



“EL DISEÑO ESTRUCTURAL Y SU CONTRIBUCIÓN EN LA ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA”

Luís Velastegui – Cáceres

Universidad Nacional de
Chimborazo, ECUADOR
la.velastegui@alumnos.upm.es

Esteban Cáceres - Guerrero

Universidad Nacional de
Chimborazo, ECUADOR
esteban.caceresg@unach.edu.ec

Carolina Llanga – Cruz

Universidad Nacional de
Chimborazo, ECUADOR
cllanga@institutos.gob.ec

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Luís Velastegui – Cáceres, Esteban Cáceres - Guerrero y Carolina Llanga – Cruz (2018): “El diseño estructural y su contribución en la arquitectura contemporánea”, Revista Caribeña de Ciencias Sociales (octubre 2018). En línea

[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/10/disenio-estructural-arquitectura.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/10/disenio-estructural-arquitectura.html)

* Máster en Gestión de Proyectos de desarrollo en Sistemas, Magister en Calculo de estructuras de obras civiles, Ingeniero Civil, Docente Investigador UNACH, Docente ocasional de la Universidad Nacional de Chimborazo en: la Facultad de Ingeniería de asignaturas de Metodología de la Investigación, Estructuras I, Estructuras II, Estructuras III, Gerencia de Proyectos, Gestión Empresarial, Proyectos de Graduación.

** Arquitecto por la Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador 2016. Master en Arquitectura Avanzada, Paisaje, Urbanismo y Diseño (MAAPUD): Mención en Hábitat Sostenible por la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-España 2018. Profesional en la Arquitectura, experiencia en proyectos de viviendas unifamiliares, diseño y construcción en C&C Ingenieros, Riobamba-Ecuador, 2014-2016. Docente de Arquitectura desde el 2018 en la Universidad Nacional de Chimborazo.

*** Arquitecta por la Universidad Nacional de Chimborazo, Docente ocasional del Instituto Tecnológico Superior Carlos Cisneros, residente de obra en varios trabajos de construcción, inspección de calidad de hormigón in situ, capacitada en proyectos arquitectónicos, movilidad urbana y patrimonio cultural , arquitectura bioambiental y eficiencia energética.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo identificar y valorar los distintos parámetros y actitudes relevantes que intervienen actualmente en la colaboración entre ingenieros y arquitectos en el desarrollo de los proyectos, destacando y analizando en detalle la contribución del diseño estructural en la arquitectura contemporánea. El origen de las formas fracturadas, informes y angulosas que caracterizan la arquitectura de finales del siglo XX y comienzo del XXI no se debe a la aparición de nuevos materiales, sino al extraordinario desarrollo tecnológico de las técnicas auxiliares de proyecto y ejecución, a la profundización del entendimiento estructural y a la mejora de las propiedades de los materiales estructurales conocidos, así como al menor peso que actualmente tienen los factores económicos en el proyecto.

Este nuevo contexto arquitectónico ha modificado radicalmente los parámetros que rigen el papel de la estructura en el proyecto y la relación entre ingenieros y arquitectos, planteando la cuestión sobre si los ingenieros pueden y deben adoptar una posición creativamente activa, proponiendo nuevas formas de contribuir en el diseño estructural que permitan guiar la nueva libertad formal adquirida por los arquitectos.

Las posibilidades técnicas y constructivas actuales hacen que no sea necesario unificar y establecer los órdenes estructurales, lo que ha propiciado un proceso de distorsión del orden arquitectónico clásico y los sistemas estructurales tradicionales. Así, las estructuras alteradas encuentran en estas distorsiones el recurso con el que sorprender y provocar intencionadamente al espectador, definiendo sistemas poco frecuentes y espacios desconcertantes que no le dejan en modo alguno indiferente. Por otra parte se ha producido recientemente en la arquitectura un interés por la vuelta de la estructura a la piel del edificio, identificando nuevamente estos dos elementos estructura resistente y piel exterior, que el movimiento moderno se había disociado.

Finalmente, la contribución y desarrollo del potencial compositivo y formal de la estructura en la arquitectura contemporánea implican una forma de trabajar y un planteamiento del proceso de diseño determinados, basados en la colaboración y la complementariedad en los sistemas de trabajo y en la concepción evolutiva e integradora de los procesos de diseño.

Palabras claves: diseño estructural, arquitectura contemporánea, sistemas estructurales, ingenieros y arquitectos.

ABSTRACT

TITLE: "The structural design and its contribution in contemporary architecture"

The present study aims to identify and evaluate the different parameters and relevant attitudes that currently intervene in the collaboration between engineers and architects in the development of the projects, highlighting and analyzing in detail the contribution of structural design in contemporary architecture. The contrast, the origin of the fractured, shapeless and angular forms that characterize the architecture of the late twentieth and early twenty-first centuries is not due to the appearance of new materials, but to the extraordinary technological development of the auxiliary techniques of design and execution, to the deepening of the structural understanding and the improvement of the properties of the known structural materials, as well as to the lower weight that the economic factors currently have in the project.

This new architectural context has radically modified the parameters that govern the role of the structure in the project and the relationship between engineers and architects, raising the question of whether engineers can and should adopt a creatively active position, proposing new ways of contributing to the structural design that allow guiding the new formal freedom acquired by architects.

The current technical and constructive possibilities make it unnecessary to unify and establish structural orders, which has led to a process of distortion of the classical architectural order and traditional structural systems. Thus, the altered structures find in these distortions the resource with which to surprise and intentionally provoke the viewer, defining infrequent systems and puzzling spaces that do not leave him in any way indifferent. On the other hand, there has recently been an interest in architecture for the return of the structure to the skin of the building, identifying again these two elements, a resistant structure and an exterior skin, that the modern movement had dissociated.

Finally, the contribution and development of the compositional and formal potential of the structure in contemporary architecture imply a certain way of working and an approach to the design process, based on collaboration and complementarity in the work systems and in the evolutionary conception and integrator of the design processes.

Key words: structural design, contemporary architecture, structural systems, engineers and architects.

INTRODUCCIÓN

La construcción del siglo XIX está asociada a las estructuras metálicas y a la industrialización, el siglo XX se caracteriza por la aparición del hormigón, armado primeramente y pretensado más tarde, que revoluciona nuevamente el mundo de la ingeniería y la arquitectura. Como había ocurrido con las estructuras metálicas, el nuevo material es primeramente utilizado por los ingenieros, y son ellos los que se interesan en estudiar sus propiedades y tratan de determinar los sistemas estructurales que mejor se adecuen a sus características, a fin de optimizar su utilización y definir nuevas estrategias formales.

La reseña histórica por conocer los principales aspectos que han influido en la relación ingenieros – arquitectos, nos lleva a identificar que la colaboración tiene inicios en Gran Bretaña en la segunda mitad del siglo XX, en donde se enmarca el trabajo de los ingenieros contemporáneos, destacando los principales planteamientos y estrategias desarrolladas a fin de establecer una serie de referencias que permitan comparar y valorar la influencia y repercusión, para conocer del papel activo entre dichos actores.

A partir de este estudio razonado se establecen cuatro estrategias de diseño estructural que permiten dotar de rigor, coherencia e integridad conceptual a las formas libres de la arquitectura contemporánea, desarrollando herramientas de diseño que abren vías de investigación capaces de sugerir nuevos planteamientos formales y conceptuales, ampliando el abanico de posibilidades proyectuales. Las cuatro estrategias propuestas son: alteración de la estructura, optimización de la estructura, identificación de estructura y cerramiento, y

definición algorítmica de la estructura. Estos sistemas son resultado en gran medida de dos procesos paralelos, que se superponen y relacionan entre sí: el paso de la organización a la arbitrariedad en la ordenación de la estructura, y el proceso de localización, relación e identificación de la estructura con la envolvente exterior.

DESARROLLO

Diseño estructural

El diseño estructural es una metodología de investigación acerca de la estabilidad, la resistencia y la rigidez de las estructuras. Este trabajo es llevado adelante por ingenieros estructurales. El objetivo del diseño y análisis estructural es producir una estructura capaz de resistir todas las cargas aplicadas sobre sí sin fallas durante su vida de uso (Martínez Calzón, 2005a: 43-51).

El diseño estructural a menudo tiene que ver con el diseño de una serie de estructuras como edificios, puede ir desde el diseño de estructuras resiliente a terremotos hasta grandes estructuras con materiales como el hormigón armado, acero y madera. Los materiales para el diseño estructural deben ser de larga duración. Las estructuras deben contener características estéticas además de impermeabilidad en la intemperie aislamiento térmico y acústico.

En primer lugar el ingeniero estructural, de acuerdo con la labor creativa, comienza el diseño de la estructura a partir de determinados parámetros impersonales, como las características de los materiales o las propiedades de los sistemas estructurales, en función de los cuales fundamenta la elección y el desarrollo de la estructura que considera más adecuada para un proyecto concreto (Rice, 1998: 83-84).

El diseño estructural consta de los siguientes elementos:

- a. Estructuración.- cuando se requiera, se hará una estructuración preliminar, proponiendo ubicación y dimensiones de los elementos estructurales que permitan afinar un proyecto arquitectónico.
- b. Análisis.- el análisis se lo realiza con programas de computación que utilizan el método de las rigideces, y proporcionan los desplazamientos y elementos mecánicos de los miembros de la estructura.
- c. Diseño.- en base a los elementos mecánicos del análisis, se proporcionan las dimensiones y armados de los miembros de la estructura.
- d. Dibujo.- con los datos anteriores se dibujan los planos estructurales que se proporcionan en c y d.
- e. Memoria de Cálculo.- se realiza la memoria de cálculo descriptiva de la estructura donde se mencionan las cargas muertas y vivas utilizadas, así como ejemplos de diseño.

Una estructura se diseña para que no falle durante su vida útil. Se reconoce que una estructura falla cuando deja de cumplir su función de manera adecuada (Rice, 1998: 83-84). Además debe cumplir con tres aspectos básicos:

1. **Seguridad.-** la seguridad se determina controlando las deformaciones excesivas que obligan a que salga de servicio o el rompimiento o separación de alguna de sus partes o de todo el conjunto. El principio de acción y reacción es uno de los conceptos básicos de uso general en las estructuras, encontrar fuerzas actuantes y fuerzas resistentes hace parte del diario de la ingeniería estructural. La condición de seguridad de resistencia a la rotura de los elementos que la componen y de las uniones entre estos, depende de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados.
2. **Funcionalidad.-** la estructura debe mantenerse en funcionamiento durante su vida útil para las cargas de sollicitación. Un puente que presenta deformaciones excesivas daría la sensación de inseguridad y la gente dejaría de usarlo, en ese momento deja de ser funcional.
3. **Economía.-** el aprovechamiento de los recursos determina un reto para el diseño estructural. En la economía se conjuga la creatividad del ingeniero con su conocimiento. Se dice que también deben de cumplir con propiedades como aislamiento térmico, aislamiento acústico, impermeabilidad, división de aposento, entre otras.

A partir de esta fase inicial el ingeniero desarrolla la estructura, avanzando en la integración y coordinación de la misma en el proyecto arquitectónico y en la definición detallada de los distintos elementos que la conforman, teniendo siempre como referencia su conocimiento y experiencia.

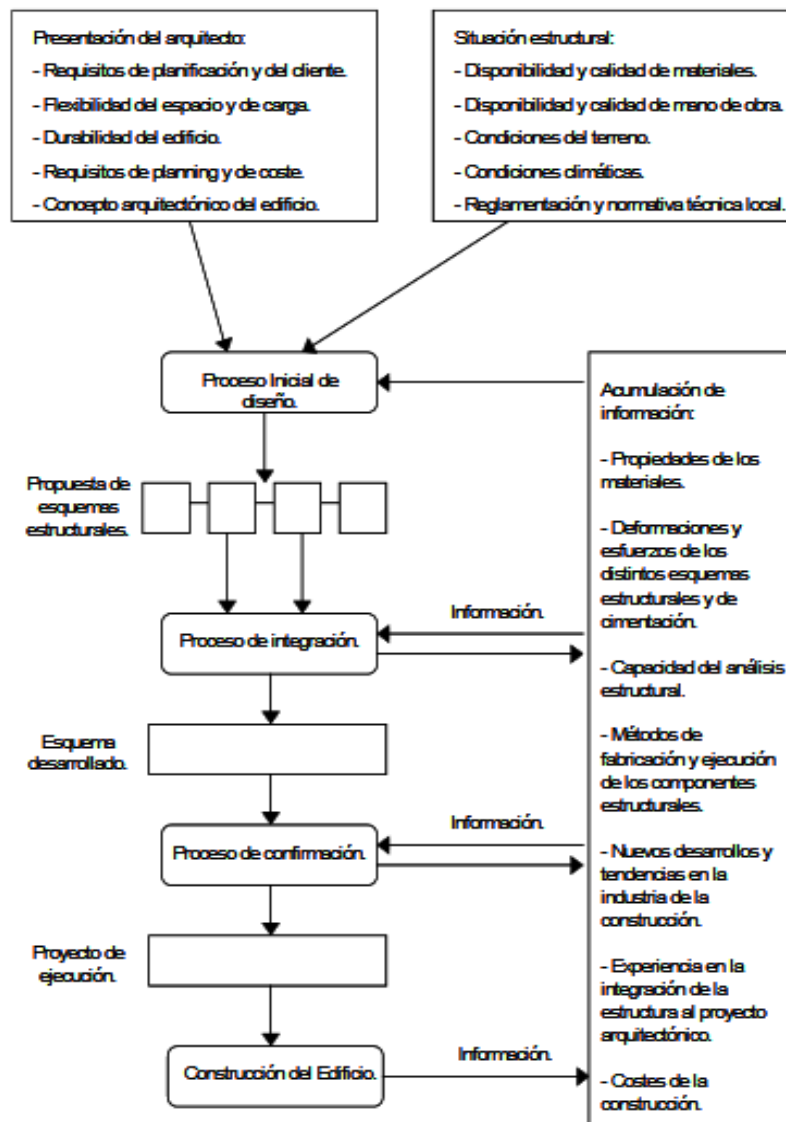


Figura 1. El proceso de diseño según Frank Newby

Edmund Happold propone un proceso de diseño que denomina “convergente” (Happold, 1976), el proceso propuesto establece un sistema “paso a paso” que consta de cuatros etapas que se suceden progresivamente, de manera que no se alcanza una etapa hasta que se haya verificado el cumplimiento de los objetivos de la etapa anterior, lo que se verifica con un sistema denominado Control de Méritos (Figura 2).

Etapas	Responsables Principales		CONTROL DE MERITOS (MF)	Objetivos	
Concepción	MF1	Cliente y Arquitecto		Planteamiento del Modelo y Análisis	Modelo de Funcionamiento
Elección de la forma	MF2	Arquitecto e Ingeniero		Desarrollo del Modelo y Comunicación	
Diseño detallado	MF3	Ingeniero y Arquitecto		Evaluación del sistema	
Detalle, Fabricación y Construcción	MF4	Contratista, Industrial e Ingeniero			

Figura 2. El proceso de diseño por Edmund Happold.

Un diseñador tiene que aspirar generalmente a lograr la solución óptima en el sentido de obtener el máximo beneficio con el mínimo empleo de material, dentro de los límites de resistencia, rigidez y estabilidad. El resultado será la eficiencia, combinada idealmente con la elegancia y la economía (Hunt, 2003: 3).

La eficiencia puede llevar a adoptar sistemas de gran complejidad estructural y constructiva. Estos dos parámetros, eficiencia y simplicidad de la estructura, son generalmente opuestos, de manera que cuanto más eficaz es el empleo de material más complejo es su sistema estructural y, por lo tanto, más costosa su ejecución y su mantenimiento. Así, es este conflicto entre eficiencia y simplicidad el que el ingeniero debe resolver positivamente en cada caso, pudiendo ser las soluciones adoptadas muy diversas (Campbell, 1995: 36).

El arquitecto Angus J. Macdonald indica que la ignorancia de los requisitos estructurales y la sumisión de los mismos a la forma arquitectónica (Macdonald, 2001: 73-114), generan las siguientes estructuras:

- Estructura determinante. Los requisitos estructurales son de tal envergadura que condicionan de manera muy importante la arquitectura y prácticamente determinan la forma del edificio. El ejemplo más claro de esta situación lo constituyen, sin lugar a dudas, los grandes rascacielos.
- Estructura ignorada. El diseño del proyecto está definido por criterios ajenos a la estructura, que se limita a resolver los problemas técnicos planteados y desempeña exclusivamente una función resistente y de estabilidad. La estructura está en estos casos sometida a una forma que le resulta ajena, de la que no participa en su definición.
- Estructura sublimada. Ajuste e incluso manipulación de los elementos estructurales en pos de un determinado efecto visual. Los ejemplos más claros de esta situación los constituyen algunos proyectos de la arquitectura “high-tech” y los traspasos tecnológicos actuales, que utilizan materiales, sistemas de fabricación y procesos de montaje procedentes de otras industrias, como la aeronáutica o la automovilística, para dotar a los proyectos de un cierto aspecto tecnológico.
- Estructura colaboradora. La estructura adopta un papel relevante en el diseño del proyecto, que viene definido por la convergencia de los criterios y los intereses arquitectónicos y estructurales. Es el caso óptimo de colaboración entre ingenieros y arquitectos.

La arquitectura en la actualidad se centra en la posición de poder hacer lo que se le ocurra al arquitecto, con la consiguiente repercusión en lo que se refiere a su relación con la estructura (Manterola, 1988: 17), lo que conlleva el tener una gran variedad de formas y estilos, que van desde la ignorancia de la estructura a la exaltación de su valor expresivo. Mientras que, el ingeniero estructural debe estar en la capacidad de adoptar una actitud activa en el

diseño, buscar estrategias y herramientas que permitan que la estructura adquiera una notabilidad esencial en el proyecto (Foster, 2003: 93). Por ende, la estructura es un elemento de gran importancia en su diseño y puede como tal ser utilizada, tanto por arquitectos como ingenieros.

Arquitectura contemporánea

La arquitectura contemporánea hace referencia a las tendencias de diseño actual por lo que su principal característica siempre es la innovación, basándose en los principios de lo moderno sin la necesidad de que se parezcan estéticamente.

La arquitectura moderna se caracteriza por la simplificación de las formas, la ausencia de decoración y la renuncia a la composición clásica. Se encuentra en constante antagonismo con la arquitectura anterior al siglo XX. Los arquitectos modernos basan su trabajo en las tendencias del arte moderno como el cubismo, expresionismo, neoplasticismo y el futurismo. Las principales características de la arquitectura moderna son la asimetría intencionada, techos planos, ángulos rectos, espacios abiertos y grandes aberturas de cristal en las paredes. Los materiales más empleados son el acero, el cemento, el ladrillo y los revestimientos blancos. Las tendencias actuales se basan en el equilibrio arquitectónico, amplitud, distribución aleatoria, formas básicas, líneas limpias, mezcla de materiales y recuperación de los materiales naturales.

En definitiva la arquitectura contemporánea estudia las construcciones modernas e intenta reaccionar a ellas proponiendo nuevas soluciones arquitectónicas. Así, los arquitectos actuales se debaten entre rescatar valores modernos y renovarlos o romper completamente con los paradigmas modernos y proponer proyectos totalmente nuevos.

A continuación se detallan algunos diseños estructurales que se utilizan como estrategias en la arquitectura contemporánea:

Estructuras alteradas

El origen de esta estrategia de diseño estructural parte de la base de no considerar la estructura exclusivamente en términos estáticos y de estabilidad, sino de valorar y potenciar su capacidad como elemento determinante de la definición del espacio. Las estructuras alteradas son consecuencia de un deseo claro de provocación que busca, mediante la distorsión premeditada de configuraciones o sistemas estructurales clásicos, modificar la percepción del espacio, de manera que resulte sugerente y sorprendente. (Kaye; 2000).

Estructuras optimizadas

Las estructuras optimizadas de la arquitectura contemporánea parten de unas condiciones de contorno determinadas y plantean un sistema que les permite explorar nuevas configuraciones formales a través de la optimización del funcionamiento estructural para cada caso concreto (Aguiló, 2002: 63-64).

El interés de estos proyectos no radica en establecer unas formas estructuralmente óptimas (podría haber sistemas estructurales más optimizados modificando las condiciones de contorno iniciales), sino en investigar posibles desarrollos formales basados en la eficiencia estructural. La aplicación de esta estrategia consiste que a partir de unos requisitos y un interés formal determinado, desarrollar unas geometrías que gocen de un orden interno propio, que es un orden estructural. Y es precisamente esa la clave para valorar el potencial de esta estrategia en la arquitectura contemporánea, al ser capaz de ofrecer una respuesta estructural coherente al deseo actual de formas novedosas.

Estructuras contenedoras

Una vez asumida la estructura como un elemento capaz de definir y modificar el espacio en el que se sitúa e incluso la configuración global del proyecto, el siguiente paso consiste en valorar su potencial como contenedor capaz de albergar cualquier función. Así, las pieles estructurales identifican forma, estructura y cerramiento, uniendo los tres conceptos en un único elemento, contenedor y configurador de la arquitectura (Deswarte, 1997: 245).

En el desarrollo histórico de estos sistemas tuvo gran importancia la evolución de los rascacielos a partir de la segunda guerra mundial (Abalos, 1992: 49-94). Esta evolución estructural de los rascacielos estuvo motivada fundamentalmente por tres factores, que constituyen las características principales que definen los sistemas de pieles estructurales y su potencial:

- Sustitución de la estructura reticular de pórticos por sistemas estructurales tridimensionales.
- Liberación del espacio interior.
- Identificación de estructura y cerramiento.

Estructuras algorítmicas.

Las estructuras algorítmicas son consideradas como el puntal arquitectónico más representativo de la estructura, al generar la configuración y la composición del proyecto a partir de sistemas matemáticos o geométricos que derivan o se vinculan con los procesos que rigen muchas de las formas y de los fenómenos de la naturaleza. A la hora de valorar su potencialidad, se debe recalcar el grado de realismo y credibilidad, lo que radica en proyectos de gran belleza e integridad conceptual, permitiendo crear situaciones híbridas y geometrías complejas e imprevisibles.

DISCUSIÓN

La potencia actual de los sistemas auxiliares de cálculo, representación y construcción, unida a la ausencia de nuevos materiales o sistemas estructurales de la relevancia de los ya existentes, ha propiciado una situación de libertad formal en la arquitectura prácticamente total,

en la que la estructura puede limitarse a resolver los problemas estáticos y resistentes del proyecto sin participar en la definición del mismo.

La colaboración entre el arquitecto y el ingeniero estructural debe comenzar desde el inicio del proyecto, de manera que los dos participen activamente desde la definición formal y conceptual del mismo.

Para que pueda existir una contribución en la arquitectura contemporánea por parte del diseño estructural deben darse una serie de factores que la hagan posible, es por ello que después de haber aplicado el instrumento de recolección de datos se obtienen los siguientes resultados.

Pregunta 1. ¿Considera que la actitud que presenta el arquitecto e ingeniero incide para que pueda existir una contribución en la arquitectura contemporánea?

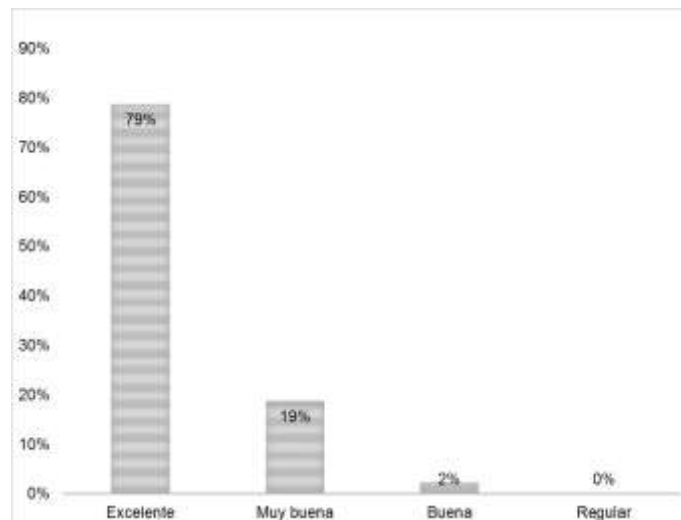
TABLA N° 1

OPCIONES	FRECUENCIA	%
Excelente	67	79%
Muy buena	16	19%
Buena	2	2%
Regular	0	0%
TOTAL	85	100%

Fuente: Cuestionario

Elaborado: Autores

Grafico N° 1



Fuente: Tabla N° 1

Elaborado: Autores

Análisis:

El 79% de los encuestados consideran que el arquitecto e ingeniero tienen que estar dispuestos a que la estructura adquiera una relevancia y un protagonismo importante en la consecución del proyecto. El ingeniero estructural debe tener la habilidad suficiente para racionalizar la propuesta del arquitecto. Debe existir una estrecha colaboración basada en la confianza, el respeto y la complicidad mutuas, que permitan el desarrollo conjunto del diseño.

Pregunta 2. ¿Cree que es necesario emplear diferentes estrategias para dar respuesta a distintos elementos del proyecto?

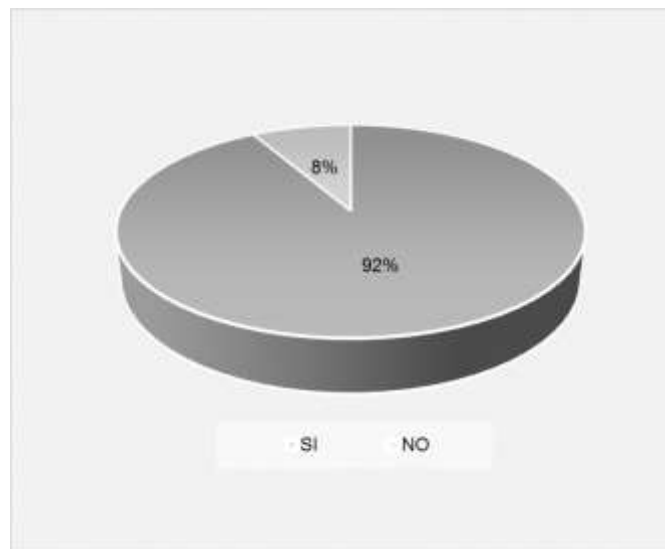
TABLA Nº 2

OPCIONES	FRECUENCIA	%
Si	78	92%
No	7	8%
TOTAL	85	100%

Fuente: Cuestionario

Elaborado: Autores

Grafico Nº 2



Fuente: Tabla Nº 2

Elaborado: Autores

Análisis:

De los encuestas el 92% indica que en muchos de los casos se emplean diferentes estrategias para dar respuesta a distintos elementos del proyecto, pero generalmente la unión de estrategias se produce en la definición de un mismo elemento. En este sentido, resulta interesante valorar la utilización de las distintas estrategias o de diferentes enfoques de una misma estrategia en función de lo que desea plasmar el arquitecto en proyecto, el grado de aplicación de los distintos mecanismos difiere según los procesos de diseño y concepción, y una actitud más abierta y flexible.

Pregunta 3. ¿Cree usted que el proceso de diseño y desarrollo del proyecto debe fomentar la complementariedad de distintas disciplinas?

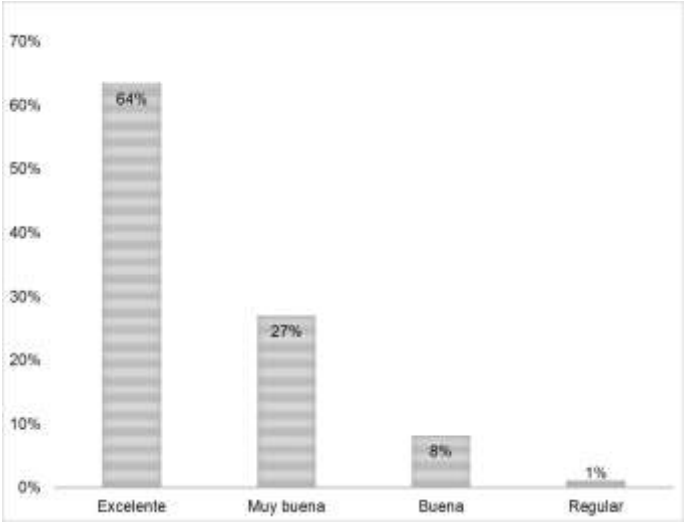
TABLA N° 3

OPCIONES	FRECUENCIA	%
Excelente	54	64%
Muy buena	23	27%
Buena	7	8%
Regular	1	1%
TOTAL	85	100%

Fuente: Cuestionario

Elaborado: Autores

Grafico N° 3



Fuente: Tabla N° 3

Elaborado: Autores

Análisis:

De la encuesta realizada el 64% menciona que el proceso de diseño y desarrollo del proyecto debe fomentar la complementariedad de las distintas disciplinas implicadas, considerando el diseño como un todo, resultado de las aportaciones de los distintos miembros del equipo, que comparten un objetivo común. Así también el interés en investigar, de desarrollar su potencial al máximo y sobre todo tener la capacidad y la habilidad de sugerir herramientas y estrategias de diseño estructural acordes con las inquietudes y los intereses.

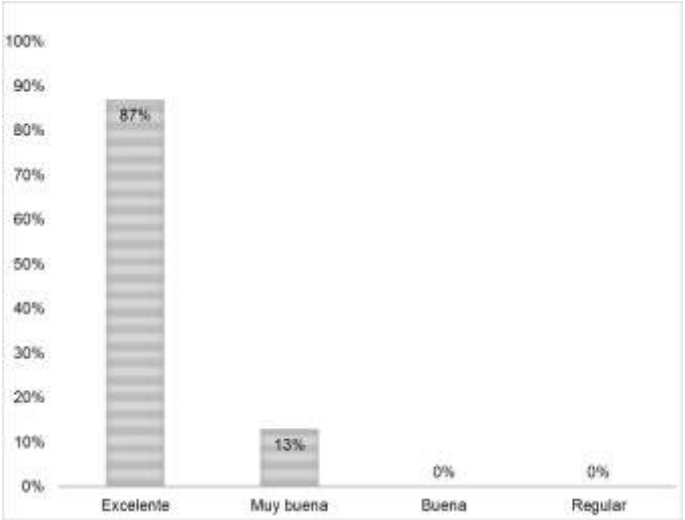
Pregunta 4. ¿Considera usted que debe existir un carácter evolutivo e integrador del proceso de diseño del proyecto?

TABLA Nº 4

OPCIONES	FRECUENCIA	%
Excelente	74	87%
Muy buena	11	13%
Buena	0	0%
Regular	0	0%
TOTAL	85	100%

Fuente: Cuestionario
Elaborado: Autores

Grafico Nº 4



Fuente: Tabla Nº 4
Elaborado: Autores

Análisis:

El 87% de los encuestados indica que es necesario considerar un carácter evolutivo e integrador del proceso de diseño del proyecto, que permita valorar los distintos condicionantes y requisitos no únicamente como factores problemáticos que pueden pervertir el diseño inicial, sino como oportunidades que pueden hacer que este diseño evolucione y mejore.

CONCLUSIONES

- La situación arquitectónica y estructural actual está caracterizada por una serie de factores técnicos, económicos y sociales que han modificado radicalmente el contexto en el que se desarrolla el trabajo de ingenieros y arquitectos con respecto a épocas anteriores.
- La ausencia de nuevos materiales y sistemas estructurales de la relevancia y el potencial de los ya existentes, que puedan sugerir el desarrollo de nuevas soluciones formales, como: el desarrollo de sistemas computarizados de representación, cálculo, fabricación y montaje, la mejora notable de las propiedades y de las características de los materiales.
- El resultado de esta nueva libertad formal en la arquitectura contemporánea es una gran disparidad de formas y estilos que se presentan vertiginosamente que varían según el punto de vista de la relación con su estructura.
- El espectro se apertura para los ingenieros, puesto que pueden adoptar una posición creativamente activa y proponer nuevos sistemas y estrategias estructurales que permitan guiar la nueva libertad formal adquirida por los arquitectos.

BIBLIOGRAFÍA

Abellanas, Manuel; 2007. Aplicaciones de los diagramas de Voronoi en la ingeniería. I Congreso internacional de matemáticas en la ingeniería y la arquitectura. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

Addis, Bill; 2001. Creativity and Innovation. The structural engineer's contribution to design. Architectural Press Oxford.

Allan, John; 1995 Ove Arup – The crucial decade. En the Institution of Civil Engineers (ed.).

Arup Associates: The biography of an architectural practice. Lund Humphries, London, 1983.

Bates, Donald L.; 1996 Una conversación entre líneas con Daniel Libeskind. El croquis nº 80, 1998: 6 - 29.

Benévolo, Leonardo; 1996 Historia de la arquitectura moderna. 7ª edición revisada y ampliada. 2ª tirada. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 1996.

Bernabeu Larena, Alejandro; 2005. Universal exhibitions: a unique frame to analyse the interaction between engineers and architects. Actas del Congreso Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli. Esperienze didattiche e di ricerca a confronto. Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale. Università di Bologna.

Bizley, Graham; 2005 The Rem and Cecil show. Building design, 29 April 2005: 20-21.

Blackler, Zoë; 2005 Dynamic duos. Building design, 29 April 2005: 21.

Bonet Correa, Antonio; 1985 con Lorenzo Fornies, Soledad; Miranda Regojo, Fátima. La polémica ingenieros – arquitectos en España, siglo XIX. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Ediciones Turner. Madrid, 1985.

Bouchez, Hilde; 2005a Casa da Música. Interview with Rem Koolhaas. a+u Architecture and urbanism, Agosto 2005: 90-97.

Brookes, Alan J; 1998 Moulding architecture. The Architect's journal, 10 Septiembre 1998: 60-61.

Brown, André; 2001 The Engineer's Contribution to Contemporary Architecture. Peter Rice. Thomas Telford Publishing, Londres, 2001.

Geers, Kersten y Meessen, Dimitri; 2002 Architecture totale. Interview with Cecil Balmond. A Plus, no179, Diciembre 2002 / Enero 2003: 42-49. Geypel, Kaye; 2000

Gilroy, Mike; 2002 Tech-style. Pavillon portugais, Lisbonne. A Plus, no 179, Diciembre 2002 / Enero 2003: 56-59.

González Cobelo, José Luis; 1996 La arquitectura y su doble. Idea y realidad en la obra de Daniel Libeskind

Graafland, Arie y de Haan, Jasper; 2000a Conversación con Rem Koolhaas (I). Pasajes de arquitectura y crítica, nº. 14, Febrero 2000: 36-40.

Ito, Toyo; 1994 Arquitectura en una ciudad simulada. El croquis, nº 71, 1994: 6-15.

Jordan, Philip con Salusbury, Tudor, Pullen y John; 1993 Palacio de Villahermosa. Museo Thyssen-Bornemisza. Arup journal, vol. 28, no1, Primavera 1993: 18-25.

Knebel, Klaus, Sánchez, Jaime y Zimmermann, Stefan; 2001 Das Eden-Projekt. Konstruktion, fertigung und montage des größten gewächshauses der welt. Stahlbau, nº 70, 2001: Heft 8.

Macdonald, Angus; 2000. The Engineer's Contribution to Contemporary Architecture. Anthony Hunt. Thomas Telford Publishing, Londres.

Ove Arup, London: The Institution of Civil Engineers, 1995: 38-44.

Ove Arup, London: The Institution of Civil Engineers, 1995: 6-25. 1996

Rice, Peter; 1989. A celebration of the life and work of Ove Arup. Royal Society of Arts journal, v. CXXXVII, nº 5395, 1989: 425-437