

- ▲ **Palabras clave/** Representación, plan de estudio, reproducción a escala, modelación.
- ▲ **Keywords/** Representation, study plan, scale reproduction, modeling.
- ▲ **Recepción/** 2 marzo 2015
- ▲ **Aceptación/** 6 abril 2015

Modelos conceptuales y físicos para el curso Historia de las Estructuras y la Construcción¹.

Conceptual and physical models for the course on History of Structures and Construction.

Sandro Maino Ansaldo

Arquitecto, Universidad de Valparaíso, Chile.
 Doctor en Teoría e Historia de la Arquitectura,
 Universidad Politécnica de Barcelona, España.
 Académico Departamento de Arquitectura,
 Universidad Técnica Federico Santa María,
 Valparaíso, Chile.
 sandro.maino@usm.cl

Luis Felipe González Böhme

Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.
 Académico Departamento de Arquitectura,
 Universidad Técnica Federico Santa María,
 Valparaíso, Chile.
 luisfelipe.gonzalez@usm.cl

RESUMEN/ En este artículo contrastaremos la utilización, desde el punto de vista analítico, de la maqueta arquitectónica y el modelo científico en los trabajos de la asignatura Historia de las Estructuras y la Construcción, utilizando para la discusión recientes experiencias de la asignatura Métodos Computacionales en Arquitectura. La modelación científica de un objeto o fenómeno es la traducción a un lenguaje formal sobre el cual se permita operar universalmente, siendo el modelo una representación simplificada de una entidad o proceso complejos. Aunque en la maqueta y el modelo se representan las partes y sus relaciones, las diferencias están en el modo y las técnicas específicas de traducción del objeto de análisis, surgiendo como dilema que si para la innovación es necesario reestructurar la traducción de los objetos de análisis, cuál de las dos herramientas de aprendizaje es más significativa para el estudiante: la maqueta o el modelo. **ABSTRACT/** This article compares –from an analytical point of view– the use of a scale model and the scientific model in the works of the subject on History of Structures and Construction, using recent experiences in the subject on Computer Tools in Architecture. The scientific modeling of an object or phenomenon is a translation to a formal language that can be operated universally, where the model is a simplified representation of a complex entity or process. While the scaled model and the model represent parts and their relationships, the differences lie in the modes and in the specific translation techniques of the object under analysis. The dilemma that emerges is whether innovation requires a restructuring of the translation of the objects under analysis, and which of the two learning tools has more meaning for students, the scaled model or the model.

1. INTRODUCCIÓN. Los arquitectos utilizan la maqueta como un medio para pensar y crear un proyecto, variando en su uso y concepción, siendo un excelente mecanismo para explorar, comprender y exponer conceptos. Albert Smith, en su *Architectural Model as Machine* (2004), describe los dos principios de representación de la maqueta a escala: la 'analogía visual' y la 'metáfora constructiva'. Con la primera se refiere a la correspondencia con el original de las partes y a la proporcionalidad de cada una de las partes en sí y en relación con las otras. La segunda resuelve la necesidad de comprender la complejidad y el caos de una totalidad a través de un objeto posible de descomponer en partes cuyo orden y unión son inteligibles.

Expuestas sus características, la pregunta es cuáles son las reales capacidades representativas de una maqueta arquitectónica, si es una manera de explicar de manera representativa un sistema o hecho físico. Si bien las maquetas nos permiten visualizar fácilmente conflictos de la forma en el espacio tridimensional, evitando la utilización de complicadas proyecciones geométricas, y también tiene la capacidad de representar la figura con todas sus particularidades, no necesariamente es tan adecuada para expresar o explicar los aspectos estructurales y constructivos de un proyecto o una obra.

¹ El diseño e implementación de la asignatura Métodos Computacionales en Arquitectura se concretaron mediante investigación financiada con fondos del Estado Chileno, a través del programa para el Mejoramiento de la Calidad y Equidad de la Educación Superior (MECESUP FSM-802).

2. INNOVACIÓN CURRICULAR.

La reciente actualización del Plan de Estudios y la re-focalización del Perfil del Egresado de la carrera de arquitectura en la Universidad Técnica Federico Santa María entre 2008 y 2012, brindaron una oportunidad para innovar tanto en los contenidos como en los métodos de aprendizaje con que hasta ahora se ha enseñado la arquitectura en Chile. La implementación del nuevo Plan de Estudios involucró, entre otras cosas, la creación de las nuevas asignaturas basadas en competencias para el currículo obligatorio, Métodos Computacionales en Arquitectura e Historia de las Estructuras y la Construcción. Métodos Computacionales en Arquitectura tiene por objetivo principal desarrollar el pensamiento estructurado para resolver problemas de aplicación en arquitectura empleando métodos y herramientas computacionales (González y Calvo, 2014; González *et al.*, 2013; González y Calvo, 2012). Historia de las Estructuras y la Construcción tiene por objetivo delinear una historia crítica de las ideas guía de los sistemas constructivos, sobre la base de un conocimiento profundo del patrimonio construido, observando las cualidades técnicas (proceso constructivo, adaptación, transformación e innovación), matéricas (materiales y su puesta en obra) y culturales (los significados y las estratificaciones históricas) (Maino, 2014).

La primera vez que se dictó la asignatura de *Historia de las Estructuras y la Construcción*, el segundo semestre del año 2013, el trabajo realizado consistió en analizar los aspectos materiales, constructivos y estructurales de una obra construida con anterioridad a 1950 y elaborar la maqueta de un fragmento. Punto importante en la elección de la obra era la existencia de información tanto de su materialidad como de su estructura, de su construcción y de los procedimientos específicos utilizados para su ejecución, ya que no en todos los casos se puede inducir a partir de la apariencia estos aspectos. Tal como lo argumenta Aguiló (2013), *el material no predetermina la forma*, así como la forma no predetermina el material; es el diseño el que vincula el material con

su forma, a través de un procedimiento. La programación del trabajo perseguía un proceso acumulativo y en continua revisión del total en tres etapas. El principio fundamental era: la descripción es el inicio de todo análisis.

De esta primera experiencia, en la cual se analizaron doce casos², se observaron los siguientes fallos que impidieron cumplir con los objetivos propuestos: la simplificación de las características tectónicas de la obra, en que no se hicieron patentes las particularidades de los desafíos asumidos en ella; la falta de fidelidad con el original y la proporcionalidad entre las partes; la errada delimitación del fragmento que no permitió comprender el aspecto deseado, finalizando en representaciones esquemáticas de orden formal o espacial (imágenes 1 y 2).

3. LAS CARACTERÍSTICAS Y OBJETIVOS DE LA MAQUETA.

La maqueta a escala encargada tenía como objetivos representar el sistema constructivo de la obra analizada, conocer el procedimiento constructivo de la obra, las partes y piezas que lo componen o hacer patente parte de su sistema estructural. A diferencia de la tradicional maqueta arquitectónica, aquí no se buscaba realizar una representación a escala de las condiciones espaciales o formales de la obra.

En contraste a lo que sucede con un dibujo, con la maqueta a escala se logra un aprendizaje háptico (Pallasmaa, 2012) de los hechos físicos mediante el moldeado de partes y su ensamble, pudiéndose desarrollar una *intuición* para anticipar el comportamiento estructural. Por ejemplo, si quisiéramos comprender el comportamiento estructural del hangar de Orvieto (terminado en 1935) de Pier Luigi Nervi, describiríamos en un corte las cargas uniformemente repartidas por la cáscara curva y la transmisión de esos esfuerzos a los apoyos (imagen 3). Si bien ese gráfico es explicativo, tiene el problema de su bidimensionalidad, no representativa de la compleja geometría tridimensional. Si construyéramos una maqueta tridimensional, reproduciendo



Imagen 1. Sección de la nave lateral y el arbotante de la catedral de Nuestra Señora de Chartres, escala 1:100. La maqueta construida en yeso sufrió una serie de deformaciones que guardan similitudes con los modelos de análisis estructural de elementos finitos. Grupo: Diego González, Paulina Orellana (fuente: María Cirano).



Imagen 2. La maqueta representa el hipotético sistema de andamiaje apoyado en el tambor de la cúpula de San Pedro de Roma, escala 1:100. Grupo: Pilar Aguilar, Camila Baquedano, Daniela Gil (fuente: María Cirano).

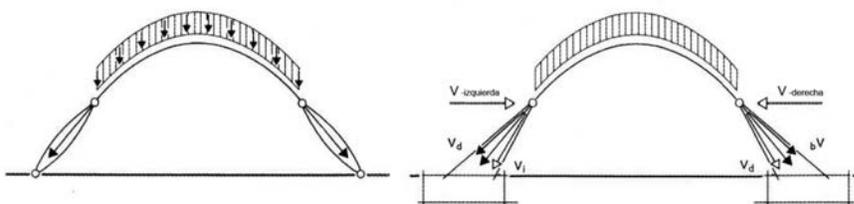


Imagen 3. Esquemas de las cargas estáticas a las que se somete la estructura del hangar de Orvieto (fuente: Blundell Jones, 2011: 238).

² La Torre Eiffel, 1887-89; la Iglesia del Santísimo Redentor, 1577-1592; la Catedral de Nuestra Señora de París, 1163-1258; la Catedral de la Asunción de Nuestra Señora de Chartres, 1194-1220; el Coliseo Romano, 70-80 d. C.; la Casa de la Cascada, 1936-39; la Catedral de Santa María de la Flor, 1296-1418; la Basílica de San Pedro, 1506-1629; el navío Nuestra Señora de la Santísima Trinidad, 1767-69; el Taj Mahal, 1632-1643; la Villa Rotonda, 1566-1605.

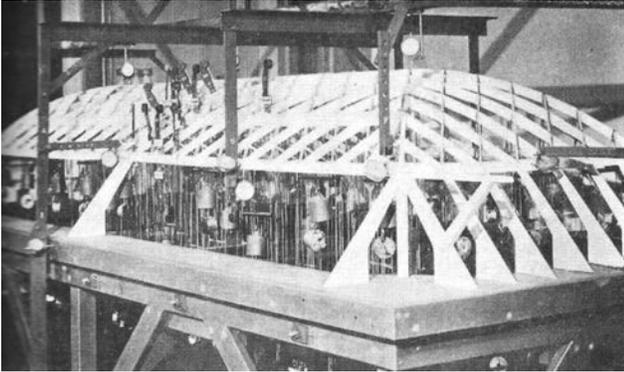


Imagen 4. Investigación experimental con modelo de celuloide del hangar de Orvieta (fuente: Nervi, 2000, tabla III).

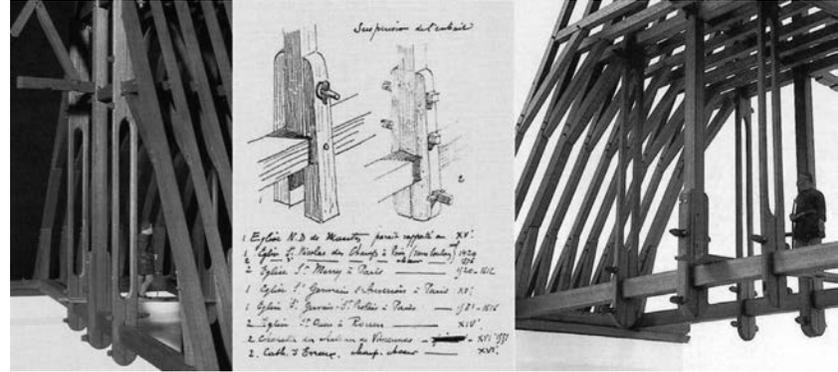


Imagen 5. Maquetas y dibujo de la techumbre de la nave de la iglesia de Saint-Ouen, Rouen, escala 1:50 (1917) (fuente: Mayer, 2002).

las nervaduras de sus celosías -pese a que aún nos enfrentaríamos al problema de la inequivalencia de tamaños-, el solo hecho de construirlo tridimensionalmente nos entregaría la posibilidad de simular la fabricación de piezas y el montaje de esta estructura. El caso se ajusta a nuestros fines ya que, como se sabe, Nervi construyó un modelo estructural de celuloide³ aplicándole las solicitaciones proyectadas, comprobando mediante medición instrumental las tensiones a las cuales serían sometidos los elementos en la realidad (imagen 4).

Ahora bien, la construcción de una maqueta arquitectónica en la cual se representan aspectos constructivos y estructurales, implica ciertas dificultades que pueden ser difíciles de superar. Primero, la existencia de información acerca de la construcción que no deje cabos sueltos en cuanto a la materialidad o a su ejecución. Segundo, la representación de las partes versus la escala elegida. Por ejemplo, en algunos casos, un muro de albañilería puede ser representado como una masa homogénea, pero en otros es necesario reproducir su aparejo. Un caso similar es el de un arco de piedra, en el cual se pueden fabricar las dovelas esquemáticamente o reproducirlas con fidelidad al original. Nuevamente es relevante tanto la escala elegida como el fragmento a reproducir, ya que de esa escala depende el hecho que se desee representar. Un excelente ejemplo es la colección de maquetas de madera de las techumbres de las catedrales góticas del Centro de Investigación sobre los Monumentos Históricos de Francia⁴. La colección iniciada a principios de 1900 con los levantamientos de Henri Deneaux, tuvo como objetivo ser una guía para los proyectos de restauración y una función pedagógica para ilustrar el desarrollo y los cambios de la cercha tipo (imagen 5).

4. MODELAR UN FENÓMENO, UN PROCESO PARA INNOVAR.

Desde un punto de vista fisiológico, de Bono (1991) explica que la mente es un sistema elaborador de modelos de información, que un modelo mental es la disposición u ordenación de la información en el cerebro y que, por lo tanto, su configuración se basa en el comportamiento particular de las células nerviosas del cerebro, según una secuencia repetible de actividad neuronal. En perspectiva operacional, de Bono (1991) explica que la eficacia con que la mente logra interpretar los mensajes de nuestro entorno, depende precisamente de la posibilidad de crear modelos, memorizarlos e identificarlos cuando su uso sea requerido. Consistentemente, nos advierte que para provocar innovación es necesaria la re-estructuración de aquellos modelos establecidos con anterioridad. El modelo científico debe siempre ser una simplificación de cómo son las cosas en la realidad, por ello, debe siempre dejar algo afuera. Consecuentemente, bajo el enfoque de *resolución de problemas* de Pólya (1945), toda solución o plan de solución, no es otra cosa que la solución del modelo que nosotros postulamos como una representación útil de cómo son las cosas en la realidad. Resolver un modelo del problema no es necesariamente resolver el problema en la realidad. Dicho esto, vemos necesario desarrollar entre los futuros arquitectos una comprensión científico-tecnológica de la práctica arquitectónica, pudiéndose afirmar que así como destrezas tradicionales de la arquitectura son observadas con profundo interés por la ingeniería, destrezas propias de la ingeniería son, hoy más que nunca, también requeridas en arquitectura. En la asignatura Métodos Computacionales en Arquitectura los estudiantes desarrollan

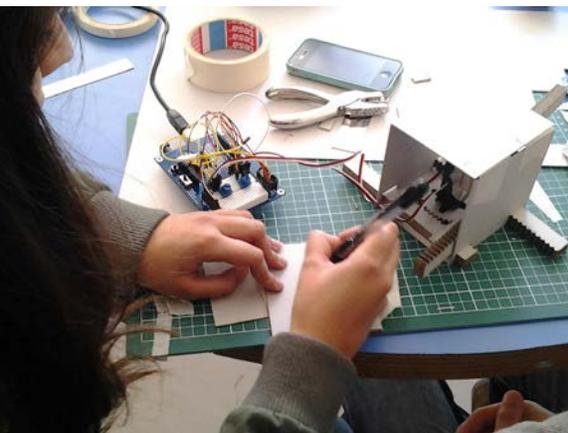
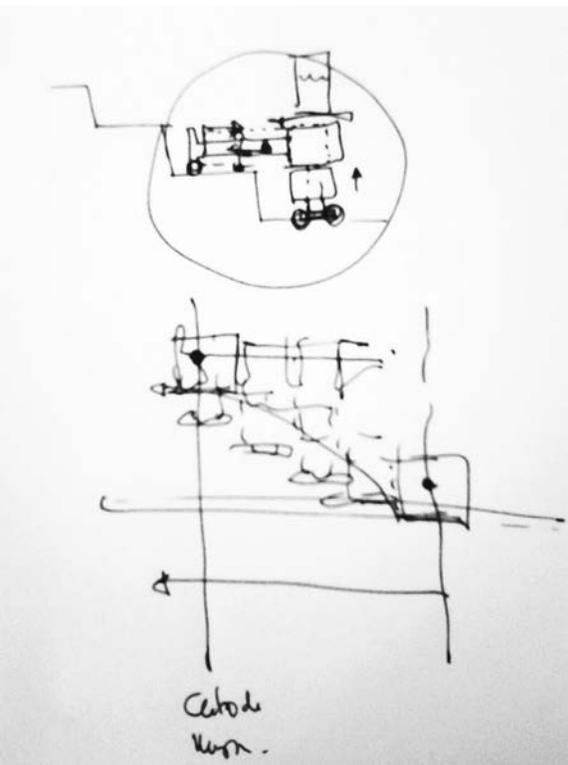
el pensamiento analítico, lógico, crítico y analógico. Durante el semestre se realizan tres actividades alternadamente: (a) ensamblaje y programación de modelos a escala armables de control automático y robótica móvil autónoma, (b) documentación técnica escrita sobre las experiencias con los modelos armables, y (c) modelación gráfica de problemas estructurados (de programación) y problemas del mundo real. Armar, programar y desarmar modelos prediseñados para luego variar su programación con fines específicos o



Imagen 6. Sesión de construcción de un modelo físico con control automático (fuente: Luis Felipe González).

³ Recientemente fue publicado un trabajo (Neri 2014) acerca de los modelos a escala de Pier Luigi Nervi.

⁴ La colección se compone de treintainueve maquetas de carpinterías y catorce tipos de ensamblajes.



Imágenes 7 y 8. Modelación gráfica y física de un robot que sube escaleras (fuente: Luis Felipe González).



solo exploratorios, inicia seminalmente el planteamiento de nuevas soluciones a problemas conocidos (imagen 6). El método de la asignatura combina modelos físicos y modelos conceptuales con un doble objetivo: comprender los principios rectores de la automatización y la robótica, y formular problemas del “mundo real” de modo estructurado (imágenes 7-10). Al final de la asignatura se espera que los estudiantes sean capaces de: (a) plantear y resolver problemas de manera secuencial e incremental, (b) conceptualizar y representar problemas mediante la elaboración de modelos, y (c) aplicar conceptos en base a la construcción de modelos y prototipos físicos.

5. DISCUSIÓN: MAQUETA ARQUITECTÓNICA VERSUS MODELO.

Aunque en la maqueta arquitectónica y el modelo se representan las partes y la relación entre éstas, las diferencias están en el modo y las técnicas específicas de traducción del objeto de análisis. Surge así el dilema que, si para la innovación es necesario reestructurar la traducción de los objetos de análisis, cuál de las dos herramientas de aprendizaje sería más significativa para el estudiante de arquitectura.

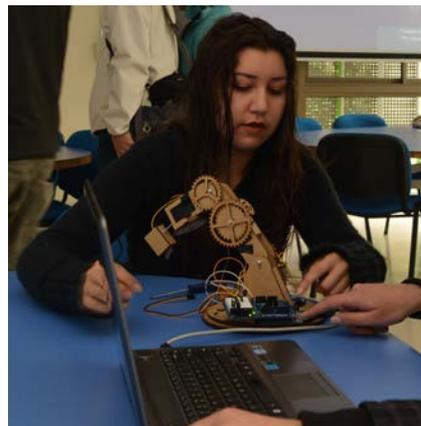
Tanto el término ‘modelo’ como el de ‘maqueta’ han variado su significado a lo largo del tiempo, distanciándose en algunos

períodos y acercándose en otros hasta el punto de ser sinónimos (Úbeda, 2002). En general, las definiciones de ‘maqueta’ refieren a una imitación representada proporcionalmente en pequeño, realizada con materiales no preciosos, es decir, hay un reemplazo de los materiales con los cuales se construye respecto del original (Úbeda, 2002). La copia debe ser similar al original en el caso de la maqueta. Escala y materialidad son los dos factores centrales de la transformación entre original y maqueta a escala.

Un ‘modelo’, en cambio, es una descripción finita (pequeña) de una realidad infinitamente compleja, construido con el propósito de responder preguntas particulares (Kuipers, 1994). Es necesario determinar la forma de representar el modelo y la simulación del modelo. La construcción de un modelo implica modelar suposiciones, es decir, implica discriminar. En cuanto a su relación con la realidad, el modelo siempre será un esquema simplificado de ella. Los tipos de modelos según Smith (2004) son: matemático, analógico, cualitativo e ingenieril.

La modelación se entiende como la interpretación y traducción de una entidad o proceso complejos en un lenguaje formal (o simbólico) sobre el cual sea posible operar universalmente con distintos fines, tales como describir, prescribir, predecir, probar o resolver una realidad parcial.

Antonio Gaudí es un claro ejemplo de un arquitecto que utilizó para proyectar el modelo de *experimentación con un número reducido de variables*, como técnica de exploración. Gaudí desarrolló un método propio para crear estructuras de fábrica comprimidas, extendiendo hacia las tres dimensiones el axioma de Robert Hooke acerca de la forma estable de un arco, invirtiendo una cadena. Con el fin



Imágenes 9 y 10. Modelo conceptual y prototipo de un brazo robótico (fuente: Luis Felipe González).



Imagen 11. Detalle del corte longitudinal del Pabellón Real de John Nash (Fuente: Jackson-Stops, 1991).



Imagen 12. Modelo de la estructura de techumbre del Pabellón Real de John Nash. Grupo: María José Cifuentes, Andrea Reyes, Rocio Vicencio (fuente: María Cirano).

de establecer la forma de los arcos de la Capilla de la Colonia Güell, creó un modelo tridimensional utilizando cables y sacos con arena, los cuales representaban el peso de los elementos de albañilería, y lienzos para visualizar las bóvedas. En el ámbito de enseñanza de la ingeniería estructural, está extendido el uso de modelos o representaciones físicas de estructuras o porciones de ellas, comúnmente construidas a escala reducida (Harris y Sabnis, 1999). En ellos se simplifica la complejidad de la estructura, sin perder las características significativas de su comportamiento, rigiéndose por la “teoría de los modelos estructurales” en la cual se propone una solución matemática a la

relación entre reducción de escala de los prototipos, su injerencia en la materialidad y su comportamiento (Pahl y Soosaar, 1964). Schuring y Emori (1977) identifican las potencialidades de un modelo a escala de ingeniería como un sustituto válido del original y observan tres aspectos positivos de su utilización para la enseñanza: (a) permite la transformación en proporciones manejables de ciertas características del fenómeno original, (b) facilita la experimentación con un número compacto de variables, y (c) promueve la comprensión profunda del fenómeno. Precisamente Schuring observa la falta de fidelidad en las maquetas arquitectónicas, juzgándolas de subjetivas y sin la necesaria exactitud científica. Debido a lo antes expuesto y a lo exitosa de la experiencia de Métodos Computacionales, se replanteó el ejercicio de la maqueta arquitectónica de Historia de las Estructuras y la Construcción, migrando hacia la modelación de un fenómeno constructivo o estructural, insistiéndose en la modelación de la realidad.

6. LOS RESULTADOS DE LA SEGUNDA EXPERIENCIA.

En esta segunda experiencia los resultados son auspiciosos al observarse una real comprensión de los fenómenos constructivos y estructurales detectados en las obras mediante la modelación. El proceso se inició con una descripción morfológica, material, constructiva y estructural de la obra seleccionada, desprendiendo de ello la identificación de un fenómeno característico y particular. A partir de ello se utilizan las técnicas de modelación conceptual asociadas a la identificación de las partes que componen el fenómeno y sus relaciones, las cuales son representadas a través de dibujos, para luego plantear y construir modelos físicos representativos del fenómeno.

Un caso paradigmático que nos permite comprender los objetivos del ejercicio fue la modelación de la cúpula tipo tienda del salón de banquetes del Pabellón Real (1787-1867) de John Nash. El sistema constructivo de la techumbre compuesto por cerchas de madera y herrajes metálicos

es de gran complejidad, basándonos para su descripción en un corte longitudinal detallado (imagen 11). Para explicar el fenómeno, se construyeron dos modelos físicos y se propusieron otros tantos más, cumpliendo con el principio antes expuesto de descomponer en una serie de modelos un fenómeno cuando sea necesario. En el primero se expuso la solución para el encuentro de las cerchas con el eje central observando que debido a la imposibilidad constructiva de un encuentro de todas las cerchas en un eje central, Nash propuso dos anillos. En ese modelo se explica la necesidad de ambos anillos dadas las cargas radiales que solicitan el anillo inferior a una tracción axial y el superior a una compresión axial. Para ello, ejerciendo presión sobre la trompeta, descrita como una superficie de revolución por filamentos que atraviesan los dos anillos, se logra reproducir las sollicitaciones sobre los anillos (imagen 12). Utilizando como información de contraste el artículo de Clarke (2005-6), las estudiantes compararon la solución de la techumbre de dos cubiertas con forma de tienda, diseñadas por Nash. La techumbre de Woolwich Rotunda (c. 1820) con forma de tienda describe una curva compuesta por vigas celosía cuyos cordones superiores e inferiores son de madera laminada. En cambio, la curva de las cerchas del Pabellón Real está construida como la cuaderna de un barco de madera. Es por eso que se consideró irrelevante en el segundo modelo físico la curvatura de la techumbre (imagen 13). En un tercer modelo físico propuesto pero no construido, se explicaba la geometría y composición de la cercha. Un segundo caso de interés fue la modelación del arco carpanel del puente de Neully (1768-1774) del arquitecto francés Jean Rodolphe Perronet, utilizando el método matemático geométrico de los funiculares (Aroca, 2005). En el modelo se simplificó la cantidad de dovelas del puente construido reduciéndolas a una décima parte (imagen 14). Mediante una estimación de su peso, se trazó el modelo funicular y antifunicular de la distribución de los esfuerzos, demostrando que la línea de empuje está inscrita en el arco. Tanto en el modelo físico como en el gráfico, las dovelas en su cara de contacto tenían un rebaje en forma de cuña por sobre la línea del antifunicular, mostrando que frente a sollicitaciones de la propia estructura solo se comprime el área entre la línea de empuje y en intradós del arco (imagen 15), observación en la línea de los ensayos del ingeniero William Barlow (1846).



Imagen 13. Modelo de la estructura de techumbre del Pabellón Real de John Nash (fuente: María Cirano).



Imagen 14. Modelo físico del arco carpanel del puente de Neully. Grupo: Maximiliano Astorga, Lauro Olfos, Oscar Osses (fuente: María Cirano).

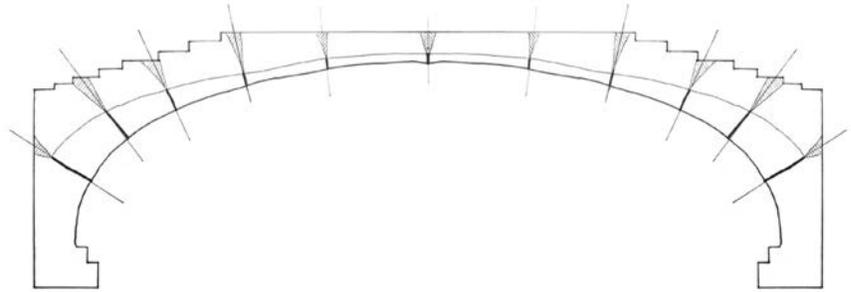


Imagen 15. Modelo gráfico del arco carpanel del puente de Neully, describiendo la línea de empuje (fuente: Maximiliano Astorga, Lauro Olfos, Oscar Osses).

7. CONCLUSIONES. Consideramos adecuado, dado el perfil de la Universidad Técnica Federico Santa María, el orientar una asignatura tradicional como la historia en las carreras de arquitectura, hacia el conocimiento crítico de las transformaciones y continuidades en la invención, uso, adaptación y transformación de los tipos estructurales y los sistemas constructivos, reconociendo en la técnica un campo de teorización en arquitectura. Es por ello que proponemos la necesidad de abrir el campo de la enseñanza de la historia hacia una crítica operativa cuyo objetivo sea asentar las bases para la innovación en arquitectura a partir de la comprensión y modelación de lo proyectado y construido en el pasado.

En cuanto al trabajo, la identificación de un fenómeno pone un punto de vista personal sobre la obra, pero el enfoque técnico impone objetividad al análisis y la modelación. En esta dicotomía se encuentran las bases para innovar. También resulta iluminador observar que la acción de modelar verbal, gráfica y físicamente un fenómeno constructivo o estructural, permite comprender en profundidad el caso, la solución y sus implicancias. Finalmente, la aplicación de una misma técnica de comprensión de la realidad y resolución de problemas en asignaturas que trabajan en campos del conocimiento tan disímiles como la computación y la historia, nos ha permitido repensar los campos de acción de nuestra disciplina. **AUS**

REFERENCIAS

- Aguiló, M. 2013. *Qué significa construir: claves conceptuales de la ingeniería civil*. Madrid: Abada.
- Aroca, R. 2005. *Funiculares*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Barlow, W. H. 1846. "On the existence (practically) of the line of equal horizontal thrust in arches, and the mode of determining it by geometrical construction." *Minutes of the Proceedings* 5: 162-172.
- Blundell Jones, P. 2011. *Modelos de la arquitectura moderna: monografías de edificios ejemplares*. Volumen I: 1920-1940. Barcelona: Editorial Reverté.
- Clarke, J. 2005-6. "Cones, not Domes: John Nash and Regency structural innovation." *Construction History* 21: 43-63.
- de Bono, E. 1991. *El pensamiento lateral: manual de creatividad*. Buenos Aires: Paidós.
- González, L. F. y C. Calvo. 2012. "ARQ232: La introducción de juegos de construcción & robótica pedagógica en la formación de arquitectos con competencia en CyT." *En Ponencias del 2do. Encuentro Latinoamericano INTROArq: Introducción a la enseñanza de la arquitectura: Métodos, protagonistas y contexto*, ed. M. Behro. Valparaíso: Editorial USM.
- González, L. F. y C. Calvo. 2014. "Desarrollo de competencias avanzadas en computación en la formación de los arquitectos latinoamericanos del siglo XXI." *En Proceedings of the 18th SIGraDi Conference, 12-14 November 2014*, ed. F. García. Montevideo: Facultad de Arquitectura, Universidad de la República.
- González, L. F., C. Calvo y M. Chiarella. 2013. *Métodos computacionales en arquitectura: la formación de arquitectos con competencia en CyT*. *En Proceedings of the 17th SIGraDi Conference*, ed. M. Bernal y P. Gómez. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Harris, Harry G. y Gajanan M. Sabinis. 1999. *Structural modeling and experimental techniques*. Boca Raton: CRC Press.
- Jackson-Stops, G. 1991. *John Nash: Views of the Royal Pavilion*. Londres: Pavilion.
- Kuipers, Benjamin. 1994. *Qualitative reasoning: modeling and simulation with incomplete knowledge*. Cambridge: MIT Press.
- Maino, S. 2014. "La Enseñanza de la Historia de las Estructuras y la Construcción." Artículo presentado en el VI Encuentro de Docentes e Investigadores en Historia del Diseño, la Arquitectura y la Ciudad. <<http://congresos.unlp.edu.ar/index.php/EDIHDAC/VIEDIHDAC/paper/view/1549>> (Consultado: 30.06.2014).
- Mayer, J. 2002. "La collection de maquettes de charpentes du Centre de recherche sur les monuments historiques." *En Les charpentes du Xle au XIXe siècle: typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*. Paris: Monum, Éditions du Patrimoine.
- Neri, G. 2014. *Capolavori in miniatura: Pier Luigi Nervi e la modellazione strutturale*. Mendrisio, Mendrisio Academy Press.
- Nervi, P. L. 2000. *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*. Milano: Citta Studi Edizioni.
- Pahl, Peter Jan y Keto Soosaar. 1964. *Structural models for architectural and engineering education*. Cambridge: School of Engineering.
- Pallasmaa, J. 2012. *La mano que piensa: Sabiduría existencial y corporal en la arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Pólya, G. 1945. *How to solve it: A new aspect of mathematical method*. Princeton: Princeton University Press.
- Schuring, Dieterich J. y Richard I. Emori. 1977. *Scale models in engineering: fundamentals and applications*. Toronto: Pergamon Press.
- Smith, A. C. 2004. *Architectural model as machine: A new view of models from antiquity to the present day*. Oxford: Architectural Press.
- Ubeda, Marta. 2002. *La maqueta como experiencia del espacio arquitectónico*. Valladolid: Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial.