñanza como en la práctica profesional, se plantea un cambio de paradigma tendiente al proyecto y la construcción bajo criterios de sostenibilidad o ecoconstrucción: construir bien desde el inicio, mayor calidad constructiva, eficiencia energética, menor afectación del medio ambiente, producción local y flexible, etc.; esto toca aspectos éticos, legales y normativos de los actores del sector construcción y desarrollo urbano.

En el quehacer del arquitecto, independientemente de los criterios de diseño, proyectar una edificación implica resolver los problemas de diseño tanto en su fase conceptual como en la paramétrica. Como indica Domingo Acosta (2003), generalmente es en la fase conceptual donde se define el 90% de lo que va a ser el producto del diseño, y la paramétrica el 10% restante. Luego de los avances técnicos y la aparición de nuevos materiales de construcción (lo cual ocurre luego de la revolución industrial), esta relación entre la fase conceptual y paramétrica encontraba una ocasión para alcanzar un equilibrio entre los elementos que conforman una edificación y los aspectos formales de dichos componentes para alcanzar una total empatía con el planteamiento espacial.

Nancy Dembo (2004) propone que es así como en el siglo XX algunos arquitectos e ingenieros asumieron con osadía la responsabilidad de definir un método de comunicación que permitiera vincular el espacio contenedor con el espacio contenido, asumiendo la realidad impuesta por el desarrollo tecnológico. Wright, Mies, Le Corbusier y Nervi asumieron dicho reto, son un ejemplo para reafirmar cómo la relación entre los elementos que conforman una edificación y los aspectos formales de dichos componentes del espacio contenedor evolucionaron para una mayor eficiencia frente a la responsabilidad de soportar en armonía con las necesidades de espacios de mayor dimensión, mejor ventilados e iluminados.

La obra es la expresión permanente de las ideas del diseño, la cual conlleva a un proceso constructivo que permite desarrollar el modelo del arquitecto desde el proyecto mismo.

Acerca del proceso constructivo

Trataremos la construcción como industria donde la producción de edificaciones opera en forma sistémica, donde **los bienes de capital** aportan las maquinarias y equipos, **la indus-**

tria de los materiales de construcción aporta los insumos (materiales y componentes), y la **población activa** aporta la fuerza de trabajo (mano de obra). Pero la acción de éstos depende, a su vez, de la **tecnología** disponible (estado del arte: desarrollo tecnológico nacional o foráneo). Dicha tecnología, junto con los criterios de diseño, determinan el modelo de la edificación en el proyecto, el cual se concretará en el edificio construido u obra (Cilento, 1985).

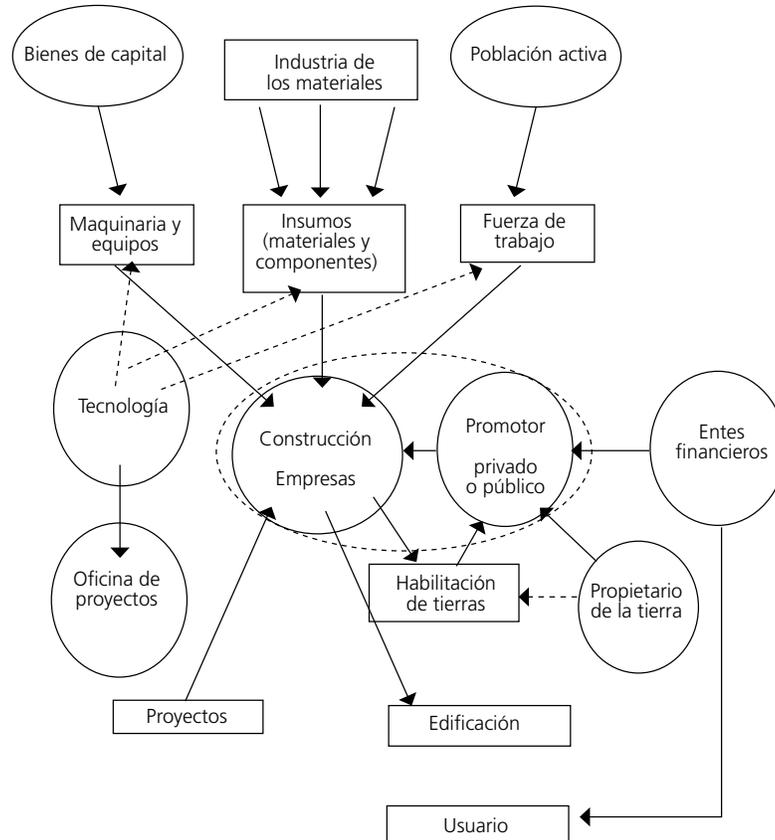
Para que esto último suceda se requiere la actuación del promotor (privado o público) tanto para la obtención de los recursos necesarios para la contratación de los proyectos, la habilitación de terrenos, como para el financiamiento durante su construcción.

En todo caso, la construcción como industria se basa en criterios de racionalidad, es decir, es un proceso dinámico que hace posible el uso de los recursos humanos, materiales, organizativos y financieros, con el fin de lograr la construcción de una edificación (Ob. Cit. p.130) (gráfico 1).

Los sistemas constructivos

En Venezuela, los sistemas constructivos tradicionales dependían más del proceso constructivo en si mismo (el disponible), la disponibilidad de materiales y la mano de obra local. La mampostería estructural y techos con estructuras de madera constituían la tecnología disponible hasta finales del siglo XIX, momento en que debido a la explotación de lagos de asfalto durante los gobiernos de Guzmán Blanco, se inicia la importación de tecnologías europeas, se crea el Ministerio de Obras Públicas (MOP)³ y se construyen edificaciones públicas emblemáticas.

Gráfico 1
Sistema de la producción de edificaciones



Fuente: Revista Tecnología y Construcción N° 1, 1985.

A partir de 1928, con la creación del Banco Obrero (BO), se comienza la construcción de grupos de casas tipo para satisfacer la demanda de vivienda de los obreros con apoyo del sector privado. En 1946 se inicia el primer Programa Nacional de Viviendas para construir 4.000 viviendas en el territorio nacional, y se estimula la experimentación con viviendas prefabricadas (INAVI, 1993).

En 1948 el Banco Obrero es adscrito al MOP, se inician los primeros programas de investigación y viviendas por el Taller de Arquitectura del Banco Obrero (TABO) y la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela (FAU-UCV), lo cual contribuyó a la vinculación entre arquitectura y artes plásticas, además estableció como inseparables los conceptos de urbanismo y vivienda (Ob. Cit. p. 36).

Entre 1960 y 1975 se incorporan novedosos conceptos de racionalización, producción en serie y normalización. Se evidencia la instalación de plantas de prefabricado traídas del exterior, mayoritariamente de Europa, en donde sobresalen las construcciones de edificaciones a base de grandes paneles, cuya experiencia nos arroja debilidades desde el punto de vista constructivo-estructural; en paralelo, entre 1964-1969 resalta el Programa Experimental de Viviendas en Valencia (estado Carabobo) realizado por la Unidad de diseño en avance del BO, el cual constituye el primer ejemplo latinoamericano de utilización a gran escala de sistemas constructivos industrializados: en San Blas se construyen más de 543 viviendas empleando sólo tecnología nacional, fortaleciendo la industria de la construcción. En 1975 un grupo de profesionales del BO y profesores de la Escuela de Arquitectura crean el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), en FAU-UCV, que va a permitir la incorporación gradual del avance tecnológico en el proceso de producción de edificaciones. Para ello se realizan actividades de I+D que abarcan desde estudios y ensayos sobre materiales y componentes, hasta el diseño y la producción de componentes, sistemas y procesos constructivos.

Ahora bien, resulta interesante señalar lo que precisa Cilento cuando acuña el concepto **Sincretismo Tecnológico**, que conjuga el uso de materiales de la industria con alta energía incorporada, con materiales locales con baja cantidad de energía incorporada, lo cual contribuye a la producción de edificaciones sostenibles.

Se entiende como construcción industrializada aquella donde una empresa produce los componentes (insumos) para construir una edificación. Esto incluye la prefabricación de pequeños o grandes componentes, de junta seca o húmeda, elaborados en una industria (grande, mediana o pequeña) o a pie de obra, entre otros: sistemas constructivos cerrados, y sistemas constructivos abiertos.

Sistemas cerrados: son sistemas en los que una sola empresa produce los componentes (estructurales, cerramientos, tabiquería) que no permiten la incorporación de componentes producidos para otro sistema y/o no permiten el uso de sus componentes para completar otra edificación.

Sistemas abiertos: son aquellos sistemas en los que los diferentes componentes constructivos son producidos por empresas diferentes, de manera independiente entre sí.

Para explicar fácilmente las diferencias, presentamos algunas de las ventajas y desventajas más resaltantes de ambos sistemas.

Sistemas cerrados

Ventajas:

- Racionalización de componentes y reducción de desperdicios,
- Planificación del proceso constructivo,
- Mayor control de la inversión,
- Producción de grandes componentes (menor mano de obra; mayor rendimiento).

Desventajas:

- Requiere de mercado estable para garantizar producción,
- Edificaciones de gran escala,
- Requiere maquinaria y mano de obra especializada,
- No compatible con otros sistemas,
- Poca flexibilidad para el diseñador y para el usuario,
- Reducida producción de tipologías.

Sistemas abiertos

Ventajas:

- Producción de componentes de diferentes escalas,
- Flexibilidad para el diseñador y para el usuario,
- Se puede ajustar a fluctuaciones del mercado,
- Se puede ajustar a mayor número de tipologías,
- Permite combinar componentes de diferentes industrias,

Desventajas:

- Poca estandarización y normalización,
- Genera mayor desperdicio si el diseño no es modular,
- Incrementa el tiempo de montaje y construcción,

Según Henrique Hernández (2003), cuando se generan nuevos componentes para la industria de la construcción, con el objeto de garantizar su correcto uso y apropiación masiva debe tomarse en cuenta lo siguiente:

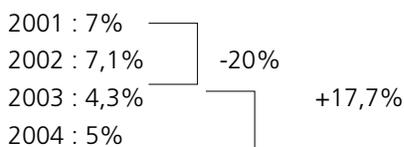
- Coordinación modular,
- Manuales de ensamblaje de fácil comprensión, que muestre las posibilidades de combinación con otros productos o componentes,
- Estudiar uniones de los componentes entre sí y con componentes de otros sistemas,
- Establecer niveles de calidad adecuados, costos competitivos y posibilidad de crecer,
- Asistencia técnica adecuada al constructor y al usuario.

Otras alternativas y nuevas propuestas

En la actualidad, independientemente de la actividad del sector construcción, la investigación e innovación tecnológica ofrece nuevas propuestas y otras alternativas al proceso constructivo de la obra.

La Cámara de la Construcción de Venezuela, en su reporte sobre dicha actividad en el sector (CVC, 2005), indica que del total del Producto Interno Bruto (PIB), en particular del sector construcción (PIB-C), 30% corresponde al sector informal y 70% al sector formal (público y privado). Así mismo en los últimos 6 años (1998-2004) el PIB-C ha sufrido una contracción de 30% en la inversión privada, y un leve crecimiento de 5% en la inversión pública.

Comportamiento del PIB-C entre 2001 y 2004:



Se observa un comportamiento errático con tendencia negativa (contracción) entre 2001 y 2003 y una tendencia positiva (crecimiento) de 2003 a 2004.

En todo caso, pese al poco crecimiento o a la contracción del sector construcción, el desarrollo tecnológico en los centros de investigación sigue avanzando en procura de alternativas pertinentes, más allá de la satisfacción comercial de la demanda de componentes y sistemas constructivos de la industria. Todo ello ha significado la apertura a otras alternativas y nuevas propuestas enmarcadas en criterios de sostenibilidad, lo cual, como hemos dicho, beneficia la I+D+I.

Esta apertura no significa comprar tecnología foránea, ya que según Julián Salas Serrano (2002), "La transferencia tecnológica sin apropiación no es transferencia, es compra-venta pura y simple. El término I+D debería evolucionar a I+D+I con apropiación cultural de los receptores de tal innovación, siguiendo el modelo: Investigación Básica > Investigación Aplicada > Desarrollo > Producción > Comercialización > Mercado > Apropiación > Investigación...", por ello expone algunos rasgos de la Tecnología Apropiada.

Tecnología Apropiada es:

Sencilla:	Basada en uso común de conocimientos populares.
Intermedia:	Entre lo tradicional y lo innovador.
De poco costo:	Bajo costo social.
Blanda:	No destructora, que procura un equilibrio con el medio ambiente.
Asimilable:	Transforma lo adquirido, lo adapta y puede llegar a superarlo.
De escala adecuada:	Entre la pequeña y la gran producción.

Cada vez más proyectistas e investigadores han incursionado en el desarrollo de propuestas bajo estos criterios, es por ello que la tendencia del desarrollo tecnológico se ha orientado, entre otras cosas, a la conservación del medio ambiente, racionalización en la utilización de materiales y componentes constructivos, desarrollo de tecnologías blandas de poco costo y asimilables, entre otros. No obstante los investigadores han incluido en el diseño de los sistemas la asistencia técnica para que con poco adiestramiento la mano de obra disponible pueda realizar las tareas de construir. Todo esto con el propósito de hacer de las nuevas tecnologías, más que apropiadas, apropiables por los promotores, los constructores y el usuario final.

El proceso constructivo (la obra)

El proceso constructivo o la obra se desarrolla en forma sistémica. El insumo indispensable para acometer la obra es el expediente del proyecto; para ello el arquitecto dispone de un amplio repertorio de recursos estructurales, materiales y técnicas constructivas para desarrollar los espacios y volúmenes necesarios en el edificio, para mantener esa relación entre el espacio contenedor y el espacio contenido al cual nos hemos referido.

El sistema estructural seleccionado debe cumplir una serie de exigencias para garantizar su **integridad** o firmeza como son: **el equilibrio, la estabilidad y la resistencia**, así como otros requerimientos relacionados con su factibilidad de funcionamiento, los recursos económicos para construirlo y su imagen.

También es importante reseñar los **sistemas de instalaciones**, los cuales se ejecutan en paralelo durante la realización de la obra. Hay que prever que el edificio debe ser funcional no sólo a nivel de las relaciones espaciales, sino también en cuanto a la eficiencia en el manejo y disposición de los servicios; y la relación de estos con los sistemas estructurales y la arquitectura.

Los sistemas estructurales los podemos dividir en dos partes según la función que cumplen sus elementos agrupados entre sí: a) infraestructura y, b) superestructura.

La infraestructura de una edificación es la que conecta las cargas acumuladas del sistema estructural con el estrato portante del suelo; conforma el apoyo o cimiento (fundación) de la edificación que garantiza la distribución de las fuerzas adecuadamente.

La superestructura, generalmente sobre la infraestructura (o superficie del suelo, sobre o bajo el nivel de la calle) produce y sostiene los elementos que contienen los espacios; se dividen en sistema vertical resistente y sistema horizontal resistente.

El Sistema vertical resistente es el encargado de transmitir las cargas verticalmente: los pórticos, pantallas, pórticos diagonalizados y mampostería estructural, entre otros.

El Sistema horizontal resistente son las cubiertas, diafragmas o entrepisos encargados de resistir y transmitir las cargas al sistema vertical resistente, generadas por el peso propio, tabiquería, revestimientos y sobrecargas previstas por las reglas técnicas según el uso de la edificación. También tenemos las losas (planas) macizas y nervadas (incluye las reticulares celulares) de concreto armado, de simple o doble curvatura y las plegadas; nervadas de madera; las mallas espaciales en acero; cubiertas livianas (metálicas, otros), etcétera.

Etapas del proceso de obra (Construcción de la obra)

La construcción de una edificación, o proceso de obra, comienza con la revisión del expediente del proyecto para realizar los trabajos que conllevan a la terminación y posterior ocupación, uso y mantenimiento de la misma.

La construcción de la obra es un proceso sistémico en el cual, tanto las condiciones del terreno y los suelos como el proyecto y los trabajos de construcción propiamente dichos, están relacionados entre sí y mantienen una estrecha correlación con el medio ambiente, la industria de los materiales, equipos para la construcción, mano de obra y técnicas constructivas, entre otras.

En general la ejecución de los trabajos de obra se realiza en varias etapas, muchas veces solapadas y/o en simultáneo unas con otras. Estas son:

- Obras preliminares:
 - Limpieza y deforestación
 - Construcciones y servicios provisionales
- Movimiento de tierra y urbanismo:
 - Excavaciones: banqueo y excavación a mano; préstamo
 - Construcción de terraplenes: terraceo (rellenos, compactación)
 - Sistemas de Contención
- Estructuras:
 - Infraestructura
 - Superestructura
- Obras arquitectónicas:
 - Obras de albañilería (tabiquería y cerramientos)
 - Impermeabilización
 - Herrería (carpintería metálica)
 - Carpintería (de madera)
 - Elementos de iluminación natural
 - Pinturas
 - Cerraduras
 - Accesorios y equipos

- Instalaciones eléctricas, sanitarias, mecánicas y especiales
- Obras de servicio y varias:
 - Obras exteriores o paisajismo
 - Vialidad, y obras arte de urbanismo.

Obras preliminares:

Son el conjunto de trabajos que deben ejecutarse antes de la construcción de una edificación para proteger el terreno y las construcciones adyacentes, así como para permitir el inicio y desarrollo de las construcciones, incluido el flujo de los procesos a pie de obra. Comprenden:

Instalaciones provisionales: oficinas, depósitos, talleres, vestuarios, comedores, instalaciones y depósitos de agua, instalaciones de luz y fuerza eléctrica, control del nivel freático, montaje y desmontaje de equipos para movilizar los materiales, cercas, portones, etc. En caso de oficinas, vestuarios, depósitos o similares pueden ser prefabricadas (trailer) o construcción tradicional, desmontable o no.

Limpieza del terreno: deforestación, tala y desraizamiento, remoción, quema y limpieza de árboles, leños, arbustos, pastos, cultivos, raíces, desechos vegetales, etc.

Demoliciones: demolición sin recuperación o con recuperación.

Remociones: desmontaje y desarmado de estructuras, miembros o elementos sin dañarlos; incluye limpieza y/o protección de los elementos y/o embalaje.

Movimiento de tierra:

Es el conjunto de trabajos y obras que deben ejecutarse para ajustar el terreno a las rasantes y secciones transversales señaladas en los planos y especificaciones de la topografía modificada. Comprende, además del replanteo:

Las excavaciones: (saques de tierra). Cuando las excavaciones son de escaso volumen o existen circunstancias especiales (cimentaciones pequeñas, canalizaciones, recalce de construcciones o excavaciones cercanas a las edificaciones) se realizan excavaciones a mano.

Banqueo: nivelar un terreno mediante cortes y saques de tierra

Préstamos: cortes fuera del terreno para construcción de terraplenes (rellenos o terrazas)

Remoción de capa vegetal y tierra desechable.

Construcción de terraplenes: (rellenos en terrazas) comprende los trabajos de construcción y compactación de terraplenes para terrazas. Terraceo = nivelar un terreno rellenando y compactando. Las densidades de las compactaciones se realizan de acuerdo a las recomendaciones del profesional especializado en suelos; en general en capas de 20 cm.

Construcción de rellenos compactados con paso de máquina: rellenos compactados con el simple paso de las máquinas (no se permite fundar sobre éstos), son empleados para áreas de parques y verde tratado.

Sistemas de contención:

Conjunto de elementos constructivo-estructurales diseñados para garantizar la estabilidad de los taludes en los terrenos. Se diseñan y calculan para que posean capacidades resistentes para evitar el volcamiento y el deslizamiento por efecto de las cargas horizontales o inclinadas aplicadas sobre él, incluido el peso propio del talud.

En general existen varios tipos de sistemas de contención, entre ellos: las pantallas armadas, pantallas proyectadas simples, pantallas reforzadas, muros de gravedad; así como muros de

tierra armada, muros de geotextiles, muros colados, muros de saco de suelo-cemento, tablestacado de acero y/o concreto armado.

Estructuras

Infraestructura (fundaciones o cimientos):

Son las responsables de transmitir las cargas de la edificación hasta el estrato portante del suelo, las cuales deben trabajar en forma sistémica para mayor eficiencia en la distribución de dichas cargas. Se clasifican en **superficiales** y **profundas**, y pueden ser del tipo **aisladas**, **corridas** o **continuas** dependiendo de la magnitud de las cargas, escala de la edificación y sobre todo el tipo de suelo según el perfil estratigráfico determinado por el estudio de suelos.

Las más usadas en el país son: fundación directa o zapata (superficial aislada), fundación corrida, fundación continua (ó losa de fundación o flotante), pilotes hincados (vaciados *in situ*. Tipo Franklin), pilotes perforados (vaciados *in situ*), pilotes hincados prefabricados (de concreto armado, troncocónicos de base hexagonal), y las pilas oblongas (aisladas o corridas para muros colados). Para su funcionamiento en forma sistémica se emplean vigas de riostras, y para la conexión con el sistema vertical resistente (columnas y pantallas) se emplean pedestales (en zapatas) y cabezales en pilotes, aislados y corridos para pantallas.

Superestructura:

Está conformado por los elementos constructivo-estructurales correspondientes al sistema resistente horizontal y vertical de la edificación, contados a partir del nivel más bajo o losa de piso de la edificación donde se conecta con los cimientos. Comprende los diafragmas o losas de entrepiso y cubierta, así como los pórticos, pantallas o mampostería estructural.

Las más usadas en el país (convencional) son: los pórticos (columnas y vigas) de concreto armado y losas nervadas, macizas, reticulares celulares, y mixtas (tabelones, placa moderna o losacero); así como los pórticos de acero con perfiles, tubulares o cerchas y losas como las indicadas anteriormente.

Obras arquitectónicas:

Construcción de paredes o tabiquería:

Comprende la ejecución de todos los cerramientos requeridos en las edificaciones. En el país es indistinto pared o tabique, técnicamente lo adecuado es hablar de tabique para no confundirse con "pared de corte" o muro estructural (COVENIN 2004:1998). Generalmente fabricados con ladrillo o bloques de arcilla (alfarería) y bloques de concreto, bloques huecos o calados; no obstante según el tipo de tabique se emplea otros materiales como madera, cartón yeso, plásticos y/o resinas, entre otros.

Se clasifican en:

1. Fijos o Permanentes:

Elaborados en sitio (*in situ*)

Prefabricados

2. Semi-permanentes: generalmente prefabricados

3. Móviles: generalmente prefabricados

Cerramientos:

Comprende los trabajos de herrería, carpintería y vidrios fijos o móviles para puertas, ventanas, y lucernarios (elementos de iluminación y ventilación). Vale la pena indicar que conforme a las Normas COVENIN las rejas, celosías y romanillas pueden formar parte de los cerramientos.

Revestimientos y acabados:

Comprende los trabajos y materiales necesarios para recubrir los diferentes elementos de la construcción tales como tabiques y paredes, columnas, vigas, losas, escaleras, y otros elementos que así lo requieran de acuerdo a los planos, cuadros de acabados y especificaciones particulares del proyecto de arquitectura.

Acabado: según COVENIN, es el último tratamiento que recibe el elemento de la construcción; según NTE (Normas Técnicas Españolas) expresión estética final que le otorga el arquitecto a un elemento de la construcción.

Generalmente requieren de la ejecución previa de morteros sobre el elemento constructivo sobre el cual se aplicará el revestimiento tales como frisos base, o base de pavimento (o sobrepiso).

Para los revestimientos y acabados se emplean diferentes materiales, como: **pétreos naturales**: losetas, lajas o baldosas de mármol, granito, pizarra, piedras; **pétreos artificiales**: concreto (estampado, liso, rústico, losetas, baldosas, adoquines, martillado, etc.), granito vaciado en sitio (liso, lavado, rústico, pulido, estampado o troquelado); **cerámicos y vítreos** (baldosas, mosaicos, losetas, tejas, panelas, lajas; ya sean rústicas, lisas, esmaltadas o vitrificadas); **maderas** (muy duras, duras y semiduras): tablas, machihembrados, listones, baldosas o parquet, láminas, contrachapados, etc.; **metálicos**: acero (natural, galvanizado o inoxidable), aluminio, paneles compuestos, etc.; **elásticos** (baldosas o en rollo): linóleo, vinyl, vulcanizados; **pinturas**: acrílicas, esmaltes, epóxicas (poliamidas), siliconas, resinas, etc.

Impermeabilización:

Comprende todos los trabajos y materiales necesarios para proteger los diferentes elementos de la construcción que están expuestos a la acción del medio ambiente y otros elementos que así lo requieran de acuerdo a las especificaciones particulares del proyecto de arquitectura, según la Norma COVENIN 3400:1998 "Impermeabilización de Edificios".

Se requiere la ejecución de trabajos para el acondicionamiento previo con morteros, tales como construcción de pendientes en losas horizontales y raseo en losas inclinadas.

Los trabajos de impermeabilización propiamente dichos comprenden: imprimación y colocación de la capa impermeabilizante (asfáltica: en frío o en caliente; micro-morteros), recubrimiento de la capa impermeabilizante (pesada o liviana), juntas (relleno y sello: plástico, elástico o elastoplástico) y cubrejuntas (aluminio, acero galvanizado, plástico, cobre).

Instalaciones eléctricas, sanitarias, mecánicas y especiales:*Instalaciones eléctricas:*

Comprende los materiales y trabajos necesarios para ejecutar completamente todas las partidas, desde la caja de medidores hasta la toma de energía, como todos los circuitos hasta la última lámpara, tomacorriente o salida de cualquiera de instalaciones que permita el suministro e instalación de las redes de alumbrado, fuerza motriz, señales y teléfonos; con base a los indicados en los planos y especificaciones del proyecto, específicamente lo indicado por el Código Eléctrico Nacional 200-2004.

Instalaciones sanitarias:

Comprende los trabajos y materiales para ejecutar completamente todas las partidas y partes de las citadas instalaciones; la extensión de los trabajos debe incluir todos los materiales, tubería, conexiones, llaves, piezas y accesorios, indicado o no en los planos y especificaciones

particulares del proyecto de instalaciones eléctricas. Para todo efecto las normas nacionales e instrucciones para estas instalaciones prevalecerán sobre cualquiera ordenanza o instrucción local.

Las obras de excavación, relleno y compactación forman parte integral de estas obras, no obstante su ejecución y especificaciones particulares atenderá las instrucciones generales para movimiento de tierra.

Instalaciones mecánicas y especiales:

Comprende la ejecución, inspección y prueba de instalaciones mecánicas y especiales como indican los planos, memorias y especificaciones de los proyectos. En particular comprende todos los materiales y trabajos necesarios para construir y poner en funcionamiento adecuado las instalaciones de aire acondicionado y ventilación; instalaciones de vapor; aire comprimido y vacío, y gases medicinales; gas industrial; equipos fijos (ascensores, detección, control, extractores, motores, entre otros), equipos eléctricos y equipos sanitarios (detección y extensión, incineradores, etc.)

Obras de servicio y varias:

Comprende el replanteo, materiales y equipos necesarios para ejecutar toda obra que esté a un metro o más fuera de los paramentos de fachadas de las edificaciones. Incluye los trabajos eléctricos exteriores (iluminación exterior, acometidas, etc.), instalaciones sanitarias exteriores (suministro de agua, almacenamiento, red exterior, disposición final de aguas servidas, entre otros), los trabajos de vialidad, jardinería y ornamentos, cercas y obras varias como: aceras, brocales, cunetas y plazas entre otros. En general todas las obras exteriores y de paisajismo, así como las de vialidad y obras de arte del urbanismo.

Reflexiones finales

No cabe duda que construir bien desde el inicio (desde planeación, idea, proyecto), la utilización de sistemas, técnicas constructivas, materiales y mano de obra adecuadas, así como el uso y mantenimiento bajo criterios de construcción sostenible o eco-construcción, contribuyen a satisfacer las necesidades de los asentamientos humanos en equilibrio con el medio ambiente, y mejora la calidad de las edificaciones, así como el medio ambiente natural y el construido.

En la actualidad el objetivo primordial es reducir las emanaciones de dióxido de carbono (CO₂), producto de la cantidad de energía que se consume en el ciclo de vida de la construcción, para lo cual varios países han iniciado acciones cónsonas con el medio ambiente.

Podemos reseñar el caso del concurso de ideas para la construcción de la nueva sede de SINCOR⁴ en Puerto La Cruz, donde los términos referencia hacían una fuerte consideración al tratamiento del tema del ahorro energético, la construcción local y la de-construcción del edificio al final de la vida útil.

Si en la práctica profesional manejamos adecuadamente el proceso constructivo de la obra, independientemente de la escogencia del sistema constructivo que seleccione el arquitecto, ya sea tradicional, convencional o de alta tecnología (o tecnología de punta, *high tech*), la comprensión de dicho proceso en forma adecuada y apropiada como se ha señalado con anterioridad, garantizará una edificación funcional, de calidad y sostenible.

Notas

1 PNUD-MA: "satisfacer las necesidades del hombre de los asentamientos humanos; absorber el mayor número posible de insumos locales; bajo costo de producción y mantenimiento; compatibilidad con el medio ambiente y sus exigencias ecológicas, sociales y culturales; potencial de desarrollo adaptable gradualmente a las necesidades cambiantes de la sociedad en evolución; capacidad de convivir con tecnologías más complejas; y la capacidad de difusión que asegura la apropiación social de los beneficios generados por la innovación tecnológica" (Curiel, 2001).

2 *Arkhitekton*: "Ar": el primero; "khi": el que sabe; "tek": de la técnica; "ton": hacha para trabajar la madera: "el primer obrero" de la construcción (N. del A.).

3 MOP-Ministerio de Obras Públicas, luego Ministerio del Desarrollo Urbano (MINDUR) (1975-2000), hoy Ministerio de Infraestructura (MINFRA) (N. del A.).

4 SINCOR. hoy PDVSA Petrocedeno S.A.

Referencias bibliográficas

- Acosta, D. (2004) Notas del Curso Teoría y Método de Diseño: Aplicación al Diseño y Desarrollo Tecnológico de la Construcción, Comp. Gustavo Izaguirre, no publicado, Prof. Domingo Acosta, Ph.D. Postgrado en Desarrollo Tecnológico de la Construcción. IDEC-FAU/UCV.
- Arkhitekton (2005). Arkhitekton. Disponible: <http://www.arqweb.com/arkho/> [Consultada: 2005, junio13].
- Cilento, A. (1985). La racionalización del proceso de producción y circulación de la vivienda. Tecnología y Construcción. N° 1, pp. 128-134. IDEC-FAU/UCV, Caracas.
- Curiel C., Ernesto. (2001). Las construcciones sustentables: de lo general a lo particular. Tecnología y Construcción. N° 17, II, pp. 35-42. IDEC-FAU/UCV, Caracas.
- CVC (2005). Sector construcción registra crecimiento 2004. e-construir.com, noticias en la Web de la Cámara Venezolana de la Construcción-CVC. Mayo 2005. Disponible: <http://www.e-construir.com/noticias/camara-venezolana-de-la-construccion/11-05/05/index.html>, [Consultada: 2005, Mayo s/f].
- Dembo, N. (2004). La relación forma-función en el lenguaje estructural del siglo XX. Colección estudios. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela. Caracas. 2003.
- Hernández, H: (2003). Conferencia sobre el reto de diseñar para el futuro. Conferencia, no publicada. 1ra Jornadas de Investigación de la Escuela de Arquitectura Carlos Raúl Villanueva, FAU-UCV. 2003.
- INAVI (1993). La vivienda social y urbana en Venezuela. Instituto Nacional de la Vivienda-INAVI. Caracas.
- Norma COVENIN-MINDUR 2002-88. Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones. Comisión Venezolana de Normas Industriales, Ministerio de Fomento-Ministerio del Desarrollo Urbano. 1988. Caracas.
- Norma COVENIN 1750-87. Especificaciones Generales para Edificios. MINDUR 1987.
- Norma COVENIN 2000-92. Sector Construcción. Mediciones y Codificación de Partidas para Estudios, Proyectos y Construcción. PARTE II, EDIFICIOS. MINDUR 1992.
- Norma COVENIN 3400:1998. Impermeabilización de Edificaciones. MINDUR 1998.
- Salas Serrano, J. (2002). Difusión y transferencia de tecnología en el sector del hábitat popular latinoamericano: doce propuestas prácticas. Tecnología y Construcción. N° 18, II, pp. 33-46. IDEC-FAU/UCV, Caracas.



Esta es la cuarta edición de una serie de simposios promovidos por la red latinoamericana de Tensoestructura con la finalidad de crear un foro de discusión en los temas de diseño, ingeniería, construcción, investigación, docencia y comercialización de las estructuras traccionadas en el mundo y muy especialmente en Latinoamérica.

El primer Simposio Latino-Americano de Tenso Estructuras se realizó en la ciudad de São Paulo, Brasil en 2002, organizado por la Escuela Politécnica de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de São Paulo (www.1mc.ep.usp.br/1snt/). El segundo Simposio se realizó en Caracas, Venezuela, organizado por la Facultad de Arquitectura de la Universidad Central de Venezuela en 2005 (<http://www.grupoestran.com/simposio/>). El tercer Simposio fue en Acapulco, organizado por la Universidad Nacional Autónoma de México en 2008 (<http://iass2008.unam.mx>).

En su cuarta edición el Simposio Latinoamericano de Tensoestructuras se traslada al sur del continente y es organizado por la Facultad de Arquitectura de la Universidad de la República, en Montevideo, Uruguay, bajo la presidencia del Arquitecto Roberto Santomauro.

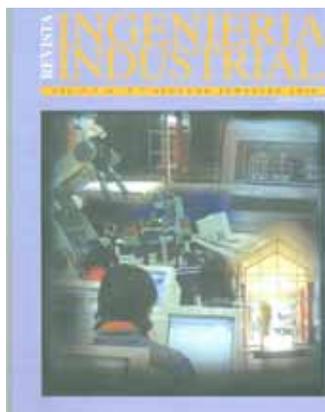
El evento se realizó entre el 6 y 8 de Abril del año 2011. En el auditorio de la Facultad de Arquitectura se reunieron 250 especialistas, empresas, profesionales y estudiantes de 19 países, interesados en el tema. Durante tres días se presentaron 11 ponencias invitadas, 32 trabajos y 5 simposios técnicos abarcando temas relacionados con diseño, tipologías de diseño, proyecto, metodología de

proyecto, montaje, cálculo, acondicionamientos acústico, térmico y lumínico, mantenimiento, materiales, costos y sustentabilidad.

El evento reviste especial significación en virtud del alto nivel de los especialistas nacionales e internacionales que participaron en el mismo, el contenido de las ponencias y por brindarnos la ocasión de dar a conocer el grado de desarrollo alcanzado en Latinoamérica en esta tecnología.

Al igual que en los simposios de Caracas y México se llamó a un concurso para estudiantes, donde se presentaron 10 trabajos. Un Jurado compuesto por el Prof. Arq. Gerry D'Anza, por el Prof. Arq. Nicholas Goldsmith y por el Prof. Arq. Juan Monjó Carrió, designó ganador al Proyecto "TENSOWRAP: Señalización - protección - seguridad", cuyos autores son Ricardo Vivar Flores y Jenmy Tataje Vivanco, alumnos de la Universidad de San Martín de Porres, Perú. Cortesía de la empresa FERRARI, el premio consistió en la visita a la planta de la empresa (la cual se encuentra ubicada en Francia) con pasaje, alojamiento, city tour por la ciudad de Lyon y demás gastos incluidos.

Se realizaron otras importantes actividades paralelas tendientes a conformar e integrar redes de información y cooperación internacionales a partir de la Red Latinoamericana e Iberoamericana de Tensoestructuras, constituida en el Simposio en Caracas de 2005, donde se decidió la realización del V Simposio en la Pontificia Universidad Católica de Chile durante el segundo semestre del año 2012 Y el VI Simposio en Brasil en 2014.



Revista Ingeniería Industrial

Año 9 n° 2- segundo semestre 2010 pp 112. ISSN 0717-9103
Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería.
Universidad del Bío-Bío-Chile

Contenido:

Editorial

Análisis de las condiciones de riesgos laborales. Propuesta para identificar los factores que la afectan, basada en el modelo de las desviaciones

Daniel Pontelli, Ricardo Ingaramo, José Luis Zanazzi, Alejandro Chayle, Justo Rodríguez, Claudina Beale.

Diseño de un modelo de planeación agregada para las prestaciones médicas en un servicio de ginecología y obstetricia

Rodrigo de la Fuente Gallegos, Iván Santelices Malfanti

Análisis del rendimiento académico mediante un modelo Logit

María del Carmen Ibarra, Juan Carlos Michalus

Rediseño de procesos de gestión de la enseñanza basado en el análisis de datos

Jobani José Heredia Rico, Aida G. Rodríguez Hernández

Optimización de las operaciones portuarias mediante simulación y metodología de superficie de repuesta

María José Contreras, Felipe Baesler, Loreto Maldonado

Estimación de índices de capacidad de procesos usando la distribución generalizada de Pareto

Martha Rosa Valdiviezo Márquez, José Simón Fermín



Revista Construcción Sostenible

N° 3- enero-junio 2011., Legis S.A. Colombia

Contenido:

Editorial

Direcciones de la construcción sostenible

Nacional

Oficinas de la empresa arquitectura e interiores

Normatividad

Sello ambiental colombiano

Análisis

Dos nuevos códigos para construcción de viviendas sostenibles

Galería gráfica

Proyectos eficientes

Referencia

Fichas bibliográficas

Impacto ecológico

Respuestas locales al cambio climático

Informe especial

Ventura Plaza

Urbanismo

Renovación urbana en Alemania

Análisis

Construcción sostenible, ahorro real

Internacional

Planes maestros sostenibles en la práctica

Innovación

Premio Corona Pro Hábitat 2010

Tecnología y Construcción es una publicación que recoge artículos inscritos dentro del campo de la Arquitectura y la Innovación y Desarrollo Tecnológico de la Construcción, especialmente: tecnologías constructivas; sistemas de producción; métodos de diseño; análisis de proyectos de arquitectura; requerimientos de habitabilidad y de los usuarios de las edificaciones; equipamiento de las edificaciones; nuevos materiales de construcción, mejoramiento de productos existentes y hallazgo de nuevos usos; aspectos económicos, sociales, históricos y administrativos de la construcción; informática aplicada al diseño y la construcción; análisis sobre ciencia y tecnología asociados a los problemas de la I&D en el campo de la construcción y la sostenibilidad de los asentamientos humanos.

Se incluyen trabajos resultados de investigaciones originales, proyectos de desarrollo tecnológico, ensayos científicos y revisiones bibliográficas, que constituyan un aporte en el campo de la arquitectura y la tecnología de la construcción.

Además de los artículos se aceptan otros materiales como: documentos, reseñas bibliográficas y de eventos, etc. que resulten de interés para la revista, a juicio del Comité Editorial y que no serán sometidos a arbitraje.

Los trabajos presentados para su publicación como artículos deben atender a las recomendaciones siguientes:

El autor (o los autores) debe(n) indicar título completo del trabajo, en español e inglés, acompañándolo de un breve resumen en ambos idiomas (máximo 150 palabras), el cual debe ir acompañado por una lista de hasta 5 palabras clave, también en ambos idiomas. Debe anexarse una síntesis curricular, de cada autor, que incluya:

- 1- Nombre y Apellido:
- 2- Títulos académicos (pre y postgrado), Institución y Año
- 3- Cargo actual e institución a la que pertenece
- 4- Área de investigación
- 5- correo electrónico

Los trabajos deben ser entregados en cd, indicando el programa y versión utilizados, o enviados al Comité Editorial como documento a través del correo electrónico de la revista (tyc_idec@fau.ucv.ve), acompañados de una versión impresa con una extensión no mayor de treinta (30) páginas escritas a doble espacio en tamaño carta incluyendo notas, cuadros, gráficos, anexos y referencias bibliográficas.

En el caso de que el trabajo contenga cuadros, gráficos, diagramas, planos y/o fotos, éstos deben presentarse en versión original impresa, numerados correlativamente según orden de aparición en el texto. Lo mismo es válido en el caso de artículos que contengan ecuaciones o fórmulas.

Las citas deben ser incluidas en el texto con el sistema (autor, fecha), por ejemplo: (Hernández, 1995). Las citas textuales solo se utilizarán en casos plenamente justificados. Toda obra citada en el texto debe aparecer referenciada al final del artículo.

Las referencias deben incluir los datos completos de las publicaciones citadas, organizados alfabéticamente según primer apellido del autor y en su redacción deben seguirse las indicaciones de las normas APA.

En el caso de libros:

Autor. (Año). *Título: Subtítulo*. Lugar: Editorial

Ejemplo:

Wittfoht, H. (1975). *Puentes: Ejemplos internacionales*. Barcelona: Gustavo Gili.

En el caso de artículos de revistas:

Autor. (Año). *Título: Subtítulo. Nombre de la revista, Volumen(número), Páginas.*

Ejemplos:

Cilento, A. (2002). Hogares sostenibles de desarrollo progresivo. *Tecnología y Construcción*, 18(III), 23-28.

Lee, C., Abou, F. y López, O. (2007). Riesgo sísmico en edificaciones escolares del tipo antiguo II. *Revista de la Facultad de ingeniería - UCV*, 22(2), 99-109.

En el caso de artículos tomados de internet:

Debe agregarse la fecha de acceso y el sitio web.

Ejemplos:

Burón, M. (2007). El uso de nuevos concretos estructurales. *Construcción y Tecnología*, 2007(Mayo). Extraído el 3 de Julio de 2008 de <http://www.imcyc.com/ct2008/index.htm>

González, F.J. Lloveras J. (2008). Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción. *Informes de la Construcción*, 60(509), 35-43. Extraído el 23 de Junio de 2008 de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/589/671>.

- Se aceptarán trabajos escritos en español o inglés.
- Los trabajos deben ser inéditos y no haber sido publicados en otra(s) revista(s).
- Las colaboraciones presentadas no serán devueltas.
- El Comité Editorial someterá los trabajos enviados a la revisión crítica de por lo menos dos árbitros escogidos entre especialistas o pares investigadores. La identificación de los autores no es comunicada a los árbitros, y viceversa. El dictamen del arbitraje se basará en la calidad del contenido, el cumplimiento de estas normas y la presentación del material. Las sugerencias de los árbitros, cuando las haya, serán comunicadas a los autores con la confidencialidad del caso.
- La revista se reserva el derecho de hacer las correcciones de estilo que considere convenientes, una vez que hayan sido aprobados los textos para su publicación. Siempre que sea posible, esas correcciones serán consultadas con los autores.
- Los autores recibirán sin cargo tres (3) ejemplares del número de la revista en el cual haya sido publicada su colaboración. Por su parte, los árbitros, en compensación por sus servicios, recibirán una bonificación en efectivo y un ejemplar del número de la revista con el cual contribuyeron con su arbitraje, independientemente de que su opinión en relación con la publicación del artículo sometido a su consideración haya sido favorable o no.
- El envío de un texto a la revista y su aceptación por parte del Comité Editorial representa un contrato por medio del cual se transfieren los derechos de autor a la revista Tecnología y Construcción. Esta revista no tiene propósitos comerciales y no produce beneficio alguno a sus editores.