

MAQUETA V/S MODELO EN LA ASIGNATURA DE HISTORIA DE LAS ESTRUCTURAS Y LA CONSTRUCCIÓN

Sandro Maino Ansaldo

Departamento de Arquitectura, Universidad Técnica Federico Santa María
sandro.maino@usm.cl

Luis Felipe González Böhme

Departamento de Arquitectura, Universidad Técnica Federico Santa María
luisfelipe.gonzalez@usm.cl

En esta ponencia contrastaremos la utilización desde el punto de vista analítico de la *maqueta arquitectónica* y el *modelo científico* en los trabajos desarrollados en la asignatura de tercer año, *Historia de las Estructuras y la Construcción*, cuyo objetivo es la producción de herramientas de aprendizaje y desarrollo de la creatividad en el proyecto de arquitectura.

Para la discusión se utilizaron recientes experiencia de la asignatura del Ciclo Formativo (1° a 3^{er} año) *Métodos Computacionales en Arquitectura*, teniendo esta última como objetivo principal, desarrollar el pensamiento estructurado (a veces llamado *pensamiento algorítmico* o también *pensamiento computacional*) para resolver problemas de aplicación en Arquitectura empleando métodos y herramientas computacionales.

Palabras claves: representación arquitectónica, malla curricular, complejidad, reproducción a escala, razonamiento basado en modelos.

REPLICA VS MODEL IN THE COURSE OF HISTORY OF STRUCTURES AND CONSTRUCTION

In this paper we will contrast, from an analytical point of view, the use of the architectural model and the scientific model in the work performed by students enrolled in the third-year course called History of Structures and Construction, which main goal is the production of learning tools for and creativity development in the architectural project. Recent experiences in the core course called Computational Methods in Architecture (first to third year) were used for the discussion. The main goal of this course is to develop structured thinking (sometimes referred to as "algorithmic thinking" or "computational thinking") to solve application problems in Architecture by using computational methods and tools.

Keywords: architectural representation, plan of study, complexity, scale reproduction, model-based reasoning.

La asignatura de teoría e historia de las estructuras y la construcción (ARQ 312)

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 nuevas asignaturas basadas en competencias para el currículo obligatorio. Entre las nuevas asignaturas, se encuentran *Historia de las Estructuras y la Construcción* y *Métodos Computacionales en Arquitectura*.

La asignatura de *Historia de las Estructuras y la Construcción* aborda las transformaciones que ha sufrido la construcción de una obra, los procesos de industrialización y la permanencia de los saberes y prácticas tradicionales o regionales. Su objetivo es delinear una historia crítica de las ideas guía de los sistemas constructivos, sobre la base de un conocimiento profundo del patrimonio construido en su materialidad, observando las cualidades técnicas (solidez, habitabilidad, confort), matéricas (materiales y su puesta en obra), los significados y las estratificaciones históricas. El querer pensar la obra de arquitectura como obra completa implica asumir la dimensión material, estructural y constructiva, asumiendo que las dos últimas están desde un principio en el proceso creativo.

La asignatura de *Métodos Computacionales en Arquitectura* tiene por objetivo principal desarrollar el pensamiento estructurado para resolver problemas de aplicación en Arquitectura empleando métodos y herramientas computacionales.

La maqueta, un mecanismo de comprensión de un hecho arquitectónico, estructural y constructivo

Los arquitectos utilizan la maqueta como un medio para pensar y crear un proyecto. En nuestro caso no tiene ese objetivo proyectual, entendido como visión de futuro, pero sí cumple con la función de ser una forma de representación. Las maquetas arquitectónicas varían en sus usos y concepción, siendo un excelente mecanismo para explorar, comprender y demostrar conceptos, en nuestro caso, estructurales y constructivos.

Albert Smith en su *Architectural Model as Machine* señala los dos principales mecanismos con los cuales actúa la maqueta a escala: la “analogía visual” y la “metáfora constructiva”. Con la primera se refiere a la correspondencia en relación al original de las partes y a la proporcionalidad de cada una de las partes en sí y en relación a 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.

Ahora bien, la pregunta es cuáles son las reales capacidades representativas de una maqueta arquitectónica, si es una manera de explicar de manera reducida un sistema o fenómeno físico.

Si bien las maquetas nos permiten visualizar fácilmente conflictos de la forma en el espacio tridimensional, evitando la necesidad de utilizar complicadas proyecciones geométricas, sus debilidades están en su relación con el cuerpo, ya que facultan un dominio sobre el total mediante la aplicación de la reducción a escala, la cual, los optimistas la catalogan como *simulacro*, pero nosotros la catalogamos como falsa experiencia de la realidad.

Primeras referencias históricas del uso de la maqueta en arquitectura

La maqueta a escala es una más de las expresiones de una cultura, de manera tal, que a través de ellas, de aquellos que simbolizan, representan o buscan construir, nos permiten

comprender un momento histórico; en definitiva forman parte de un “universo cultural”

La única mención de Vitruvio en sus *Diez Libros de Arquitectura* a algo similar a la maqueta se inserta en la considerada primera formulación de la idea de representación en arquitectura de la Historia Occidental; específicamente en el antecedente de la perspectiva lineal, denominada *scenographia*, idea que hace alusión al relieve. Por su parte, León Battista Alberti en sus *Diez Libros* realiza una extensa descripción de la maqueta como objeto predictor.

Aunque las referencias históricas de las maquetas a escala en arquitectura se retrotraen a los egipcios las primeras son del período gótico, conservándose hasta el día de hoy una maqueta a escala de la iglesia de Saint Macouly de Rouen en papel maché (fig. 1).

Al parecer Brunelleschi construyó maquetas a escala de la cúpula de Santa María de la Flor, Florencia, para explicar la técnica constructiva de su ejecución, utilizada según Smith para resolver *problemas a los cuales usualmente no se enfrentaban los diseñadores*, es decir, complejos problemas estructurales y constructivos (fig. 2).

Antonio Sangallo construyó una maqueta a escala 1:30 de su proyecto para la Basílica de San Pedro, una maqueta del total con un corte que pasa por uno de sus ejes de simetría, el cual permite abrirla y ver su espacio interior. La decoración fue reproducida con exactitud, por ejemplo, las bóvedas de la maqueta tenían la decoración de los casetones realizada con papel encolado (fig. 4)

Todas estas maquetas construidas con madera, aunque representan la figura con todos sus ornamentos, no representan los aspectos estructurales y constructivos de los proyectos (fig. 5 y 6). Tan cierto es que recién a mediados del siglo pasado se pudo comprender a ciencia cierta cómo estaba construida la cúpula de Santa María de la Flor, pese a que aún se conservan las maquetas de su proyecto.



1



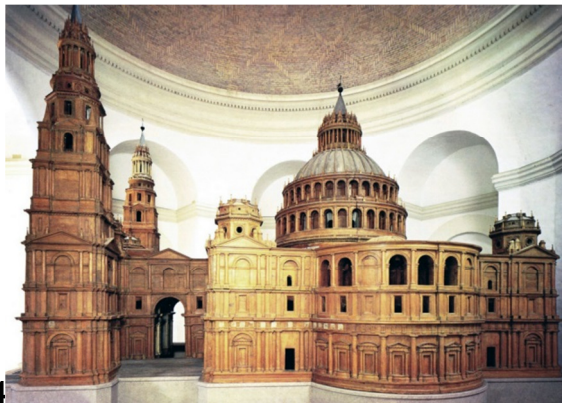
2

1 Iglesia Saint Maclou de Rouen, 1434-1521, maqueta en papel maché .

2 Maqueta de madera de la cúpula de Santa María de la Flor, Florencia, atribuido a Brunelleschi (Museo dell'Opera de Florencia. Disponible en: http://www.wga.hu/html_m/b/brunelle/)



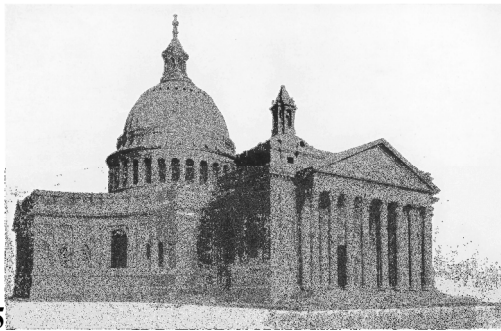
3



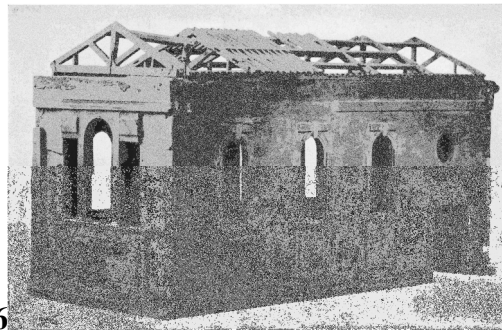
4

3 Maqueta de madera de la cúpula de San Pedro realizado por Miguel Ángel Buonarroti (Disponible en: <http://sviluppo.homegate.it/sanpietro/modelli.asp>)

4 Maqueta en madera realizada por Antonio Sangallo para la reconstrucción de San Pedro, 1539-46 (Disponible en: <http://www.atlantedellarteitaliana.it/artwork-9146.html>)



5



6

5 Maqueta de la Catedral de Saint Paul, Christopher Wren, 1673 .

6 Maqueta de la Capilla de Pembroke, Cambridge, Christopher Wren, 1663 .

El ejercicio: el estudio de una obra

El ejercicio, desarrollado por grupos de entre dos y tres integrantes, consiste en describir, analizar y representar una obra de arquitectura construida con anterioridad al año 1950. Los objetivos del estudio son comprender una obra en cuanto a sus variables materiales, constructivas, estructurales y de ejecución, en relación a su época, además de relacionar y comparar una serie de obras por sus factores materiales, constructivos y estructurales.

La pertinencia del caso de estudio es referida a los siguientes tres factores:

a._ La obra tiene que estar construida o puede haber sido construida y demolida a posteriori. No pueden ser proyectos.

b._ La obra tiene que ser relevante para la época.

c._ Tiene que existir información de la obra tanto de su materialidad como de su estructura, de su construcción, de los procedimientos específicos utilizados para su ejecución. Tal como lo argumenta Aguiló , *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 para el desarrollo del ejercicio busca hacer del trabajo un proceso acumulativo y en continua revisión del total. Se plantean tres etapas en el desarrollo del

trabajo finalizando cada una de ellas con una presentación oral de los resultados y un documento gráfico y escrito del cual se definen normas para su presentación.

En la Primera Etapa se elabora la planimetría de la obra, además de axonométricas, indicándose en cada uno de los dibujos su escala. La representación gráfica se complementa con una descripción escrita de la obra en cuanto a sus aspectos morfológicos, constructivos y estructurales, haciéndose especial énfasis en el uso de una nomenclatura técnica. La descripción escrita es complementada con diagramas y esquemas. El principio fundamental del trabajo es: *la descripción es el inicio de todo análisis*. En la Segunda Etapa se profundiza y extiende el estudio inicial, complementándolo con: un modelo tridimensional virtual de la obra, la selección de un fragmento de la obra para su reproducción y la propuesta para la construcción de una maqueta a escala de este fragmento. En la Tercera Etapa, y última, se complementan las observaciones de las dos entregas anteriores con la maqueta a escala.

Los aspectos a evaluar son:

- 1._ La capacidad de describir una obra en cuanto a sus factores morfológicos, materiales, constructivos y estructurales, nombrando adecuadamente cada una de las partes. Especial énfasis en la descripción de manera original y concreta de la apariencia de la obra, basándose en imágenes y planimetría, exponiendo la materialidad, el sistema constructivo, la estructura y los procesos.
- 2._ La capacidad de analizar una obra en cuanto a sus factores materiales, constructivos y estructurales, descomponiéndola en partes o componentes, exponiendo la relación entre las partes y los procesos.
- 3._ La capacidad de presentar en forma escrita y gráfica la descripción y el análisis de la obra.
- 4._ La capacidad de argumentar la selección del fragmento de la obra y su materialización.

Las características, fines y objetivos de la maqueta

La maqueta a escala encargada para este estudio tiene como característica fundamental representar el sistema constructivo y estructural de la obra analizada, sin ser por ello un modelo para probar su comportamiento mecánico en laboratorio. La maqueta tiene por objetivo, mediante la limitada re-producción, conocer el procedimiento constructivo de una obra, sus partes y piezas que lo componen y, por último, hacer patente parte de su sistema estructural. A diferencia de la tradicional maqueta arquitectónica, aquí no se busca realizar una representación a escala de las condiciones espaciales, de su forma liberada de su materialidad, una experiencia que normalmente ejecuta el arquitecto para comprender y explicar su propuesta.

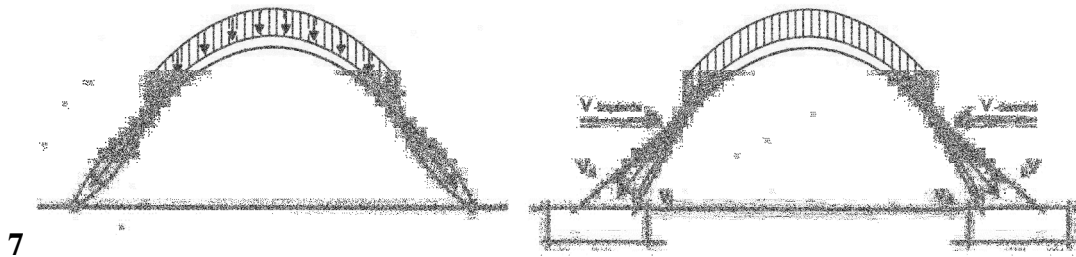
A diferencia de los trabajos de Soosaar y Pahl¹, a través de la maqueta no se logra reproducir el comportamiento estructural, más bien se persigue una comprensión global del comportamiento de una estructura, su ensamble de partes. En un principio, a través de la maqueta se podría tener una comprensión básica de los principios del comportamiento estructural, pero difícilmente una anticipación de su comportamiento global.

Si este fuera el objetivo, tal como lo desarrolla Soosaar y Pahl, es necesario regirse por la “teoría de los modelos estructurales”, en la cual se definen matemáticamente la

¹ “Structural models are used in teaching to investigate and to demonstrate in the classroom and in the laboratory the behavior which is anticipated for the prototype structure in the field.” (Massachusetts Institute of Technology, Keto Soosaar, and Peter Jan Pahl, *Structural models for architectural and engineering education*, Research Report R64-03 (Cambridge, Massachusetts 1963).)

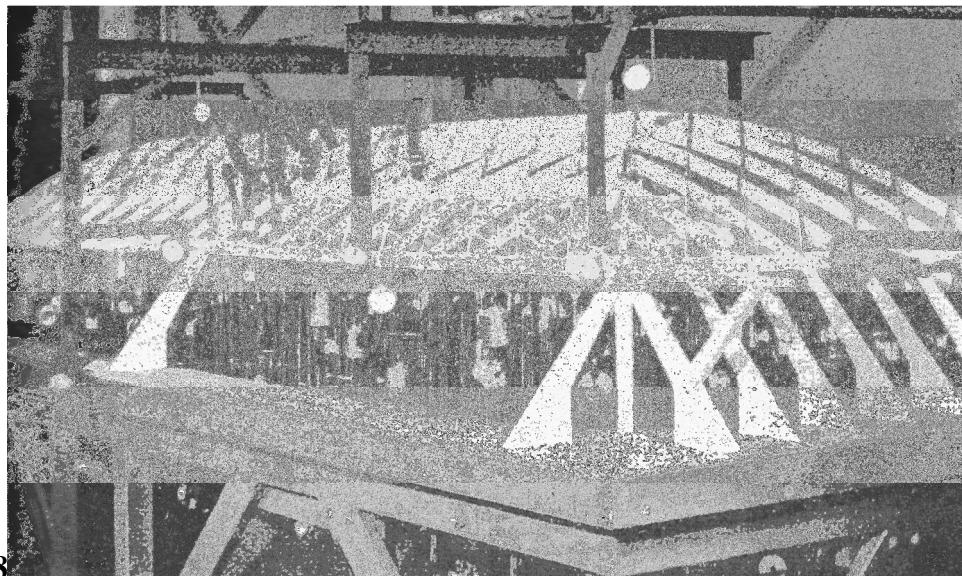
reducción de escala de los prototipos y su injerencia en la materialidad y su comportamiento.

A diferencia de un dibujo, con la maqueta a escala se logra un aprendizaje háptico 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 de un hangar de Pier Luis Nervi, describiríamos en un corte las cargas uniformemente repartidas de la cáscara, con su forma curva y la transmisión de esos esfuerzos a los apoyos (fig. 7). Si bien ese gráfico es explicativo, tiene el problema del tamaño que es difícil de aprehender y su condición bidimensional. Si construyéramos una maqueta tridimensional, de cartón, reproduciendo las nervaduras de sus celosías -pese que aún nos enfrentaríamos al problema de inequivalencia de tamaños-, el solo hecho de construirlo tridimensionalmente, ver las dificultades para recortar cada uno de los tramos de los arcos para luego montarlos, nos entregaría la posibilidad de vivir en carne propia el montaje de una estructura tridimensional como ésta. El caso se ajusta a nuestros fines, ya que, como se sabe, Nervi construyó un modelo estructural de celuloide, sometiéndolo a las solicitaciones proyectadas y comprobando, mediante medición instrumental, las tensiones a las cuales serían sometidos los elementos en la realidad (fig. 8).



7

7 Esquemas de las cargas primarias, en el que las patas absorben los empujes .



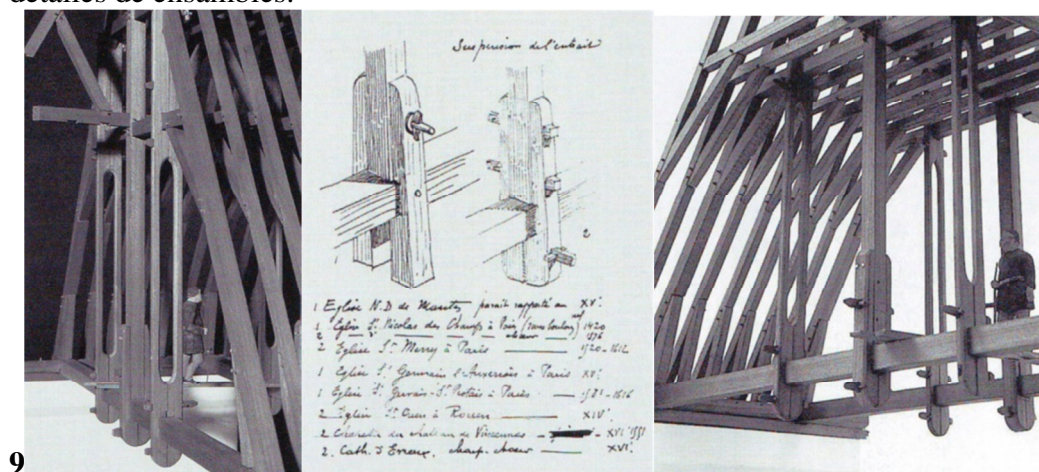
8

8 Modelo de celuloide del hangar durante la investigación experimental de las solicitaciones de los diferentes miembros que componen la estructura. Los pesos corresponden a las cargas derivadas de la construcción .

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. En primera instancia, la información acerca de la construcción de la obra a reproducir. Aunque existe información general de los casos, ésta es generalmente fragmentaria y parcial, dejando cabos sueltos en cuanto a la materialidad o a su

ejecución. En segundo lugar el tamaño de las partes versus la escala elegida. Por ejemplo, en algunos casos, un muro de albañilería puede ser replicado como una masa homogénea, pero en otros es necesario reproducir su aparejo. También ocurre en el caso de un edificio de piedra, por ejemplo, las dovelas que componen un arco en una catedral gótica, los componentes de una nervadura. Nuevamente es relevante tanto la escala elegida como el fragmento a reproducir, ya que de esa escala depende el fenómeno que se desee representar.

Un excelente ejemplo de lo deseado en este estudio encargado a los estudiantes, es la colección de maquetas² del Centro de Investigación sobre los Monumentos Históricos de Francia, de las estructuras de madera de las techumbres de edificios históricos (fig. 9). La colección, iniciada a principios del 1900 con los levantamientos de Henri Deneaux de las estructuras y los ensamblajes principalmente de las techumbres de las catedrales góticas, 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. Las maquetas a escala 1:50 reproducen tramos de las estructuras de techumbre con todos sus detalles de ensambles.



9 Maquetas de la techumbre de la nave de la iglesia de Saint-Ouen, Rouen, escala 1:50 (1917). Al centro, del detalle del encuentro de pendolón con tirante, dibujado por Henri Deneux .

Los resultados del trabajo de los estudiantes

A continuación describiremos once de las catorce maquetas del trabajo desarrollado por los estudiantes el segundo semestre del año 2014. Las obras son: la Torre Eiffel, 1887-89, París, Gustave Eiffel, Maurice Koechlin y Émile Nouguier; la Iglesia del Santísimo Redentor, 1577-1592, Venecia, Andrea Palladio; la Catedral de Nuestra Señora de París, 1163-1258, París; la Catedral de la Asunción de Nuestra Señora, 1194-1220, Chartres; el Coliseo Romano, 70-80 d. C., Roma, Tito Flavio Vespasiano; la Casa de la Cascada, 1936-39, condado de Fayette, Frank Lloyd Wright; la Catedral de Santa María del Fiore, 1296-1418, Florencia, Arnolfo di Cambio, Brunelleschi; la Basílica de San Pedro, 1506-1629, Ciudad del Vaticano, Bramante, Rafael Sanzio, Antonio da Sangallo, Miguel Angel Buonarrotti; el navío Nuestra Señora de la Santísima Trinidad, 1767-69, Mateo Mullan, España; el Taj Mahal, 1632-1643, Agra, Shah Jahan; la Villa Rotonda, 1566-1605, Vicenza, Andrea Palladio. De cada una de las obras el grupo de estudiantes seleccionó un fragmento y construyó una maqueta en una escala particular. Se describirán los aciertos y los fallos de estas maquetas.

² La colección se compone de treintainueve maquetas de carpinterías y catorce tipo de ensambles

En el Coliseo Romano se seleccionó como fragmento el primer nivel de las arcadas, reproduciéndose con una combinación diferenciada entre cartón y arcilla el aparejo (fig. 15).

El fragmento de la Torre Eiffel corresponde a un de sus cuatro apoyos, junto con las vigas de celosía que surgen del basamento (fig. 10). La viga de celosía de la torre es reproducida como un plano continuo recortado, una clara contradicción respecto del sistema constructivo y estructural utilizado originalmente de barras unidas con remaches.

El fragmento seleccionado de navío Nuestra Señora de la Santísima Trinidad es un tramo de su casco junto con uno de sus mástiles (fig. 20). La maqueta de la sección de la embarcación no cumple con representar el ensamble de tramos que constituyen cada cuaderna, recortándose solo una pieza continua. Otro elemento interesante es el mástil que también se constituye por ensamblaje y sobreposición de tramos, siendo representado en la maqueta por un cilindro de madera.

El fragmento seleccionado de la catedral de Santa María del Fiore fue la cúpula y el tambor que la sostiene (fig. 17). La maqueta representa la cúpula descompuesta a la manera de gajos, mostrando en unos de ellos las nervaduras, en otros la casca interior y en otros la cascara exterior. La maqueta adolece de dos características fundamentales: la fidelidad con el original y la proporcionalidad de las partes. Las nervaduras, además de no estar proporcionadas como en el original, tienen una engañosa discontinuidad en su base. La materialidad, listones de madera, no es la adecuada para las características monolíticas del total. La segunda maqueta de esta obra busca representar el sistema de aparejo en espina de pez -“spinapesce”- de la cascara interior, pero la forma de realizarlo es meramente gráfica (fig. 18).

El fragmento de la Basílica de San Giorgio Maggiore es una sección longitudinal de la nave central y la cúpula (fig. 11). La información recabada por los estudiantes no les permitió comprender la materialidad y el sistema constructivo utilizado en la cúpula y su tambor pudiendo solo reproducir el espesor de ellos, bastante reducidos para la época.

El fragmento seleccionado de la Villa Rotonda es una de sus escalinatas de acceso con su columnata y frontón (fig. 22). La maqueta fue construida con un entramado de madera recubierto con yeso claramente no representativo de los muros de albañilería.

El fragmento seleccionado de la Catedral de San Pedro es un gajo de la cúpula (fig. 19), pero a diferencia de la maqueta de la cúpula de Santa Maria del Fiore, la representación se inicia desde el suelo. La maqueta de la cúpula persigue representar el hipotético sistema de andamiaje que no se arma desde el suelo sino que se apoya en el tambor de la cúpula. Es por ello que la representación de la cúpula, solo volumétrica, destacando la existencia de dos cáscaras, es adecuada, pero la sección elegida no permite entender el equilibrio necesario para que este andamiaje se sustente.

El fragmento seleccionado del Taj Mahal es la cúpula del Mausoleo (fig. 21). La cúpula del Taj Mahal tiene una composición similar a la del Panteón, es una masa dispuesta por lechos de mortero, ladrillos y trozos de piedra, revestida con mármol. La ejecución de la cúpula como una masa de arcilla es coherente con dicho sistema constructivo.

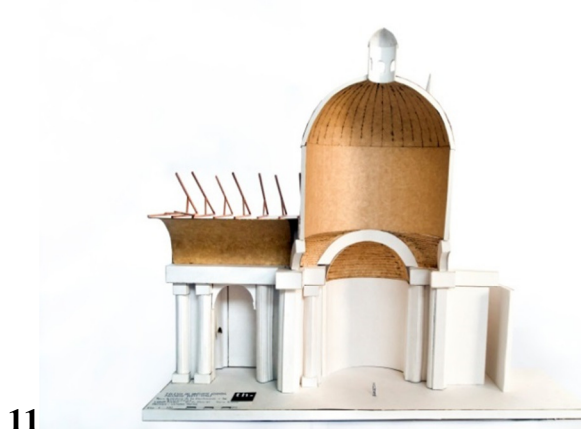
Con las maquetas de las catedrales góticas de Nuestra Señora de París (fig. 12) y Chartres (fig. 13) ocurre algo peculiar e inesperado. Ambas reproducen una sección transversal de la nave, en el caso de Nuestra Señora de París en todo su ancho con las cinco naves y dos módulos de profundidad, y en Chartres un tramo de la nave lateral y su sistema de arbotantes. Ninguno de los dos grupos hizo eco de las recomendaciones del profesor respecto de construir un fragmento menor y de representar el aparejo. Mientras la maqueta de Nuestra Señora de París fue construida con cartón, demostrando

su inutilidad frente a los objetivos del estudio, la otra fue ejecutada en yeso, produciéndose una serie de deformaciones, fruto del fraguado y la retracción del material escogido. Si bien ninguna de las dos maquetas reproduce la fábrica de muros, columnas o arbotantes, con la segunda maqueta el fenómeno descrito guarda ciertas lejanas similitudes con los experimentos con modelos fotoelásticos de las naves de las catedrales góticas, desarrollados por Richard Mark , para comprender su comportamiento estructural; aunque evidentemente sin la intención, el control y la capacidad predictiva de dicha experiencia (fig. 14).

La Casa en la Cascada es un caso paradigmático. Conocidos son los problemas estructurales debido a la tozudez de Frank Lloyd Wright. En la maqueta se reprodujo una sección de las fundaciones y de la primera planta (fig. 16). La mampostería de piedra, montándose uno sobre otro, trozos rectangulares de cartón, y sobre el muro la viga doble T de hormigón armado también en cartón, la cual describe una flecha en su extremo en voladizo, la misma que fue corregida en su restauración entre los años 1997 y 2002 mediante cables postensados.



10



11

10 Maqueta del primer tramo del pilar norte (pilar 1) de la Torre Eiffel, escala 1:200 (grupo: Esteban Agüero, Tamara Escobar y Cecilia Hormazábal)

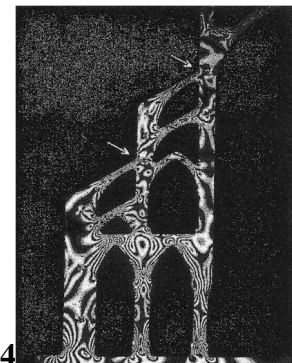
11 Maqueta de la cúpula y nave seccionada longitudinalmente de la Iglesia del Santísimo Redentor, Venecia, escala 1:100 (grupo: Lisbeth Fredes, Guido Oyarzo y Lucía Simons)



12



13



14

12 Sección transversal de la Catedral de Nuestra Señora de París, escala 1:125 (grupo: Diego Santiago, Mario Vidal y Cristian Guentelican)

13 Sección transversal de la catedral de Chartres, escala 1:100 (grupo: Diego González y Paulina Orellana)

14 Modelo fotoelástico de la nave central de Nuestra Señora de París sometido a los esfuerzos laterales del viento .



15

15 Sección del Coliseo Romano, escala 1:100 (grupo: Pedro Ascencio, Camila Caviedes y Michelle Ramírez)



16

16 Sección de la Casa en la Cascada, escala 1:50 (grupo: Diego Poblete y Ricardo Espinoza)



17

17 Maqueta de la cúpula de la catedral Santa María del Fiore, Florencia, escala 1:100 (grupo Carolina Reyes, Ximena Vargas y Sebastián Morgado)



18

18 Maqueta de una sección de la cascara interior de la cúpula, representándose el aparejo, escala 1:50 (grupo Carolina Reyes, Ximena Vargas y Sebastián Morgado)



19

19 Maqueta de una sección radial de la cúpula de San Pedro de Roma, escala 1:100 (grupo: Pilar Aguilar, Camila Baquedano y Daniela Gil)



20

20 Maqueta de una sección del navío Nuestra Señora de la Santísima Trinidad, escala 1:50 (grupo: Cybill Muñoz, Christian Alvial, Sebastián Valenzuela)



21



22

20 Sección de la cúpula del mausoleo del Taj Mahal, escala 1:100 (grupo: Natalia Bustamante, Katherine Cabezas y Christian López)

21 Sección de la Villa Rotonda, escala 1:35 (grupo: Felipe Vergara y Carlos Zamora)

Discusión y trabajos futuros: maqueta arquitectónica versus modelo

La modelación científica es 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, definiremos la maqueta arquitectónica, en la asignatura de *Historia de la Construcción y las Estructuras*, como una reproducción material a escala, del total o una parte de una obra de arquitectura, buscando representar simultáneamente el sistema constructivo y el sistema de fuerzas. La maqueta arquitectónica es utilizada en este caso como una contrastación del procedimiento constructivo y el funcionamiento estructural de la obra.

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, surgiendo como dilema que si para la innovación es necesaria la re-estructuración de la o las *traducción(es)* del (los) objeto(s) de análisis, cuál de las dos herramientas de aprendizaje es más significativa para el estudiante de arquitectura: la maqueta arquitectónica o el modelo.

Tanto el término modelo como maqueta han variado su significado a lo largo de la historia, distanciándose en algunos períodos y acercándose en otros hasta el punto de ser sinónimos . La diferenciación entre maqueta y modelo es planteada por Úbeda iniciando esta diferenciación conceptual con el Timeo de Platón. El mundo visible, aquel que percibimos por los sentidos esta hecho sobre un modelo al cual Platón llama: el *mundo de las ideas*, pudiéndose diferenciar, en principio, entre la *imagen* y el *modelo*. La imagen es la representación del modelo, a la cual, en nuestro caso, llamaremos maqueta. Entre ellos se produce una secuencialidad dependiendo si es algo proyectado, el modelo antecede a la imagen, o si es algo descrito, la imagen antecede al modelo.

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 el original . 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.

Modelo, hace referencia a una pauta o regla para guiarse en la ejecución de algo . Este término quiere decir molde o matriz el cual puede ser utilizado para dar origen a cosas similares.

Un modelo es una descripción finita (pequeña) de una realidad infinitamente compleja, construido con el propósito de responder preguntas particulares . 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 son: matemático, analógico, cualitativo e ingenieril. En arquitectura, el modelo es tridimensional, siendo su homólogo bidimensional la traza.

En ambos casos, maqueta y modelo, como el fenómeno original tiene que ser representado, este tiene que ser simplificado e incluso deformado, por lo cual esta traducción no siempre es sencilla.

En el ámbito de enseñanza de la ingeniería estructural, está bastante desarrollada la experimentación con modelos o representaciones física de una estructura o una porción de ella comúnmente construido a una escala reducida en los cuales se reduce la complicación y la complejidad de una estructura, sin perder su comportamiento sus características significativas. Schuring y Emori identifican las potencialidades de un modelo a escala de ingeniería como un sustituto válido del original y observa tres aspectos positivos de su utilización en experimentos para la enseñanza:

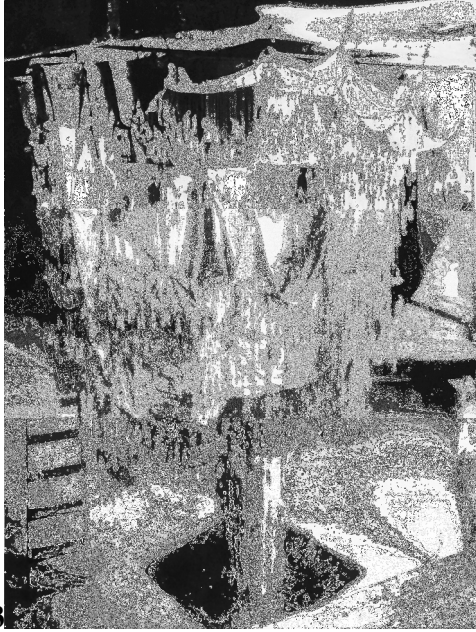
a._ Permite la transformación en proporciones manejables de ciertas características del fenómeno original.

b._ Facilita la experimentación con un número compacto de variables

c._ Promueve la comprensión profunda del fenómeno

Precisamente Shuring observa la falta de fidelidad en las maquetas arquitectónicas, juzgándolas de subjetivas y sin la necesaria exactitud científica. Ahora bien, como lo hemos señalado con anterioridad el objetivo de la maqueta a escala en el ejercicio propuesto no es testear el comportamiento mecánico de la estructura o permitir predecir su comportamiento.

Antonio Gaudí es un claro ejemplo de un arquitecto que utiliza la maqueta como modelo de *experimentación con un número reducido de variables*. En su exploración en la tercera dimensión puede ser una influencia en los métodos más tradicionales de construcción con albañilería. 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 de establecer la forma de los arcos de la capilla, Gaudí 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 (fig. 23 y 24).



23

23 Maqueta funicular de la Capilla de la Colonia Güell (1898-1915) Antonio Gaudí



24

24 Capilla de la Colonia Güell (1898-1915) Antonio Gaudí

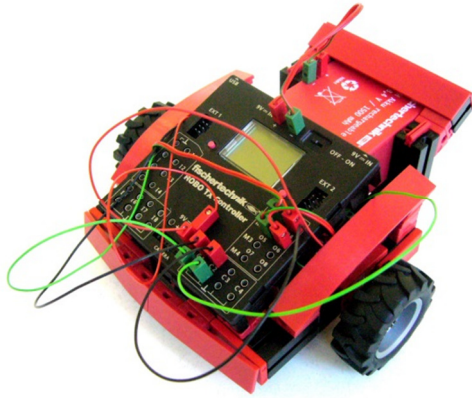
Se comprenderá que existe una diferencia fundamental entre lo representado en el dibujo y en la maqueta funicular que va más allá de la bidimensionalidad de uno y la tridimensionalidad del otro

En este punto tendremos que hacer una diferenciación entre un modelo exclusivamente estructural y un modelo exclusivamente constructivo, pero ¿qué nos impulsa a realizar esta diferenciación? pregunta que podríamos realizar de esta otra forma ¿Qué representan las maquetas arquitectónicas?, pregunta a la cual agregaría ¿Qué es lo que quiero representar con estas maquetas arquitectónicas? En nuestro caso no es representar una imagen, ni una imitación, ni tampoco es un objeto para imaginar o desarrollar nuevas ideas.

Desde un punto de vista fisiológico, 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.

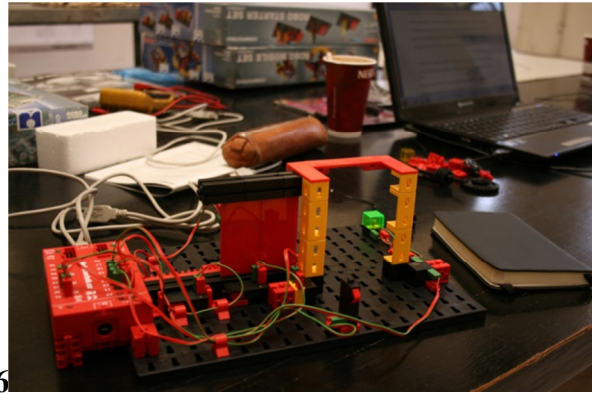
Desde un punto de vista operacional, explica que la eficacia con que la mente logra interpretar mensajes de nuestro entorno, depende precisamente de la posibilidad de crear modelos, memorizarlos e identificarlos cuando su uso sea requerido. Consistentemente, nos advierte que para provocar innovación 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 , 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.



25

25 Modelo a escala de un robot móvil autónomo.



26

26 Modelo a escala de una puerta corredera automática accionada mediante barrera de luz.

Es aquí donde se origina el conflicto entre el uso de maquetas y modelos. En la asignatura *Métodos Computacionales en Arquitectura* los estudiantes ensamblan y programan modelos físicos simples de sistemas de control automático y robótica móvil autónoma, siguiendo en forma autónoma instrucciones de manuales (fig. 25 y 26). El objetivo final es contribuir al Perfil del Egresado con competencias específicas tales como:

a._ Dominar y aplicar conocimientos científico–tecnológicos avanzados para el diseño, evaluación y desarrollo del hábitat construido.

b._ Construir un activo diálogo interdisciplinar vinculando de modo indisoluble la creatividad e innovación arquitectónica con las ciencias de la ingeniería.

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.

BIBLIOGRAFÍA

Addis, Bill. *Building: 3000 Years of Design Engineering and Construction*. London: Phaidon Press, 2007.

Aguiló, Miguel. *Qué Significa Construir : Claves Conceptuales De La Ingeniería Civil* [in Spanish]. Ingeniería. Madrid: Abada, 2013.

Alberti, Leon Battista. *De Re Aedificatoria*. Madrid: Ediciones Akal, 1991.

Blundell Jones, Peter. *Modelos De La Arquitectura Moderna : Monografías De Edificios Ejemplares. Volumen I, 1920-1940* [in Spanish]. Translated by María Teresa Valcarce and Roberto Osuna. Estudios Universitarios De Arquitectura; 21. edited by Jorge Sainz Barcelona: Editorial Reverté, 2011. 2002. Modern Architecture Through case studies, Elsevier, Kidlington.

Briggs, Martin S. "Architectural Models-Ii." *The Burlington Magazine for Connoisseurs* Vol. 54, no. No. 314 (1929 (Mayo)): p. 245-52.

de Bono, Edward. *El Pensamiento Lateral: Manual De Creatividad*. Buenos Aires, Argentina: Paidós, 1991.

Harris, Harry G., and Gajanan M. Sabnis. *Structural Modeling and Experimental Techniques* [in English]. Boca Raton: CRC Press, 1999.

Kuipers, Benjamin. *Qualitative Reasoning : Modeling and Simulation with Incomplete Knowledge* [in English]. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1994.

Mark, Robert, ed. *Tecnología Arquitectónica Hasta La Revolución Científica: Arte Y Estructura De Las Grandes Construcciones*, Textos De Arquitectura. Madrid: Akal, 2002.

Mayer, Jannie. "La Collection De Maquettes De Charpentes Du Centre De Recherche Sur Les Monuments Historiques." In *Les Charpentes Du Xie Au Xixe Siècle : Typologie Et Évolution En France Du Nord Et En Belgique*, edited by AAVV. Cahiers Du Patrimoine (Paris, France), 62. . Paris: Monum, Éditions du Patrimoine, 2002.

Nervi, Pier Luigi. *Scienza O Arte Del Costruire? Caratteristiche E Possibilità Del Cemento Armato*. 7^a ed. Milano: Citta Studi Edizioni, 2000.

Pallasmaa, Juhani. *La Mano Que Piensa: Sabiduría Existencial Y Corporal En La Arquitectura*. Translated by Moisés Puente. Barcelona: Gustavo Gili, 2012. 2009, *The Thinking Hand. Existential and Embodied Wisdom in Architecture*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd.

Pólya, György. *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method*. Princeton, USA: Princeton University Press, 1945.

Schuring, Dieterich J., and Richard I. Emori. *Scale Models in Engineering : Fundamentals and Applications* [in English]. Toronto: Pergamon Press, 1977.

Smith, Albert C. *Architectural Model as Machine. A New View of Models from Antiquity to the Present Day*. Oxford: Architectural Press, 2004.

Technology, Massachusetts Institute of, Keto Soosaar, and Peter Jan Pahl. *Structural Models for Architectural and Engineering Education*. Research Report R64-03. Cambridge, Massachusetts 1963.

Úbeda, Marta. *La Maqueta Como Experiencia Del Espacio Arquitectónico*. Arquitectura Y Urbanismo; 42. Valladolid: Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial de la Universidad de Valladolid, 2002.

Vitruvio Polión, Marco. *Los Diez Libros De Arquitectura* [in Spanish]. Madrid: Akal, 1992.

Zerbst, Rainer. *Gaudí: 1852-1926: Antoni Gaudí I Cornet: Una Vida Dedicada a La Arquitectura* [in Spanish]. Koln: Benedikt Taschen, 1991.

Fotografía Valeska Cirano