

## Eco diseño, una tradición estructural

Ana Angélica López Ulloa y Fabián  
Santiago López Ulloa (\*)

Actas de Diseño (2022, julio),  
Vol. 40, pp. 169-172. ISSN 1850-2032.  
Fecha de recepción: junio 2018  
Fecha de aceptación: diciembre 2019  
Versión final: julio 2022

**Resumen:** Aun con el auge de la Tecnología, Robótica, Materiales Inteligentes e Informática, con los cuales se generan nuevos conocimientos y procesos de diseño, existe una tradición estructural que ha permanecido en el tiempo, el diseño de estructuras de fábrica. Este tipo de estructuras fue utilizado para realizar ciertas bóvedas y cúpulas en edificaciones patrimoniales del Centro Histórico de Quito, las cuales en su mayoría se han mantenido con ligeras afectaciones, salvo contadas excepciones que no han resistido a los movimientos sísmicos propios de la región. El presente artículo se centra en pensar en el proyecto de diseño con la utilización de estructuras de fábrica, sus resultados y el impacto en el ecosistema, apoyados en enfoques como el paradigma de la complejidad.

**Palabras clave:** Eco Diseño - estructuras de fábrica - diseño - espacio - ciclo de vida - proyecto - ecosistema - edificaciones patrimoniales - bóvedas - cúpulas

[Resúmenes en inglés y portugués y currículum en p. 172]

### Introducción

El Centro Histórico de Quito en Ecuador, tiene varias edificaciones coloniales, algunas de las cuales presentan en su edificación el manejo de estructuras de fábrica.

Estas edificaciones forman parte de la declaratoria de Patrimonio de la Humanidad, título que ostenta Quito desde 1978, debido a sus características únicas. Este tipo de estructuras de fábrica, a lo largo de la historia, dominaron muchas civilizaciones hasta entrado el siglo XX. Con la aparición de nuevos materiales como el acero y el hormigón armado, a principios del siglo XX, desapareció su carácter hegemónico (Heyman, 1995).

En 1919, no solamente se inclina el trabajo estructural al manejo de nuevos materiales, sino que gracias al progreso tecnológico, la elaboración formal, técnica y tecnológica de las estructuras se vuelve infinita, con sistemas cada vez más sofisticados, y se proponen un sinnúmero de alternativas para resolver cualquier proyecto estructural que se requiera.

Pero volviendo a Quito, contamos con varios ejemplos de arcos, bóvedas y cúpulas de fábrica, entre ellos la cúpula ovalada de la Nave Central de la Iglesia del Monasterio de Santa Clara, un singular testimonio de este tipo de estructuras que ha permanecido en el tiempo. A pesar de encontrarse en una zona sísmica, la cúpula no ha sufrido mayores afectaciones, el ladrillo y los morteros con los cuales se presume fue edificada siguen como un referente de esta estructura cuya luz se inscribe en un rectángulo de 8 por 15 metros, siendo fiel testimonio de perdurabilidad, manteniendo su esencia apegada únicamente a las condiciones naturales y de los materiales que la constituyen, en estrecha relación con el medio ambiente. El aporte al cuidado del ecosistema con este tipo de estructuras se presenta primordialmente al no generar procesos constructivos que fomentan infinidad de procesos industriales contaminantes, y no se piensa en el mismo como un objeto estructural con obsolescencia

programada, con un ciclo de vida corto o con propuestas limitadas al esteticismo.

Por el contrario, en las estructuras de fábrica se reflexiona en cómo se solucionan aspectos de aireación, iluminación o de regulación de temperatura, basados en principios constructivos sobre la base del conocimiento de los materiales, su disposición y su comportamiento físico y mecánico, sin el uso de complicados sistemas industriales o contaminantes, que terminan afectando al ecosistema. Con el conocimiento de este tipo de sistemas constructivos se puede comprender, interesar, apreciar y valorar estas estructuras, las cuales cuentan con características no solamente arquitectónicas o como una obra civil, sino con una concepción y desarrollo más amplio, en el cual principalmente se ha valorizado el cuidado al medio ambiente, a través de una estructura que contiene elementos de ecodiseño.

Por otro lado, el interés en este tipo de estructuras no solamente se centra en el trabajo del arquitecto, ingeniero, diseñador, sino en profesionales como restauradores, historiadores, filósofos y público en general.

### Entorno Histórico

La Ciudad de San Francisco de Quito es la capital de la República del Ecuador y de la provincia de Pichincha. Se encuentra ubicada en la latitud 0°13'07"S, longitud 78°30'35" O, y una altitud de 2850m sobre el nivel del mar, en la parte centro norte del Ecuador, en la región sierra, en el hemisferio sur del continente americano.

En Quito habitan 2.644.145 de personas, en cuatro zonas: el norte con la parroquias de Carcelén, El Condado, Belisario Quevedo y Mariscal Sucre, el centro, compuesto por el Centro Histórico, San Juan e Itchimbia, al sur Magdalena, Chilibulo y Puengasi, y la parte meridional con Guamaní, Turumbamba y los Valles.

El Centro Histórico de Quito fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad, por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el 8 de septiembre de 1978. Este se encuentra conformado por varios edificios religiosos, entre los que destacan los conventos de: La Compañía de Jesús, San Francisco, Santo Domingo, La Merced, San Agustín y los monasterios de Santa Clara, El Carmen Bajo, El Carmen Alto, de La Concepción, de Santa Catalina y las iglesias de La Catedral y El Sagrario.

El Monasterio de Santa Clara fue fundado el 18 de mayo de 1596 por el Reverendo Fray Juan de Cáceres, ministro provincial de la Orden de San Francisco, en las casas compradas a los señores Alonso de Aguilar, Francisco López y Francisco del Castillo, ubicadas en la calle Cuenca y Rocafuerte. La iglesia en ese momento estuvo habitada por las hijas y nietas de los primeros conquistadores como monjas, llegando a ser un total de 70 religiosas (Gómez, 1988).

El proyecto y la construcción del Monasterio fue realizado por Fray Antonio Rodríguez, quiteño, arquitecto, religioso franciscano, el cual fue uno de los más destacados arquitectos sudamericanos de la época. El monasterio está conformado por la iglesia y varios claustros, entre los que se destacan el de San Francisco de Asís, el de la Pila, el del Noviciado, el de la Virgen del Amparo, entre otros. Introduce en la iglesia muchos elementos innovadores como la cúpula ovalada, la cúpula octogonal, los arcos rebajados, etc. Constituyendo una de las más interesantes estructuras de fábrica realizadas en Quito (Echeverría, 1993) y, probablemente, la cúpula ovalada con mayores dimensiones en Ecuador y Sudamérica.

## Sistema estructural de fábrica y las nuevas tecnologías

### Materiales

En las estructuras de fábrica se trabaja con sistemas de materiales que utilizan: tierra, piedra, arena, cal, madera, ladrillo, adobe, algunos metales y fibras vegetales. Elementos naturales, apenas procesados y de gran perdurabilidad, mientras que en las actuales construcciones el *boom* de la tecnología ha marcado una nueva forma de hacer, cada vez más contaminante y efímera.

Se ha pasado de la edad de piedra, a la del bronce y la del hierro, para vivir actualmente en la del plástico. Hoy predominan los materiales mixtos, mezclados, inteligentes, híbridos y compuestos, como los polímeros termoplásticos, copolímeros, polímeros termoendurecibles, elastómeros, laminados, metálicos, fibra de vidrio reforzada (GLARE), polímeros cromogénicos, espumas de células rígidas MDI (Difenilmetano isocianato), espuma sin freón, nuevos geles espumas y metales espumados (López, 2013) Cada material posee características propias como dureza, tensión, compresión, plasticidad, flexibilidad, ductilidad, maleabilidad, así como en los mismos se producen efectos que regulan su comportamiento producto del me-

dio ambiente: la carga, temperatura, atmósfera, corrosión o radiación. Entre los más utilizados en estructuras se encuentran: madera, metal, vidrio, fibras, plástico, entre otros. Se cuenta fundamentalmente con cuatro tipos de materiales: metálicos, cerámicos, polímeros y materiales compuestos (López, 2002).

### Estructuras de fábrica

Son consideradas como estructuras básicas de fábrica ciertos arcos, cúpulas, bóvedas, torres, puentes, entre otras.

Según Huerta, la fábrica es un material unilateral: un conjunto de piedras (o ladrillos), recibidas con un mortero pobre o sin mortero en absoluto, puede soportar con facilidad esfuerzos de compresión, pero es incapaz de resistir tracciones (Heyman, 1995).

En el Centro Histórico de Quito, existen varios templos religiosos cuya estructura está compuesta por cúpulas, bóvedas y arcos majestuosos, construidos con estructuras de fábrica, como se puede observar en las iglesias de La Merced, el Monasterio de Santa Clara, El Sagrario de la Catedral, Santo Domingo, la capilla de Cantuña, entre muchas otras.

La nave central de la Iglesia del Monasterio de Santa Clara está conformada por una serie de bóvedas y cúpulas de fábrica, principalmente realizada con ladrillo y piedra, las cuales no necesariamente pudieron haber requerido encofrado tanto por su estructura como por su conformación geométrica.

La cúpula oval de la Iglesia del Monasterio de Santa Clara, por sus dimensiones y forma, podría ser considerada única en Ecuador y Sudamérica, debido a su gran dimensión. En cuanto a su comportamiento estructural, estas edificaciones fueron construidas por un material unilateral, el cual soporta compresiones pero no tracciones, lo que hace que se produzcan invariablemente grietas, producto de pequeños movimientos que se producen en el entorno de todas las edificaciones.

Como señala Santiago Huerta: “Es precisamente la capacidad de formar grietas lo que hace que las estructuras de fábrica sean tan adaptables, y capaces de encontrar siempre situaciones de equilibrio a lo largo de los siglos (catedrales góticas) o milenios (el Partenón de Roma)”. (Heyman, 1995)

Las estructuras de fábrica no cuentan en su construcción con acero u hormigón armado. Por lo tanto, su manejo estructural es distinto; es decir, no se puede valorar el peligro estructural de un sistema de fábrica ante la presencia de grietas ya que, como se ha señalado, la capacidad de formar grietas hace que las estructuras de fábrica sean adaptables al entorno en los cuales se encuentran. Curiosamente, la ciudad de Quito está ubicada en una zona sísmica y las estructuras de fábrica localizadas en esta ciudad han demostrado su alta resistencia a la presencia de factores naturales como los sismos.

Este tipo de sistemas de construcción requieren para su análisis y mejor entendimiento de la Teoría de las Estructuras y en esta el Análisis Límite o plástico, Teorema de Seguridad, y el estudio de la Forma Geométrica, fundamentalmente analizadas con tres tipos de ecuaciones:

- Equilibrio estático de la estructura del edificio.
- Ecuaciones de tensiones internas.
- La ley de tensión/deformación del material.

Huerta sostiene que en las estructuras de fábrica se refleja un comportamiento unilateral y que es fácilmente observable, con frecuencia, algunas grietas, lo que hace que se contemple una primera modificación de la teoría de estructuras convencional (Heyman, 1995).

En el Ecuador los procesos constructivos asociados a diversas técnicas vernáculas han llegado hasta nuestros días a través de las culturas autóctonas y a través de la colonización española, que trajo consigo técnicas parecidas, fusionándose e integrándose más allá del simple conocimiento de los materiales y su uso, llegando a propuestas arquitectónicas de simbiosis cultural que han logrado perdurar principalmente en la iconografía de algunos templos religiosos, cuyo auge se dio en el período barroco, principalmente en los siglos XVIII y XIX.

## Lo ecológico y lo tecnológico en las estructuras de fábrica

### Aspectos ecológicos

Si bien las estructuras de fábrica han dominado los procesos constructivos desde la edad antigua hasta tiempos modernos, debido al surgimiento de nuevos materiales como el hierro, fundido, el hormigón armado y el acero, que provocó su decadencia, actualmente se va retomando este sistema constructivo.

Entre los factores que destacan para que se trabaje en la actualidad con este sistema constructivo se encuentran fundamentalmente los materiales naturales con los cuales es realizado, así como el proceso que debe seguirse para su construcción.

Este tipo de sistema de construcción puede ser considerado como un ecodiseño, sostenible, debido a que por cientos de años algunas construcciones son el fiel testimonio de perdurabilidad, manteniendo su esencia y naturalidad, apegada únicamente a las condiciones naturales de los materiales que las constituyen, en estrecha relación con el medio ambiente.

Por otro lado, muchas de las culturas en el mundo, al conservar sus antiguas estructuras, contribuyen con la ecología al no generar nuevas construcciones que fomentarían infinidad de procesos industriales contaminantes.

### Aspectos tecnológicos

Las nuevas tecnologías, junto a las telecomunicaciones, han conseguido generar otro sentido de tiempo – espacio y nos adentran en el ciberespacio, mientras que la robótica y la microelectrónica, con la miniaturización, el poder informático y la fabricación asistida por ordenador, desafían las habilidades del diseñador y el mundo objetual material e inmaterial se vuelve ilimitado (López, 2002).

Precisamente por la presencia del ordenador se han desarrollado un sinnúmero de herramientas informáticas que apoyan en el diseño estructural, sobretodo en la obtención de formas que trabajan a compresión en ciertos entornos, con lo cual se puede diseñar actualmente gran cantidad de bóvedas de fábrica.

Una de las herramientas informáticas que pueden apoyar en gran medida en este proceso es *Rhinoceros*, con *Rhino Vault*, con la cual se puede obtener prototipos en mallas tridimensionales con las características propias de las bóvedas de fábrica. En estos prototipos se puede probar los aciertos o errores que se presenten en el diseño, mejorarlo, proponer nuevas formas y, con su validación, construir proyectos reales, que respondan a necesidades actuales. Mientras que para el cálculo estructural se podría trabajar con el programa *Robot Structural Analysis* (Bernabeu, Fuentes, 2015).

Otro proceso tecnológico reciente es la impresión en 3D. Este tipo de impresión se utilizó en sus inicios en maquetas. Por el tiempo y costos de las mismas su utilización ha sido limitada; sin embargo, este tipo de tecnología se ha contemplado utilizarla en la construcción, como señala Vegas, “se ha llegado a una situación en la que hace poco tiempo se empezó a planear la posibilidad de realizar edificios con esta técnica con el fin de realizar formas que de otro modo serían difícilmente ejecutables” (Bernabeu, Fuentes, 2015).

### Las estructuras de fábrica actualmente

A pesar de los avances tecnológicos, apoyados por la Globalización, la Revolución Tecnológica, la Tecnocultura y Tecnociencia en una sociedad posmoderna, en la cual su estructura social e ideológica es cada vez más compleja, y pareciera que sobrepasa el nivel de consumo irrefrenable sin pensar en factores ecológicos, dando extremo valor a las estructuras con elevados componentes esteticistas, curiosamente se ha producido actualmente un repunte de la construcción de bóvedas de fábrica.

Según Vegas, esta tendencia:

Es producto de la sostenibilidad y racionalidad económica y constructiva, temas cuya importancia en el diseño arquitectónico es cada vez mayor. Un ejemplo de ello es el Mapungubwe National Park Interpretative Centre en Sudáfrica, obra de Peter Rich Architects y con el asesoramiento estructural de Michael Ramage, John Ochsendorf y Philippe Block. (Bernabeu, Fuentes, 2015).

### Hacia la complejidad

Las estructuras de fábrica constituyen un elemento fundamental en el Patrimonio de la Humanidad, la Iglesia del Monasterio de Santa Clara en Quito, es un fiel ejemplo de este tipo de estructuras.

Para comprender la importancia de las estructuras de fábrica actualmente partimos del hecho de que estas han

sido construidas con materiales considerados nobles y que respetan al ecosistema.

La sociedad actual ha dado un giro considerable, de respeto y cuidado por el medioambiente. Su conocimiento se envuelve en entender no solamente lo superficial de la forma, la estructura vista únicamente como lo externo, sino un análisis más profundo, más real, entender la importancia que tienen los materiales de la estructura, sus sistemas internos, su funcionamiento, su aspecto externo de belleza y su poca contaminación al medio ambiente, es decir, que se visualice un ecodiseño.

Hoy se torna importante partir de la premisa que en la naturaleza del proceso de diseño no existe linealidad, que el trabajo del arquitecto en solitario tuvo su momento, pero actualmente, para conseguir proyectos de verdadero impacto, que manifiesten características de belleza, alejados de esteticismos, es necesario tener presente valores de conservación, cooperación, pensamiento integrativo, intuitivo, sintético, holístico, complejo, enmarcados en una ecología profunda, con valores éticos, con responsabilidad en el cuidado de las edificaciones y de los factores sustentables.

Proyectos en los que se requiere fundamentalmente la participación desde el inicio del proceso de diseño de un equipo de profesionales, entre los que se encuentran arquitectos, ingenieros, restauradores, interioristas, diseñadores, entre otros expertos.

Por lo que el proceso de diseño de estructuras de fábrica actualmente va de la mano de un equipo de profesionales, los cuales pueden realizar proyectos reales apoyados con un sinnúmero de herramientas intelectuales, tecnológicas y ecológicas, y que para su desarrollo requiere de una serie de relaciones que sobrepasan la simple forma.

Actualmente, comprender, apreciar y valorar el diseño de estructuras de fábrica es importante, para luego proponer la generación de proyectos reales, con estructuras que se mantendrán en el tiempo como experiencias sostenibles para el presente y futuro.

#### Referencias bibliográficas

- Bernabeu, A. Fuentes, P. (2015). *De qué hablamos cuando hablamos de estructuras*. Madrid: Instituto Juan de Herrera
- Echeverría, A. (1993). *Diseño estructural del reforzamiento de la cubierta y muros de la Iglesia del Monasterio de Santa Clara de Quito*. Quito: Instituto Nacional de Patrimonio Cultural
- Gómez, N. (1988). *Fundación del convento de monjas de Santa Clara Quito*. Quito: Instituto Nacional de Patrimonio Cultural
- Heyman, J. (1995). *Teoría, historia y restauración de Estructuras de Fabrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera
- Hide, H. (2015). *Big Data*. Madrid: Fundación Innovación Bankinter.
- López, A. (2002). *Fundamentos para la proyectación de los objetos*. Ambato: CCE

López, A. (2013). *Fundamentos del diseño. Desde la perspectiva de la complejidad*. Ambato: CCE

#### Bibliografía

- Arozamena, C. Pérez, I. Arroyo, A. (2016). *Arte, teoría y tecnología*. Ciudad de México: UAM
- Bernabeu, A. Fuentes, P. (2015). *De qué hablamos cuando hablamos de estructuras*. Madrid: Instituto Juan de Herrera
- Cazadero, M. (1995). *Las revoluciones industriales*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Hide, H. (2015). *Big Data*. Madrid: Fundación Innovación Bankinter.
- Reza, G. (2001). *Teoría de Sistemas*. Ciudad de México: Porrúa
- Truñó, A. (2004). *Construcción de bóvedas tabicadas*. Madrid: Instituto Juan de Herrera

**Abstract:** Even with the rise of Technology, Robotics, Intelligent Materials, Computer Science, with which new knowledge and design processes are generated, there is a structural tradition that has remained over time, the design of factory structures. This type of structure was used to make certain vaults and domes in heritage buildings of the Historic Center of Quito, which mostly have remained with slight effects, except for a few exceptions that have not resisted the seismic movements of the region. This article focuses on thinking about the design project with the use of factory structures, its results and the impact on the ecosystem, supported by approaches such as the paradigm of complexity.

**Keywords:** Eco Design - factory structures - design - space - life cycle - project - ecosystem - heritage buildings - vaults - domes

**Resumo:** Mesmo com a ascensão da Tecnologia, Robótica, Materiais Inteligentes, Ciência da Computação, com que novos processos de conhecimento e design são gerados, há uma tradição estrutural que permaneceu ao longo do tempo, o design das estruturas da fábrica. Este tipo de estrutura foi utilizada para fazer certos cofres e cúpulas em edifícios patrimoniais do Centro Histórico de Quito, que principalmente permaneceram com efeitos leves, exceto por algumas exceções que não resistiram aos movimentos sísmicos da região. Este artigo centra-se em pensar no projeto de projeto com o uso de estruturas de fábrica, seus resultados e o impacto no ecossistema, apoiado por abordagens como o paradigma da complexidade.

**Palavras chave:** Eco Design - estruturas de fábrica - design - espaço - ciclo de vida - projeto - ecossistema - edifícios patrimoniais - abóbadas - cúpulas

(\* ) **Ana Angélica López Ulloa:** Doctora en Diseño. Docente investigadora, Universidad Técnica de Ambato. **Fabián Santiago López Ulloa:** Doctor Arquitecto, Universidad Técnica de Ambato.