



ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE GRANDES LUCES DE TRACCIÓN PURA MEDIANTE MODELOS ANALÓGICOS Y LA LECTURA DE LA IMAGEN

Eje 1: Innovación en sistemas constructivos/estructurales

Navarro Martín Miguel¹

Dr. Arq. Prat Emma S.²

¹ Cátedra de Estructuras III; Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Resistencia, Chaco, Argentina. martin_4n@hotmail.com, Alternativo: tincho4n@gmail.com

² Cátedra de Estructuras III; Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) Resistencia, Chaco, Argentina, emmasus@hotmail.com

RESUMEN

El trabajo realizado consistió en tres líneas de acción: en la primera se realizó búsqueda de información acerca de estructuras de grandes luces de tracción pura; en la segunda se inició el análisis a través de la lectura de la imagen del estadio multifuncional "J. S. Dorton Arena" (gran exponente de este tipo de estructuras) ubicado en Carolina del Norte (USA) y en la última etapa se construyó un modelo analógico representativo para comprobar el comportamiento estructural de la obra analizada.

El objetivo fue estudiar el comportamiento de las estructuras de Grandes Luces de Tracción Pura en obras arquitectónicas existentes sometidas a la acción de diferentes estados de carga, para proponer patrones de diseño para su resolución estructural, a través de modelos analógicos y del estudio por imágenes. Por este motivo se elige al mencionado edificio por su particular cubierta a tracción que, morfológicamente, se describe como una cubierta de tensores con forma de paraboloides hiperbólicos o "silla de montar" generada por dos arcos parabólicos que se cruzan. Los tensores generan dos parábolas (generatriz y directriz) que tienen concavidades opuestas, pero se encuentran en planos normales, conformando lo que se conoce como superficie de doble curvatura negativa.

Para ello se valió, además del estudio teórico y modelos 3D digitales, de la aplicación de un modelo analógico el cual permitió realizar estudios simulando en ellos las condiciones de comportamiento estructural, en una escala reducida y adecuada para este fin. Entonces, a partir de determinados ensayos mecánicos que reprodujeron las distintas situaciones y solicitaciones a que está sometido el prototipo en la realidad se pudo identificar posibles problemas de estabilidad y resistencia que pueda llegar a padecer el edificio según los estados de carga en los que se encuentre.



El modelo se construyó en escala 1:200, mediante impresión 3D se armaron los arcos y a partir de cuerdas de acero endurecido y atemperado que simularon los cables tensores. Finalizado el modelo se comprobó que al ejercer presión sobre los tensores (simular una carga) los cables transmiten la fuerza de la carga en dos direcciones hacia los bordes rígidos (arcos), y éstos transmiten a sus contrafuertes unidos mediante tensores subterráneos (para equilibrar el sistema) donde finalmente se disipa la fuerza. Se verifica de ésta manera cómo la tracción se transforma en comprensión, siendo de gran apreciación de que esto sucede con distintos materiales estructurales y una morfología particular que conforman un sistema auto-equilibrado, económico y eficiente.

La aplicación de este estudio y del uso de modelos analógicos a escala reducida permitió generar un recurso indispensable para resolver problemas de diseño de las estructuras en general. Mediante este método se implementó un mejor estudio y entendimiento de problemas estructurales complejos de las llamadas “estructuras livianas” o “de grandes luces”.

PALABRAS CLAVES: TRACCIÓN PURA - MODELO ANALÓGICO - HIPERBOLOIDE - TENSOESTRUCTURA

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo consiste en el análisis del estadio multifuncional “J. S. Dorton Arena” ubicado en Carolina del Norte (USA) habiendo realizado previamente una búsqueda de información acerca de estructuras de grandes luces de tracción pura, para luego estudiarlo a través de la lectura de la imagen mediante un modelo digital y uno analógico representativo de la obra analizada.

Estos sistemas se caracterizan por tener elementos solicitados a tracción pura o baricéntrica que, bajo cargas de servicio, actúan mediante su forma. Su morfología entonces es primordial para que funcione el sistema, ya que las fuerzas externas se encausan por la forma a partir de simples esfuerzos normales, es decir, se entienden estas estructuras como el camino de las fuerzas expresado en la materia.

Con respecto a las particularidades de dicho edificio se determinó que, a partir del estudio de planos edilicios y análisis mediante maqueta virtual, su sistema estructural consiste en la conjugación de dos básicos principios estructurales: Los arcos (de concreto) funcionarían a comprensión transmitiendo las cargas al suelo, mientras que la cubierta (cables de acero) estaría en tracción o tensión soportando el peso de la cubierta y de cargas negativas o también llamadas accidentales.

Estas conclusiones sobre su análisis estructural llevaron a la siguiente hipótesis de trabajo: “El uso de modelos analógicos y el análisis a través de la lectura de la imagen permite profundizar y clarificar el análisis del comportamiento estructural de estructuras de Grandes Luces de Tracción Pura.”

2. DESARROLLO

En principio se buscó generar una correcta base de datos y comprensión del tema-problema desde la aplicación de un método de indagación exploratoria, sirviéndose de herramientas digitales y de libros aportados por la cátedra de Estructuras III y la biblioteca de la Facultad de



Arquitectura, como también conversaciones con profesionales de dicha cátedra los cuales aportaron su punto de vista sobre diferentes cuestiones.

Luego se analizó el comportamiento estructural mediante simulaciones sobre maquetas digitales (utilizando programas como Autocad, Sketchup de modelado 3D) evaluando características de los diferentes componentes de su estructura para confirmar la hipótesis de trabajo.

Por último, se llevó a cabo la materialización del edificio en un modelo analógico de su estructura el cual se realizó mediante impresión 3D. Básicamente se utilizó esta tecnología 3D para generar los arcos cruzados de hormigón y sus bases de fundación, luego se utilizaron alambres acerados que harían de los tensores de su cubierta y acetato para recrear el vidrio que recubre al volumen.

De esta manera se generó una réplica estructural en escala menor para poder comprobar el comportamiento estructural sometiendo al modelo construido a la acción de diferentes estados de carga.



Fig. 1. Vista superior

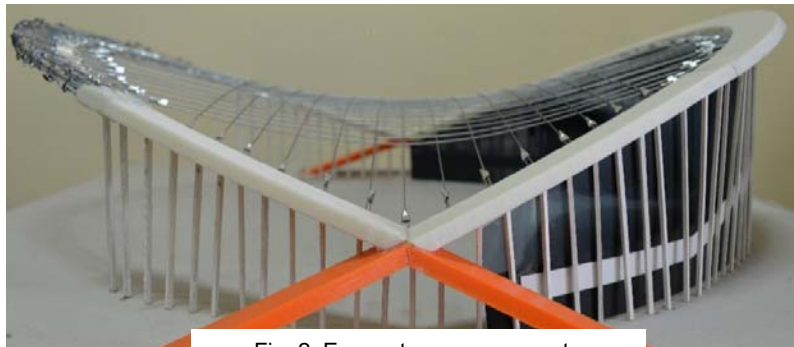


Fig. 2. Encuentro arcos maqueta

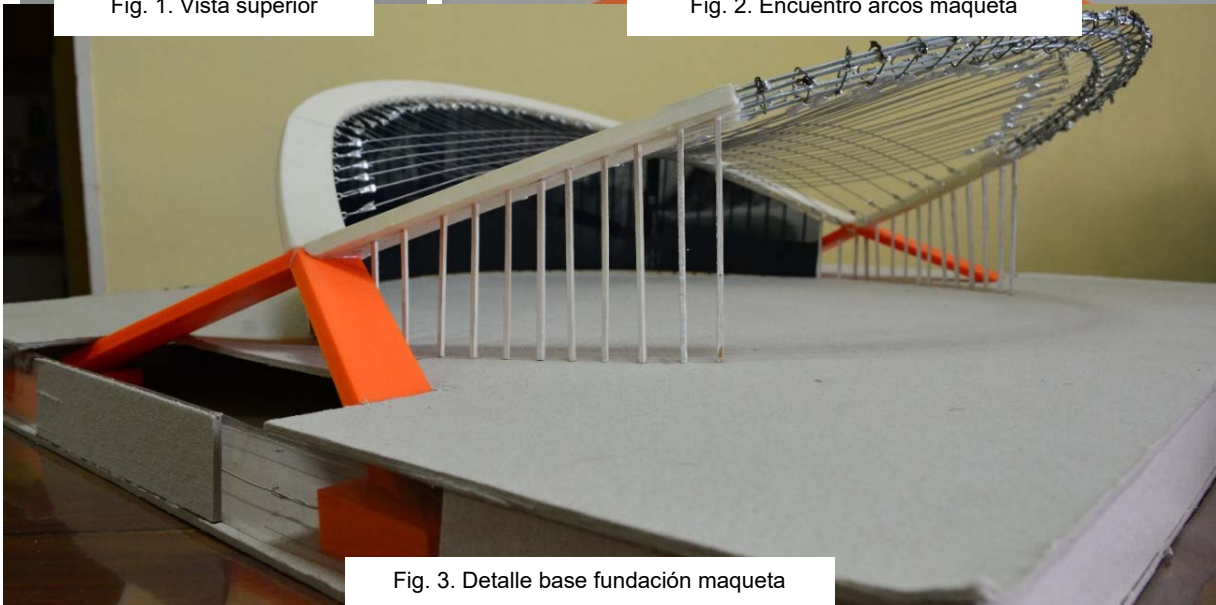


Fig. 3. Detalle base fundación maqueta



3. CONCLUSIONES

Se registraron los siguientes objetivos alcanzados con respecto al plan de trabajo:

- ✓ Estudiar y analizar el funcionamiento estructural de diferentes obras arquitectónicas a partir de la lectura de la imagen.
- ✓ Seleccionar sistemas estructurales de Grandes Luces de Tracción Pura adecuados para su estudio estructural.
- ✓ Extraer y registrar conclusiones que permitan establecer pautas orientadoras y proponer patrones de diseño para su resolución estructural.
- ✓ Elaborar una base de datos gráfica sobre los sistemas estructurales analizados.
- ✓ Elaborar modelos analógicos de comprobación del comportamiento de los sistemas estructurales analizados.
- ✓ Estudiar el comportamiento estructural sometiendo el modelo construido a la acción de diferentes estados de carga.

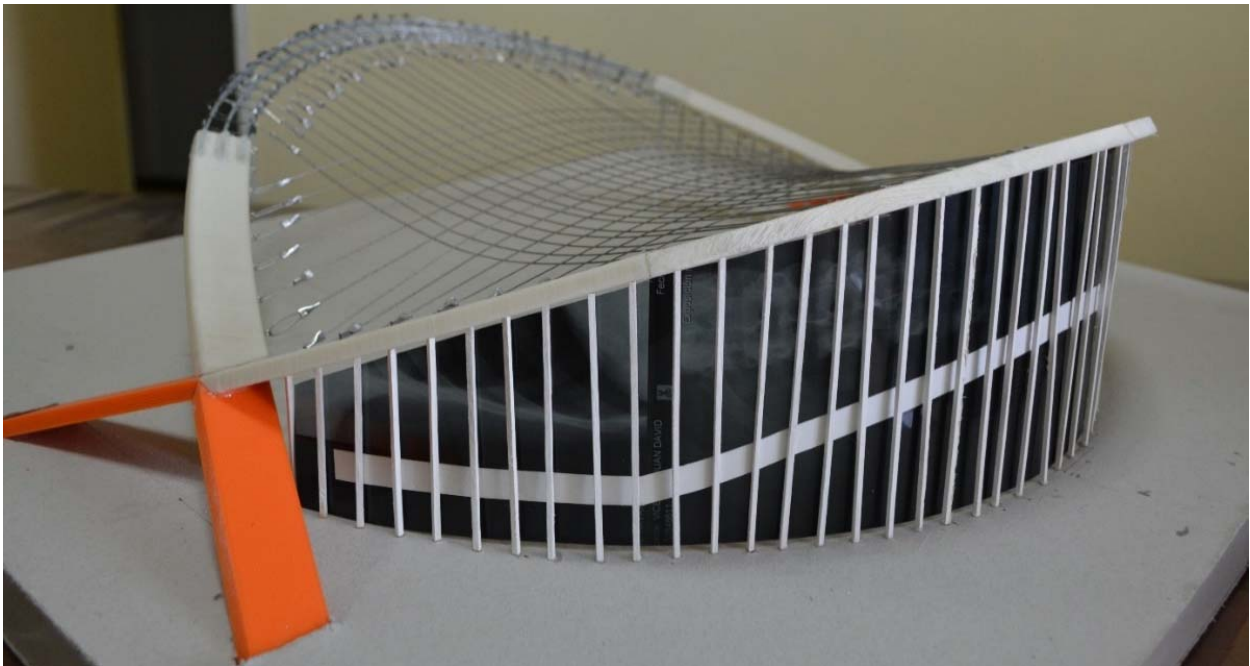


Fig. 4. Vista general

Mediante el análisis de información, estudio estructural y las pruebas a partir del modelo analógico del edificio se comprobó la forma en que actúan las cargas en esta particular estructura tanto en la teoría como en la práctica.

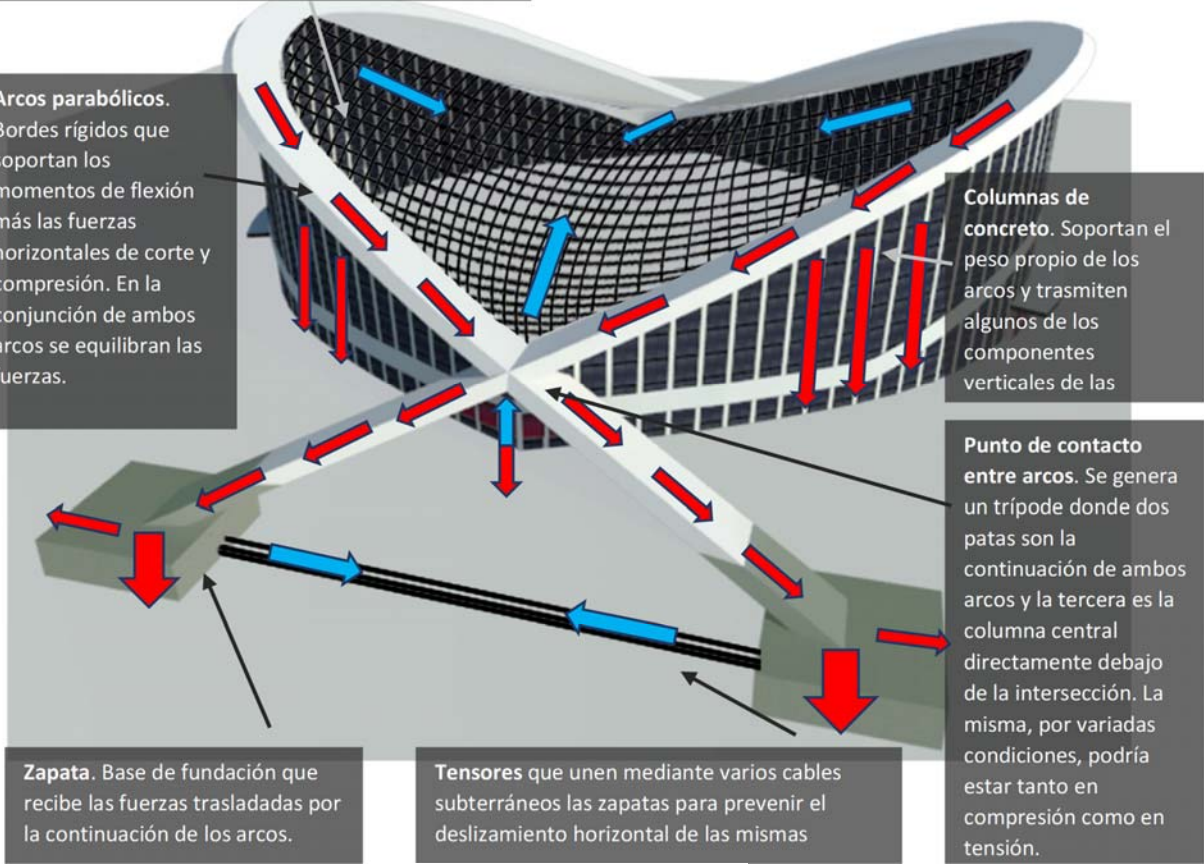
Por ello se pudo verificar que al ejercer presión sobre los tensores (simular una carga) los cables transmiten la fuerza de la carga en dos direcciones hacia los bordes rígidos (arcos), y éstos transmiten a sus contrafuertes unidos mediante tensores subterráneos (para equilibrar el sistema) donde finalmente se disipa la fuerza. De esta manera, y gracias al análisis del modelo en escala reducida, se comprobó con mayor profundidad como las fuerzas de tracción se transforman en compresión, y lo interesante es que esto sucede con distintos materiales estructurales con una morfología particular que conforman un sistema auto-equilibrado, económico y eficiente. Se puede concluir entonces, que se cumple la hipótesis de trabajo planteada desde un inicio.



Tejido de cables de la cubierta. Actúan mediante la tensión llevando las cargas hacia los arcos.

Arcos parabólicos. Bordes rígidos que soportan los momentos de flexión más las fuerzas horizontales de corte y compresión. En la conjunción de ambos arcos se equilibran las fuerzas.

Columnas de concreto. Soportan el peso propio de los arcos y transmiten algunos de los componentes verticales de las



Punto de contacto entre arcos. Se genera un trípode donde dos patas son la continuación de ambos arcos y la tercera es la columna central directamente debajo de la intersección. La misma, por variadas condiciones, podría estar tanto en compresión como en tensión.

Zapata. Base de fundación que recibe las fuerzas trasladadas por la continuación de los arcos.

Tensores que unen mediante varios cables subterráneos las zapatas para prevenir el deslizamiento horizontal de las mismas

Fig. 5. Gráfico análisis



BIBLIOGRAFÍA

Academy Group Ltd (1995). *Tensile Structures* (Estructuras de Tracción Pura). Londres. Architectural Design Magazine N° 117

Bugner, Erwald (1987). *Conferencia sobre Estructuras de Tracción Pura* dictada en el Departamento de Estabilidad de la Facultad de Ingeniería – UNNE. Resistencia, Chaco (Argentina).

Jacobo Guillermo (1994). *Consideraciones Generales Técnicas y de Diseño para la aplicación en Estructuras de Tracción Pura - Parte I*. Chaco, (Argentina). Publicación Didáctica de la Cátedra Estructura III-Fau-Unne

Jacobo Guillermo (2001). *Sistemas Estructurales de forma activa, de masa activa, de vector activo y de edificación en altura neumáticas*. Chaco, (Argentina). Publicación Didáctica de la Cátedra Estructura III-Fau-Unne

Natalini, Mario - Vedoya, Daniel E. (1963). *Estructuras de tracción Pura*. Chaco, Argentina. Publicación didáctica de la Cátedra Estructuras, Facultad de Ingeniería, Vivienda y Planeamiento-UNNE

Otto, Frei (1962). *Cubiertas Colgantes*. Barcelona (España). Editorial Labor SA

Otto, Frei (1962). *Zugbeanspruchten Konstruktionen - Band 1*, (Estructuras solicitadas a Tracción Pura - Volumen 1). Frankfurt, (Alemania). Verlag Ullstein GmbH (Editorial Ullstein SRL)

Taller De Investigaciones Y Diseño Estructural (1996). *Diseño de Tensoestructuras*. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba, (Argentina).

Vedoya, Daniel E. y Prat, Susana E. (2009) *Estructuras de Grandes Luces. Tecnología y Diseño*. Corrientes (Argentina). Ediciones del ITDAHu.

Vedoya, Daniel E., Natalini, M. B. y Hermida, M. (1969). *Estructuras De Tracción Pura*. Resistencia (Chaco), Argentina. Publicación del Departamento de Estabilidad, Facultad de Ingeniería, Vivienda y Planeamiento (UNNE)