

Reseña sobre la enseñanza de las estructuras: Base para una metodología de aprendizaje

TATIANA PÁEZ ITURRALDE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad de Cuenca (Ecuador)

Recibido: 20 de Marzo de 2015
Aceptado: 1 de Abril de 2015

Resumen:

El objetivo de este artículo es presentar una reseña sobre la enseñanza de las estructuras como base para un estudio más profundo, una propuesta de metodología de aprendizaje de las estructuras en la carrera de Arquitectura; el estudio presenta el resultado de una revisión de bibliografía sobre la historia de la teoría de las estructuras, bibliografía dirigida a arquitectos, en la cual se revisaron la forma de presentar la información (gráficos, profundidad cálculos, clasificación de estructuras, referencia a ejemplos reales) y una revisión de tablas de contenidos, la última parte consta de una exploración sobre artículos e investigaciones científicas realizadas en universidades de América. Como conclusión: una variedad de aproximaciones con una visión constante, el de transmitir a estudiantes de arquitectura o profesionales la noción de estructuras de manera visual y con la utilización de modelos.

Palabras clave: Enseñanza, estructuras, arquitectura, aprendizaje.

Abstract:

The aim of this article is to present a review on the teaching of the structures as deeper basis for a study, a proposal for a methodology for learning of structures in the career of architecture; the study presents the results of a review of literature on the history of the theory of structures, bibliography aimed at architects, in which we reviewed the way of presenting the information (graphics, depth calculations, classification of structures, reference to real-life examples) and a review of tables of contents, the last part consists of an exploration on articles and scientific research conducted in universities in America. Conclusion: a variety of approaches with a constant vision, the architecture students or professionals convey the notion of Visual structures and with the use of models.

Keywords: Teaching, structures, architecture, learning.

INTRODUCCIÓN

La necesidad del cambio en que la ciencia de las estructuras es enseñada en las escuelas de arquitectura ha emergido hace tiempo. El primer indicio orientador hacia esta transformación se inicia con la insatisfacción de percibir que la metodología se orientaba casi exclusivamente a la ingeniería.

En el estudio de las estructuras diversas tendencias han marcado un hito importante. Cabe destacar un nuevo acercamiento al uso de la visualización empleando modelos físicos y estática gráfica, software de modelado, al igual, que un acercamiento cualitativo inicializado por Mario Salvadori, en la década de los sesenta, que continúa hasta hoy con libros como el de Fuller Moore e investigaciones que crean nuevas herramientas análogas o digitales para entender las estructuras.

Las limitaciones de una instrucción basada en la ingeniería han sido reconocidas a través del tiempo. Como prueba, el gran número de publicaciones con nombres como: "Estructura para arquitectos", "Las estructuras y la arquitectura", etc.; son ejemplos de los intentos de asumir la responsabilidad académica de la formación del arquitecto por similares profesionales de la construcción.

En el caso de las carreras o escuelas de arquitectura, el hecho de resumir en un curso o dos, diversos contenidos, por lo general, resulta en una simplificación del estudio de las estructuras, en donde solo se revisa ciertos elementos básicos (columnas, vigas y losas) y a revisión de códigos. Las desventajas de esta forma de dar las estructuras debería ser evidente: no se producen arquitectos capaces de diseñar estructuras, ni el conocimiento impartido es lo suficientemente general como para proveer a los arquitectos del conocimiento básico sobre sistemas de estructuras, su morfología y comportamiento.

El artículo tiene como objetivo hacer una reseña sobre diferentes formas de enseñar las estructuras a arquitectos. La investigación realizada está dividida en tres partes. La primera presenta la metodología y material bibliográfico usado para realizar la reseña. La segunda parte exhibe el análisis de la información y por último se presentan las conclusiones del estudio realizado.

1. METODOLOGIA Y MATERIALES

La metodología usada ha sido el contrastar la literatura disponible sobre el tema, creando matrices comparativas de contenidos. Se ha dividido a la bibliografía en tres grupos:

- Bibliografía sobre Historia de las Estructuras: se usaron para resumir el entendimiento de las estructuras a través del tiempo son las siguientes: Ver Referencias bibliográficas Grupo 1. Historia de Teoría de las Estructuras.
- Bibliografía con relación a la Arquitectura y las Estructuras. Ver Referencias bibliográficas Grupo 2. En este estado se realizaron matriz comparativa sobre tablas de contenido y manera de presentar la información en lo que se refiere a cálculos, gráficos o esquemas, y la referencia a ejemplos.

- Investigaciones sobre la enseñanza/ entendimiento de las estructuras: métodos, técnicas, etc. Ver Grupo 3. Investigaciones Científicas y Académicas.

Una vez clasificada la bibliografía se han realizado resúmenes sobre los temas y puntos en común de cada referencia, y se ha dividido las sinopsis en tres etapas o subtítulos que se desarrollan en la siguiente parte.

- Historia de la teoría de las estructuras
- Revisión de libros de estructuras para arquitectos
- Enseñanza de estructuras para arquitectos. Investigaciones científicas y académicas.

2. ENTENDIENDO LAS ESTRUCTURAS A TRAVÉS DEL TIEMPO

2.1. HISTORIA DE LA TEORÍA

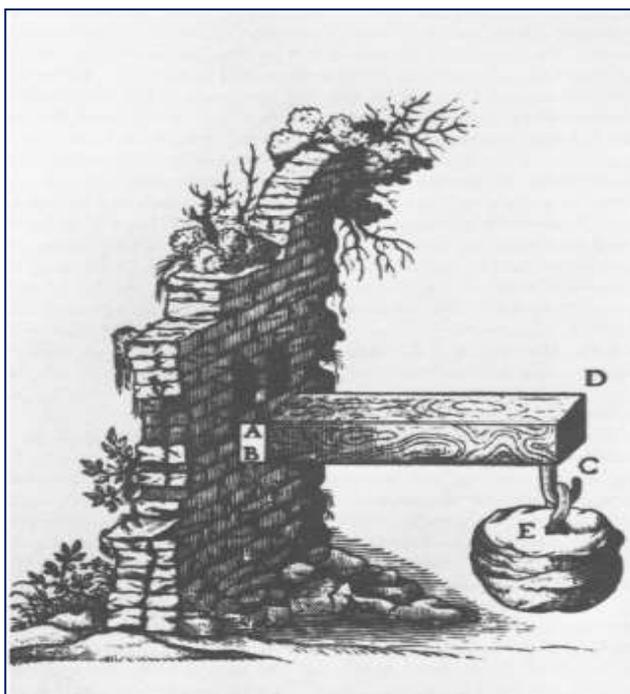


Figura 1. Galileo Galilei, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, págs. 218-219

El uso del método científico para el abordaje de fenómenos físicos es reciente. En la antigüedad, las explicaciones mágicas o métodos empíricos eran utilizados como formas aclaratorias de las ciencias. Sin embargo, estas conceptualizaciones no proveían de una información de tipo predecible, y eso es lo que en el estudio de estructuras se

necesita. La idea de la lógica y explicaciones racionales comenzó con los filósofos griegos Platón y Aristóteles. (Millais, 2005)

En el renacimiento muchos artistas y estudiosos trataron de contribuir al entendimiento de las estructuras. Leonardo da Vinci en 1480 comenzó a darse cuenta de que había la necesidad de un entendimiento físico de los materiales que usaba. Realizó varios experimentos, no obstante nunca publicó sus hallazgos, y sus sucesores no pudieron ampliar o extender sus estudios.

En el siglo XVI Andrea Palladio usó las primeras cerchas en la construcción de puentes y techos de edificaciones. Sin embargo, sus diseños no tenían como base un análisis racional. En su obra, Palladio expresaba que para su dimensionamiento y concepción no es posible establecer reglas ciertas y determinadas. (Palladio, 2008).

Al final del Siglo XV Leonardo da Vinci sabía exactamente cómo trabajaba una viga; el físico Galileo Galilei, en cambio, tenía un entendimiento errado de las mismas; pensaba que una viga en volado, bajo la acción de cargas rotaba alrededor del filo de su superficie inferior. Leonardo da Vinci sabía que esta misma viga tiende a rotar alrededor de un eje ubicado en la mitad entre su superficie inferior y superior (Salvadori, 1980). A pesar de los hallazgos, sus resultados no fueron usados sino hasta comienzos del Siglo XIX por el matemático francés Navier (Salvadori, 1980).

Edme Mariotte y Robert Hooke realizaron estudios independientes sobre la elasticidad de los materiales, esenciales para el entendimiento del comportamiento estructural. Hooke las publicó en 1678 como *Ut tensio sic vis* (como la fuerza es la tensión); ahora conocido como la Ley de Hooke. Mariotte publicó sus resultados en 1680, y aunque no llegó a un entendimiento correcto, gracias a sus estudios se desarrolló el concepto de eje neutro, al observar que unas fibras de las vigas se estiraban y otras se acortaban, con lo que definió como frontera la profundidad media de la viga (Jaramillo, 2014).

Los conceptos del calculo diferencial eran necesarios para el entendimiento de la resistencia de una viga, hecho que se logró con los estudios de Isaac Newton y el alemán Gottfried Wilhelm Leibniz, quienes desarrollan los calculos en forma independiente y simultaneamente. Sin embargo, ninguno de ellos lo aplicó a la teoria de las estructuras.

Posteriormente, el matemático suizo Leonard Euler puso su interés principal sobre curvas elásticas (Timoshenko, 1983). Una explicación más clara sobre el comportamiento de vigas fue realizada por el ingeniero militar francés Charles Augustin de Coulomb. A finales del siglo XVIII existía ya una teoría matemática que describía el comportamiento de una viga, y podía ser usada para predecir el mismo.

El entendimiento del esfuerzo ocurrió en 1858 con W.J.M. Rankine (Millais, 2005). La falta de conocimientos no fue impedimento para usar vigas en construcciones, dimensionadas simplemente por la experiencia o alguna regla local. En 1826, el matemático francés C.L.M. Navier publicó un sumario de la teoría estructural que existía hasta el momento, anexo con material propio. Estas anotaciones, que Navier formuló sobre la teoria de la elasticidad, fueron la base de la forma moderna de abordar

el diseño estructural y fue considerado como el primer libro sobre análisis de estructuras (Heyman, 2001).

La enseñanza de la ingeniería civil comenzó en Francia con la fundación de la Academie Royale d'Architecture, que enseñaba a ingenieros y arquitectos. En 1672 fue formado el cuerpo ingenieril de la Armada Francesa, en el cual no existían libros, así que el profesor y matemático Bernard de Bélidor escribió varios textos incluyendo el primero sobre ingeniería. De 1747 data la École Des Points et Chaussées, la primera escuela de Ingeniería fundada para ingenieros militares. La primera escuela técnica en Gran Bretaña fue la Academia Militar Real (The Royal Military Academy), fundada en 1741 en Woolwich. Estos eventos, más la industrialización, el uso del acero en fábricas y en rieles de vías de tren, requerían un estudio sobre las cargas que soportarían las estructuras.

En el siglo XIX emerge la teoría moderna del comportamiento estructural, por la necesidad de tener métodos para predecir el comportamiento de los sistemas. Matemáticos, ingenieros y físicos desarrollaron conceptos de teoría estructural durante este siglo. Pero la aplicación de la teoría a proyectos específicos era difícil. A mediados del siglo los experimentos fueron hechos para tener una relación entre las predicciones teóricas y el comportamiento real, la teoría basada en cálculos numéricos se convirtió en la manera de verificar si determinada estructura era la adecuada.

Ingenieros como Robert Stephenson, Isambard Brunel y Gustave Eiffel calculaban sus estructuras a mano. En esta época se producen muchos manuales con fórmulas comunes, tablas de cargas permisibles en losas, columnas y vigas. En nuestros días, estos cálculos son realizados con la ayuda de computadoras. Muchos autores establecen que el conocimiento conceptual de las estructuras es una base para determinar, y sobretodo entender, su comportamiento (Salvadori, 1980).

2.2. REVISIÓN DE LIBROS DE ESTRUCTURAS PARA ARQUITECTOS

La comprensión de las estructuras ha sido un tema tocado por ingenieros civiles de renombre como Mario Salvadori, P.A. Corkill (Structural and Architectural Design, 1963), Eduardo Torroja, Heino Engel... que escribieron libros invaluable en la década de los cincuenta y sesenta, en donde se ve una forma diferente de explicar conceptos y criterios estructurales.

En 1957 se publica el libro *Razón y Ser de los tipos estructurales*, de Eduardo Torroja, un libro en donde Torroja demuestra su habilidad para transmitir conocimiento desde su propia experiencia; unifica conceptos sobre estética, conceptos de construcción, sin dejar de lado la teoría estructural aprendida a través de la práctica, como él mismo declara en su libro, “Vano sería el empeño de quien pretendiese dar con la atinada traza de una estructura, sin haber asimilado hasta la médula de sus huesos, los principios tensionales que rigen todos sus fenómenos resistentes; tan vano como el de un médico que se pusiera a recetar y ordenar el tratamiento de sus enfermos, sin conocer la fisiología del organismo humano” (Torroja, 2010). Este libro ha tenido tres ediciones (1957, 1960, 2007) con varias reimpressiones, y ha sido traducido al inglés con el nombre de *Philosophy of structures*.

Mario Salvadori escribió muchos libros que simplificaban no solo las estructuras sino las matemáticas. Entre los títulos que escribió se encuentran *Math Games for Middle Schools*, *The Art of Construction*, *Why Buildings Stand Up*, *Structural Design in Architecture* y *Structure in Architecture*. El manual que publicó en 1963, junto con Michael Tempel, de Arquitectura e Ingeniería (*Architecture and Engineering. An Illustrated Teacher's Manual on Why Buildings Stand Up*) es uno de los primeros en usar un concepto de una aproximación visual a las estructuras para estudiantes de arquitectura. Actualmente la mayoría de libros y artículos escritos sobre estructuras hacen referencia a su obra.

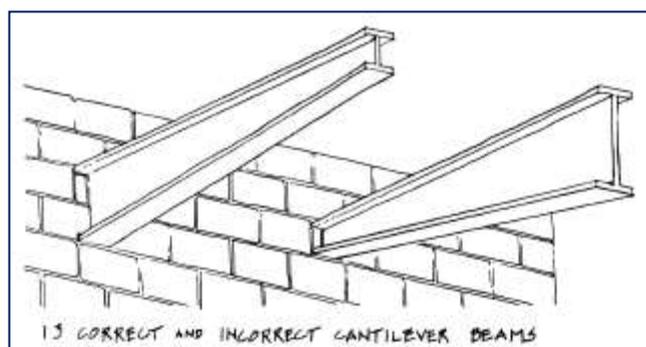


Figura 2. Imagen de viga en volado en el libro *Why buildings stand up* (1980) de Mario Salvadori, pág. 26.

Hablemos a continuación del libro *Sistemas de Estructuras* de Heinrich Engel, cuyo libro fue elegido en 1967 como uno de los diez mejores libros de proyecto en la Feria Internacional de Frankfurt. El autor recibió críticas de ingenieros estructurales por el modo no convencional de transmitir la teoría de las estructuras, a través de un lenguaje gráfico y no de las matemáticas. A pesar de esto el libro ha sido impreso seis veces sin ninguna modificación, y ha sido traducido a diversos idiomas (Engel, 2001).

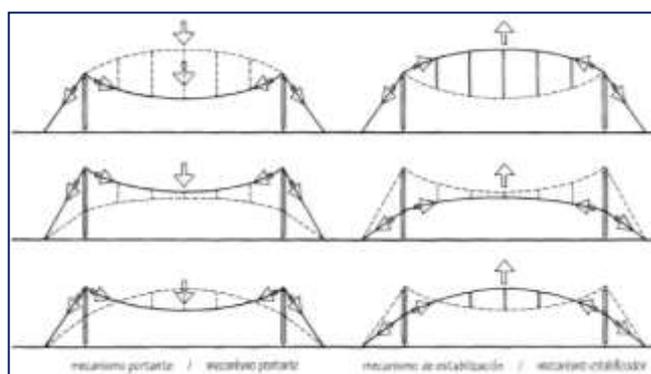


Figura 3. Gráficos del libro *Sistemas de estructuras* de Heino Engel (2001).

Edward Allen revive la forma en la que forma y fuerzas son estudiadas con la manipulación de vectores escalares. El libro que en 1998 publica con W. Zalewski, *Shaping Structures: Statics*, invita a estudiantes a analizar estructuras a través de la generación de formas estructurales simples. Otro libro de Allen es *How buildings work*, publicado por primera vez en el año 1980. En el capítulo diecisiete trata sobre el soporte vertical de los edificios de una manera concreta y accesible (Zalewski, 1998).

El libro *Comprensión de las estructuras en la arquitectura*, del autor Fuller Moore, publicado por primera vez en 1999 (título original *Understanding Structures*), es una compilación de varios acercamientos no cuantitativos sobre estructuras. Se presenta a través de analogías y dibujos, diagramas analíticos e imágenes de modelos físicos. El libro, al igual que el anterior, muestra una separación del uso de expresiones matemáticas y cálculos, antes vistos como la primera o única forma de introducirse a conceptos estructurales. Aunque en la introducción Moore acepta la necesidad del conocimiento matemático de conceptos, el libro presenta una visión bastante gráfica de las estructuras.

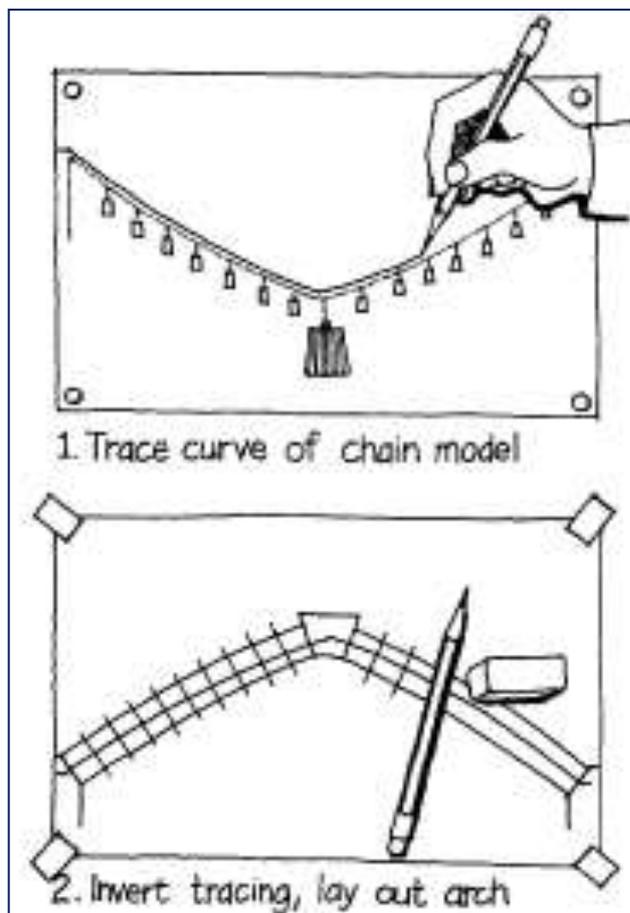


Figura 5. Gráfico de libro *How buildings work* de E. Allen (Edición de 2005).

En la revisión de bibliografía referente a libros escritos para arquitectos sobre estructuras existen varios ejemplos. Se realizó una tabla comparativa de contenidos como forma de presentar los gráficos, analizando si presentaba o no cálculos, y si hacía referencia a ejemplos de los diferentes tipos de estructuras. Además de la clasificación que se realizaba de las estructuras (por tipo de esfuerzo, por materiales, por tipo de estructura...).

Los resultados revelan que los libros revisados muestran dibujos, diagramas, esquemas o tipos de gráficos que ayudan a mostrar y explicar la teoría. Otra forma visual, a través de la cual se presentan los conceptos, es la de mostrar ejemplos reales de estructuras construidas en la actualidad o a lo largo de la historia, para enfatizar a la estructura como componente de las edificaciones.

La mayoría de libros también presentan una introducción a la estática y resistencia de materiales como base para el estudio de las estructuras; incluso libros que regresan a lo básico, con la geometría y la trigonometría (por ejemplo teorema de Pitágoras o funciones trigonométricas). El alcance de los cálculos en los libros revisados es variado: va desde una aproximación meramente cualitativa hasta cálculos profundos de diseño estructural.

La mayoría de libros realiza una clasificación de los contenidos de acuerdo al tipo de estructuras (marcos, funiculares, neumáticos, armaduras, etc.). De la bibliografía revisada varios libros en sus apartados finales tocan el tema de la forma y su relación con la estructura, concepto importante para los arquitectos.

2.3. ENSEÑANZA DE ESTRUCTURAS PARA ARQUITECTOS. INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS.

La enseñanza de las estructuras para arquitectos, en Brasil, ha sido un tema recurrente, especialmente desde el año 1990. Existen varios artículos publicados sobre el tema, y entre los autores, quien más destaca y es citado como referencia es Margarido y el libro de Yoponan Rebello.

Una de las últimas tesis publicadas cuyo aporte resultó una herramienta para la enseñanza de las estructuras, es el trabajo de doctorado de Marco Oliveira, quien culmina su obra con la producción de un modelo para la enseñanza de éstas. Se denomina Mola. Este trabajo es un aporte para la visualización de la estructura mediante modelos, y toma como base libros como el de Engel (2001), y el de Yoponan Rebello (2001). Basa además su estudio en la descripción de modelos del autor Harry G. Harris y Gajanas M. Sabnis, (*Structural modeling and experimental techniques*. 2da edición. 1999).

En los Estados Unidos, y desde la introducción de la computadora personal al comienzo de la década de los ochenta, varios software han sido creados tanto como cursos de auto enseñanza, o como herramientas para el aprendizaje de ciertos cursos de estructuras. En 1993 un equipo del Instituto de Tecnología de Illinois construyó el primer prototipo de un programa interactivo de una viga simple. El programa permitía al usuario mover o aumentar las cargas, o mover la ubicación de los apoyos; y a cada cambio se refrescan

los diagramas de cortante, momentos y deflexión. El trabajo se desarrolló más el proyecto “Structural Workbench”. El proyecto fue completado en 1996 y se construyó un prototipo para un paquete de software multimedia de aprendizaje de los conceptos de las estructuras de Mahjoub Elnimeiri.

Un experimento de seis años usando un método no convencional de enseñar conceptos avanzados de ingeniería estructural a estudiantes de arquitectura se realizó en la Universidad de California, en Berkeley, y como resultado se presenta un modelo para enseñar estructuras. El artículo finaliza con un prototipo de currículo que ha nacido de este modelo de enseñanza¹.



Figura 4. Imagen del Kit MOLA. Fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/627138/mola-kit-estructural-una-nueva-manera-de-aprender-sobre-estructuras>

En la conferencia anual de ACADIA, en 1995, los autores Piccolotto y Rio presentaron un artículo llamado “*Structural Design Education with Computers*”. El artículo presentó un programa de simulación de estructuras llamado CASDET (Piccolotto, 1995). En 1996 Chris Luebke publicó en Internet charlas sobre un curso de estructuras en la Universidad de Oregon. Asimismo, Shabin Vassigh desarrolló un prototipo para un software multimedia que utilizaba gráficos, animaciones y sonidos para demostrar los principios estructurales (Vassigh, 1999).

Samir Abdelmawla, del Instituto de Tecnología de Illinois, en el año 2000 presentó en el congreso de ACADIA una investigación denominada Structural Gizmos, que propone un acercamiento visual para entender las estructuras a través de una serie de modelos interactivos de aprendizaje o gizmos. El estudio esperaba incrementar la intuición visual de los estudiantes y por lo tanto la comprensión de los conceptos estructurales más los parámetros que afectan a un diseño.

En Argentina se ha creado el grupo Praxis, formado por un grupo de docentes de estructuras de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Córdoba. En

¹ Volume 48, Issue 1, 1994 (r. Gary Black). Journal of Architectural Education.

su página web se encuentran varios artículos de investigación sobre la práctica de enseñanza-aprendizaje de estructuras. El Arq. Daniel Moisset ha escrito numerosas obras sobre los temas de su especialidad, y su libro más conocido es *Intuición y Razonamiento en el Diseño Estructural*, que se usa como texto en muchas universidades.

Iniciativas como la de ICSA (Congreso Internacional de Estructuras y Arquitectura), cuya primeras conferencias se realizaron en el 2010, resultan de la necesidad de estimular la invención y creatividad en el diseño de estructuras arquitectónicas. Las conferencias se realizan cada tres años, actualmente con base en Portugal. Simultáneamente se realiza la publicación de las investigaciones aceptadas alrededor del mundo, con más de 250 artículos sobre el tema de las estructuras y la arquitectura.

Libros o documentos escritos por profesores universitarios, como por ejemplo, en Colombia, el documento de trabajo *Anatomía y Fisiología de la Edificación: Una manera de entender los edificios para su diseño y construcción* del arquitecto Olavo Escorcia, en donde señala su preocupación por la carencia de un libro que de manera sencilla, pero concisa y clara, explicara a quienes se inician en el "arte de diseñar y construir edificios" cuál es el objeto de los estudios de arquitectura (Escorcia, 2008). En Ecuador, en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca, el ingeniero Hernán Rodas, profesor de la cátedra de estructuras por más de treinta años, publicó el libro *Diseño Estructural I. Apuntes de clase*, en donde con cálculos profundos da criterios para el pre-diseño de estructuras.

En el Ecuador la enseñanza de estructuras en los programas de arquitectura parecen no tener variaciones significativas. La formación se da en dos ciclos intermedios, con una intensidad horaria de cuatro horas por semana. Esto sucede con ligeras variaciones en las Universidades de Cuenca, San Francisco de Quito y Universidad de Guayaquil. El desarrollo académico de los programas recae en docentes con formación en Ingeniería Civil.

3. CONCLUSIONES

1. Los conceptos y categorías científicas se estructuran en una evolución temporal histórica, que van de los elementos más simples a los más complejos. Por esta razón, es correcto pensar que los conceptos de estructura actuales están en procesos de desarrollo y que muy probablemente en los avance de la civilización éstos se incrementarán, superando los procesos y realidades actuales.

2. Estrategias novedosas en la enseñanza de estructuras constituyen algunas alternativas académicas. Por ejemplo, las estructuras mediante modelos, las estrategias interactivas, la creación de un software multimedia de aprendizaje de los conceptos de las estructuras, la simulación de estructuras con sistemas de software multimedia utilizando gráficos, animaciones y sonidos para demostrar los principios estructurales... Todas estas son modalidades que pueden ser la base para que la Universidad de Cuenca pueda crear su propio sistema de enseñanza, más novedoso y creativo.

3. Los programas de intercambio entre universidades podrán ser una estrategia para el mejoramiento de la enseñanza de las estructuras, más la creación-descubrimiento o invención de nuevas opciones de metodología para la enseñanza de las estructuras.

4. Las tesis en la línea de estudio y análisis de las estructuras son pertinentes, porque además de sugerir alternativas para su enseñanza, crean debates sobre los dilemas de construcción de las estructuras ,y vislumbran nuevas posibilidades de hacer, construir o crear.

BIBLIOGRAFÍA

Grupo 1. Historia de la teoría de las estructuras

Heyman, J. (2001). *Historia de la ciencia de las estructuras*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Jaramillo, J. (18 de Septiembre de 2014). *Universidad Nacional de Colombia. Sede en Manizales*. Obtenido de Orígenes de la Teoría de la Elasticidad.

Kurrer, K.-E. (2008). *The History of the Theory of Structures: From Arch Analysis to Computational Mechanics*. Berlin: Ernst & Sohn.

Millais, M. (2005). *Building structures: From Concepts to Design* (2da ed.). Nueva York: Spon Press.

Palladio, A. (2008). *Los cuatro libros de la arquitectura de Andrea Palladio*. Madrid: Akal.

Rebello, Y. C. (2000). *A concepção estrutural e a Arquitetura* Sao Paulo.

Salvadori, M. (1980). *Why buildings stand up. The strength of architecture*. Nueva York: W. W. Norton & Company.

Timoshenko, S. (1983). *History of Strength of Materials*. Courier Dover Publications.

Zalewski, W. A. (1998). *Shaping Structures: Statics*. Nueva York: John Wiley and Sons.

Grupo 2. Bibliografía de estructuras para arquitectos

Allen, E. (2005). *How Buildings Work. The Natural Order of Architecture*. Nueva York: Oxford University Press.

Engel, H. (2001). *Sistemas de estructuras*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA.

Heyman, J. (2011). *Teoría básica de estructuras*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Millais, M. (2005). *Building structures: From Concepts to Design (2da ed.)*. Nueva York: Spon Press.

Moisset, D. (2000). *Intuición y razonamiento en el diseño estructural*. Córdoba: Ingreso.

Moore, F. (2005). *Compresión de las estructuras en arquitectura*. México: McGraw-Hill Companies.

Rebello, Y. C. (2000). *A concepção estrutural e a Arquitetura*. Sao Paulo.

Salvadori, M. (1980). *Why buildings stand up. The strength of architecture*. Nueva York: W. W. Norton & Company.

Torroja, E. (2010). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Zalewski, W. A. (1998). *Shaping Structures: Statics*. Nueva York: John Wiley and Sons.

Bibliografía con la cual se revisó tablas de contenidos es la siguiente:

- Structures for Architects, 1994.
- Structure and Architecture, 2001.
- Why Buildings Fall Down: Why Structures Fail, 2002.
- Why Buildings Stand Up: The Strength of Architecture, 2002.
- Structures: Or Why Things Don't Fall Down, 2003.
- Basic Structures for Engineers and Architects, 2005.
- Structural Design: A Practical Guide for Architects, 2007.
- Structural Engineering for Architects: A Handbook 2008.
- Understanding Structures: Analysis, Materials, Design, 2009.
- Function of Form, 2009.
- Form and Forces: Designing Efficient, Expressive Structures, 2009
- How Structures Work: Design and Behaviour from Bridges to Buildings, 2009.
- Simplified Engineering for Architects and Builders, 2010.
- Basic Structures, 2011.
- The Structural Basis of Architecture, 2011.
- Structure for Architects: A Primer, 2012.
- Building Structures Illustrated: Patterns, Systems, and Design, 2013.

Grupo 3. Bibliografía de investigaciones científicas y académicas

Ballarotti, C. (2007). Aprendizado Dos Conceitos Básicos De Sistemas Estruturais Em Cursos De Arquitetura E Engenharia Numa Perspectiva Fenomenográfica. *Vi Encontro Tecnológico Da Engenharia Civil E Arquitetura* (pág. 11). Sao Paulo: ENTECA.

Balmond, C. (2007). *Estrategias de diseño estructural en la arquitectura contemporanea*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Black, G. (1994). A Model for Teaching Structures: Finite Element Analysis in Architectural Education. *Journal of Achitectrual Education*, 48(1), 10.

Escorcia, O. (2008). *Anatomía y Fisiología de las Edificaciones*. Documento de trabajo. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Espí, M. V. (1997). *Sobre la enseñanza y la práctica de la teoría de estructuras*. Madrid: Informes de la Construcción.

Jaramillo, J. (18 de Septiembre de 2014). *Universidad Nacional de Colombia. Sede en Manizales*. Obtenido de Orígenes de la Teoría de la Elasticidad: [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%201/ORI GENES%20DE%20LA%20TEORIA%20DE%20LA%20ELASTICIDAD%20.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%201/ORI%20GENES%20DE%20LA%20TEORIA%20DE%20LA%20ELASTICIDAD%20.htm)

Mokhaberi, G. (2010). *Structural and Technological Principles within Architecture Education*. Gazimagusa: Eastern Mediterranean University.

N. A. T. (4 de Julio de 2014). *Una Reflexión Sobre la Enseñanza de las Estructuras de Hormigón Armado y sus Reglamentos en la Carrera de Arquitectura*. Recuperado el 4 de Julio de 2014, de [http://www.herrera.unt.edu.ar/revistacet/anterior es/Nro29/PDF/N29Doc02.pdf](http://www.herrera.unt.edu.ar/revistacet/anterior%20es/Nro29/PDF/N29Doc02.pdf)

Oliveira, M. S. (2009). *Modelo estrutural qualitativo para pré-avaliação do comportamento de estruturas metálicas*. Ouro Preto: UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS.

Rodas, H. (2014). *Estrucuturas I. Apuntes de Clase*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Rodrigues, C. S. (2010). *Uma Aplicação da Realidade Virtual para o Ensino de Modelagem dos Sistemas*. Iguazu : Universidade Iguazu.

Rodrigues, P. F. (s.f.). *Aspectos do Ensino de Sistemas Estruturais nos cursos de Formacao de Arquitetos uma Estrutura para a Faculdade de Arquitetura da UFRJ*.

Sánchez, N. (2006). *Criterios Estructurales para la enseñanza a los alumnos de arquitectura*. Lima.

Tianjian Ji, A. B. (s.f.). *Seeing and Touching. Structural Concepts.*, (pág. Taylor & Francis).

Vassigh, S. (1999). Structures E-book. *ACADA Quartely, Association for COmputer Aided Design*, 18(3), 14- 15.