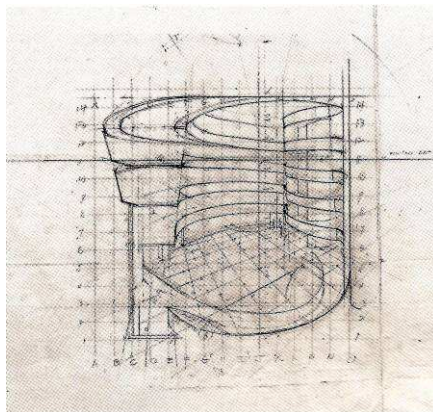




EL GUGGENHEIM MUSEUM DE NEW YORK

**Interpretación del papel de la estructura a través de la colaboración
entre Frank Lloyd Wright y Jaroslav J. Polivka**

Diego Martín Sáiz, Arquitecto

Director de Tesis: Robert Brufau i Niubó, Dr. Arquitecto

Departament d'Estructures a l'Arquitectura, E.T.S.A.V.

Universitat Politècnica de Catalunya

Tesis presentada el 30 de enero de 2012 en la ETSAV
para la obtención del título de Doctor por la Universitat Politècnica de Catalunya

Resumen

Arquitectura y estructura han ido siempre íntimamente ligadas, pero con la aparición del acero y el hormigón surgieron nuevas necesidades formales o estéticas. El Estilo Internacional se inclinó por separar la retícula estructural de los cerramientos. En cambio, la Escuela de Chicago forjó las bases de una arquitectura optimizada y racional. Frank Lloyd Wright, entre estas dos situaciones, optó por seguir las pautas naturales de los materiales, de forma “orgánica”, recuperando la integración entre los diferentes componentes de la arquitectura.

Dentro del recorrido sobre el papel de la estructura en la historia de la arquitectura, parece apropiado detener el análisis en la obra de Frank Lloyd Wright y su particular utilización de la estructura. El Guggenheim Museum es el edificio que recoge muchas de las constantes, por lo que merece la pena estudiarlo analizándolo a través de su estructura. En este sentido, la figura de Jaroslav J. Polivka resulta de particular interés debido a la colaboración mantenida con Wright. De esta relación surgen en ocasiones las claves, no sólo de las soluciones concretas de la estructura, sino de los condicionantes finales dentro del conjunto arquitectónico.

Palabras clave

Arquitectura, Estructura, Tipologías estructurales, Frank Lloyd Wright, Jaroslav Joseph Polivka, Guggenheim Museum, Arquitectura orgánica, Placas y láminas, Voladizos, Columnas dendriiformes.

Índice general

	Pág.		Pág.
Introducción	11	Parte IV : Conclusiones	317
0.1 Estado del arte	17	4.1 Análisis de la estructura del museo en relación a su arquitectura.	319
0.2 Organización de la tesis	21	4.2 Las aportaciones de Jaroslav J. Polivka.	325
Parte I : Relación entre la estructura y la arquitectura	25	4.3 Líneas de continuidad.	329
1.1 La estructura en la historia de la arquitectura.	27	Anexo A : Traducción y comentario de los textos de Jaroslav J. Polivka	333
1.2 La función formal de la estructura.	35	A.1 “What it’s like to work with Wright”.	339
1.3 Los grandes Maestros.	47	A.2 “Aesthetics bridges”.	359
1.4 La arquitectura de Frank Lloyd Wright.	59	A.3 “Technocracy and the engineer”.	367
1.5 El planteamiento estructural de la Escuela de Chicago.	63	Anexo B : Bibliografía	373
1.6 Trabajos en colaboración entre arquitectos e ingenieros.	71	B.1 Frank Lloyd Wright.	375
1.7 Arquitectura e Ingeniería orgánica.	79	B.2 Teoría formal de las estructuras.	378
Parte II : Tipologías estructurales de la obra de Frank Lloyd Wright	85	B.3 Obras de arquitectos e ingenieros.	381
2.1 Wright y la estructura.	87	B.4 Teoría y análisis de estructuras.	384
2.2 Tipologías estructurales empleadas.	95	B.5 Trabajos de investigación relacionados con la tesis en el ámbito de la UPC.	385
2.3 Estructuras basadas en el voladizo.	111	Índice de ilustraciones	387
2.4 Sistemas de columnas dendriformes.	129		
2.5 La evolución de la torre.	141		
2.6 Edificios en espiral.	153		
2.7 De la utilización del hormigón al tejido usoniano.	163		
2.8 La utilización del acero y el entramado.	171		
2.9 Colaboraciones con Jaroslav Joseph Polivka.	179		
Parte III: El Guggenheim Museum a través de su estructura	183		
3.1 Contexto histórico.	185		
3.2 Evolución de la estructura del Museo.	195		
3.3 La participación de Jaroslav J. Polivka.	221		
3.4 Métodos de análisis de estructuras laminares.	237		
3.5 Análisis de la estructura mediante el Método de los Elementos Finitos.	265		
3.6 La crisis de los materiales: Lámina de hormigón VS entramado de acero.	283		
3.7 Propuesta final.	289		
3.8 La cubrición del espacio central.	305		
3.9 El proceso constructivo: barandilla y fachadas gunitadas.	309		

Motivación

Desde que me licencié en arquitectura he trabajado junto a Robert Brufau en el campo de las estructuras, teniendo oportunidad de participar en grandes proyectos en los que la estructura juega un papel relevante. La formación que he recibido en el ámbito profesional ha ido siempre íntimamente ligada a esta visión de proximidad entre la arquitectura y las diferentes soluciones estructurales de un proyecto. Este punto de vista, muy consolidado ya desde mi etapa de estudiante en la Escuela de Arquitectura del Vallès (UPC), se ha ido desarrollando paralelamente al de mi etapa como docente de estructuras, principalmente en la Universitat Internacional de Catalunya, UPC y posteriormente en otras instituciones, siempre intentando mantener la coherencia entre las reflexiones teóricas y la práctica profesional.

Por este motivo esta tesis la he desarrollado, a sugerencia de Robert Brufau, a partir del trabajo de tesis doctoral de José Ramón Castro sobre la génesis del Guggenheim Museum de New York. En este caso, el punto de partida (el edificio del Museo) es el mismo, pero el discurso está claramente enfocado hacia el papel de la estructura en la arquitectura, aportando así una visión de la obra de Wright bajo un nuevo filtro, el de la estructura. El objetivo no sólo es el de clarificar ciertos aspectos estructurales del trabajo de Wright sino también poner de manifiesto el interés por un área de conocimiento muy concreta: la función formal de la estructura que, en algunas Escuelas de Arquitectura, queda en ocasiones relegado a lo anecdótico.

Debo por eso agradecer en primer lugar a Robert Brufau por haberme animado explorar este aspecto tan arquitectónico de la estructura. Desde el trabajo profesional que desarrollo junto a él desde más de quince años, me he formado en la idea de que la estructura es una herramienta básica de la arquitectura que, como veremos, permite organizar, caracterizar, definir, orientar, etc, cualquier tipo de arquitectura de nivel. Todos los buenos arquitectos, desde los grandes maestros hasta las primeras figuras de hoy en día, han tenido y tienen en cuenta de manera muy presente esta función formal de la estructura, para lo que, necesariamente, han contado con la colaboración de ingenieros consultores de estructuras cuya aportación va mucho más allá de la mera resolución de unos cálculos. Toda la cultura arquitectónica que he ido adquiriendo desde el principio de nuestra colaboración, aparte del conocimiento específico de las herramientas de cálculo habituales, forma parte de la base de nuestro oficio como consultores estructurales.

Paralelamente, el hecho de haber podido localizar material inédito que documenta el proceso de génesis de la estructura del Guggenheim Museum me ha servido de apoyo al discurso, aportando la objetividad que un trabajo de este tipo requiere. En este sentido, ha sido importante la colaboración recibida del Archivo de la Universidad de Buffalo, que me ha facilitado el acceso a los documentos de Polivka (Polivka Papers), que exponen de primera mano el proceso de génesis de la estructura del museo. El trabajo se apoya fundamentalmente sobre este material, que me ha permitido ir descubriendo diferentes aspectos sobre la relación entre la estructura y la arquitectura, entre Wright y Polivka, así como de la propia obra de Wright y del Guggenheim Museum. Esta relación hasta ahora raramente ha estado presente en los numerosos estudios sobre Wright, cuestión que ha servido de aliciente para la redacción de la tesis

A propósito del edificio, el propio Wright animó a que todo aquel que quisiera adentrarse en la comprensión del Museo, debía realizarlo a través de la óptica del conocimiento de toda su obra anterior. De este modo, la aproximación a la estructura del museo comienza mediante

la exploración de las diferentes tipologías estructurales desarrolladas a través de la obra de Wright. Aunque su obra ha sido ampliamente estudiada, en pocas ocasiones se ha realizado este análisis bajo el filtro de la estructura. Como se podrá ir comprobando durante el texto, este aspecto es de crucial importancia dentro del global de su obra y merece la pena ser estudiado en detalle.

La intención de este trabajo de investigación es pues la de reconsiderar la función formal de la estructura en la historia de la arquitectura del siglo XX y XXI, más allá de los entramados reticulares, a través del proceso de génesis de Guggenheim Museum en concreto y más en general a lo largo de toda la obra de Frank Lloyd Wright. En este sentido, Parece sugerente aprovechar como base la colaboración entre Polivka y Wright para exponer las diferentes cuestiones referentes a los diferentes cometidos de la estructura. Este aspecto puede resultar de especial interés de cara a afrontar los futuros planteamientos en la enseñanza de esta disciplina en las Escuelas de Arquitectura, donde, en otras épocas, se ha insistido en materias excesivamente específicas, desviándose el interés de muchos alumnos hacia otras áreas de la arquitectura. Los nuevos planes docentes deberían considerar que el aprendizaje de esta materia en la carrera de arquitectura tiene dos partes bien diferenciadas. Una es la enseñanza humanística-generalista donde se expongan los aspectos cualitativos de las estructuras y se consoliden los conceptos básicos del comportamiento estructural. La otra parte del aprendizaje, de tipo tecnológico-matemático o detallista, donde se enseñe la resolución de los problemas cuantitativos. En este sentido, el presente trabajo pretende servir como apoyo a la hora de extender el enfoque hacia la preocupación cualitativa, ya que este planteamiento ha quedado en muchas ocasiones relegado a un segundo plano por el afán de precisión numérica en la resolución de los problemas.

Sirva como ilustración la frase de Eduardo Torroja al respecto: *“Es un error demasiado corriente empezar a calcular la viga número 1 sin haber antes meditado si la construcción debería llevar vigas o no”*¹

¹ TORROJA, Eduardo. *Razón y ser de los tipos estructurales*. Instituto Eduardo Torroja, madrid 1957, pág. 2

Organización del trabajo

El trabajo se divide en tres partes principales, las conclusiones y un conjunto de dos anexos, donde se muestra el material utilizado para el desarrollo del trabajo.

En la primera parte, se pone de manifiesto la situación sobre el papel de la estructura en la arquitectura, especialmente a partir del siglo XX y la arquitectura moderna. La intención es la de hacer una aproximación progresiva desde los conceptos más genéricos ya conocidos, que permita centrar el problema referente a las particularidades de la obra de Wright y en concreto del Guggenheim Museum. De este modo, a través de una visión general de la historia de la arquitectura y del papel formal de la estructura, se va acotando el planteamiento hacia la relación entre arquitectos e ingenieros en general y entre Wright y Polivka en particular.

En la segunda parte, y apoyándose en la predicción de Wright de que su arquitectura se seguirá estudiando cien años después de su muerte, se aborda un nuevo análisis dentro de los múltiples estudios sobre Wright. Todos los aspectos expuestos en la primera parte sobre la relación entre arquitectura y estructura se particularizan en la propia obra de Wright, pudiendo diferenciarse finalmente las obras en las que colaboró con Polivka. El análisis de este trabajo se acompaña con más de setenta dibujos originales realizados por el autor, que sirven como ilustración de los diferentes conceptos estructurales expuestos.

El tercer bloque centra el problema en el edificio construido más significativo de la obra de Wright, el Guggenheim Museum, motivo de convergencia de las ideas organicistas de Wright y de Polivka. Desde un estudio tipológico y analítico de las diferentes variantes planteadas durante todo el proceso de desarrollo y construcción del edificio, se estudian de manera detallada las diferentes versiones previas a la versión definitiva, evaluando la evolución del papel resistente de algunos de sus elementos constructivos y de su estructura.

Paralelamente, de manera superficial al principio y más concreta en la tercera parte, el hilo conductor de la reflexión es el material original sobre Polivka del que se ha dispuesto. Este material se compone fundamentalmente de correspondencia entre Wright y Polivka así como escritos del propio Polivka donde, al margen de las cuestiones anecdóticas sobre las relaciones personales, se vislumbran aspectos muy concretos de la estructura de éste y otros edificios. Por este motivo, además de los fragmentos que se han ido incluyendo dentro del trabajo, se ha considerado oportuno añadir tres textos completos en un anexo final que permiten tener una visión más completa de la desconocida figura de Jaroslav Joseph Polivka. Se han analizado más de 450 páginas de correspondencia, escritos, fotografías, croquis y planteamientos matemáticos. Sin embargo, a pesar de haber gran cantidad de material de interés, no se ha juzgado oportuno incorporarlo en su totalidad a este trabajo debido a su extensión.

Respecto a la bibliografía, se ha estimado conveniente desarrollar este apartado como otro anexo ya que la intención es la de aplicar esta línea de conocimiento a la docencia en la arquitectura. Se considera necesario disponer de una bibliografía ordenada al respecto en una materia donde, históricamente, el material docente se ha centrado habitualmente al análisis de la mecánica de medios continuos.

Parte I: Relación entre la estructura y la arquitectura

Hasta finales del siglo XVIII arquitectura y estructura iban íntimamente ligadas y, de hecho, no había diferencia entre las personas que abordaban ambas disciplinas. La ingeniería civil como profesión independiente no existía y los arquitectos desarrollaban de la misma manera proyectos tanto de infraestructuras (puentes, presas o fortificaciones) como de edificios. En España por ejemplo, Juan de Herrera proyectó la construcción del Escorial y la del puente de Segovia sobre el Manzanares en Madrid, ya que los elementos constructivos utilizados en ambos casos eran los mismos: muros, arcos o bóvedas, compartiendo una función tanto estructural como formal y de configuración de los espacios, por lo que eran tratados de la misma manera aspectos técnicos y compositivos.

Con la aparición de los nuevos materiales, fundamentalmente las estructuras de acero y más tarde las de hormigón armado, surgió la necesidad de la “especialización” profesional, dado que los avances tecnológicos en esos campos se sucedían de manera vertiginosa. Era imposible que bajo la única figura del arquitecto se pudieran plantear y supervisar todos los aspectos como se había realizado hasta entonces. Una nueva profesión, la del ingeniero civil, asumió la responsabilidad sobre las nuevas tipologías constructivas y durante la primera revolución industrial se desarrollaron magníficas construcciones con estructura metálica, fundamentalmente en grandes edificios e infraestructuras. A principios del siglo XX, habiéndose incorporado ya la estructura de hormigón, estos nuevos tipos habían llegado a manifestarse de manera clara en la arquitectura, no resultando indiferente su existencia, por lo que se generaron ciertos conflictos de convivencia formal entre la estructura y los planteamientos arquitectónicos. En Europa, el Estilo Internacional optó por separar de una manera radical la retícula estructural de los cerramientos, dado que funcionalmente sus cometidos habían quedado también separados. Al otro lado del Atlántico, en Estados Unidos, se forjaron las bases de una arquitectura basada en la racionalización y optimización de la estructura y los espacios: la Escuela de Chicago. Entre estos dos intentos de incorporar las nuevas tipologías estructurales dentro de la arquitectura y otorgarles una función formal o de contenido, Frank Lloyd Wright intentó desvincularse de los planteamientos excesivamente racionales de sus compatriotas y optó por una vía diferente a la europea, luchando contra la retícula estructural diferenciada de la arquitectura y utilizando las formas de la estructura para la configuración del espacio. Su planteamiento fue el de seguir las pautas naturales del comportamiento de los materiales, fundamentalmente el hormigón, del modo que hoy podemos llamar “arquitectura orgánica”.

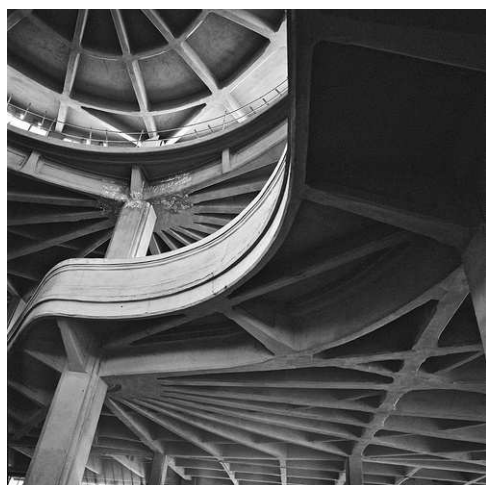
Varios autores se han aproximado a la estructura, no tanto desde sus aspectos técnicos sino desde sus funciones formales y su integración en la arquitectura. Remotamente, en el capítulo dedicado a la “Lámpara de la Verdad”, dentro de la obra *Las siete lámparas de la Arquitectura*, Ruskin desarrolló sus ideas estéticas de la arquitectura². En el texto subyace una alusión a las virtudes formales de la estructura, donde apunta que los materiales y elementos constructivos, entre de los que se incluye la estructura, deben parecer lo que son, sin engañar con su forma, aspecto o función. Ruskin también definió la arquitectura como el revestimiento de la estructura, de manera que, sin estructura, para él no había

² RUSKIN, JOHN, *Las siete lámparas de la arquitectura (The seven Lamps of Architecture)*

Colección Tratados, Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia. 1989. Edición original Londres 1849, págs. 75 a 112.

arquitectura. En el caso de Le Corbusier, ese revestimiento o decoración resultaba superfluo e innecesario, considerando la arquitectura como el juego de formas (estructura) bajo la luz. Frank Lloyd Wright consideraba el espacio como la verdad de la arquitectura y en cuanto a Mies, éste veía la arquitectura sólo como estructura.³

Premonitoriamente, éstos han sido algunos de los postulados implícitos en todas las arquitecturas de máximo nivel del siglo XX pudiendo encontrarse numerosos ejemplos de textos donde se hace referencia a las cuestiones estéticas de la estructura. En este sentido hay varios artículos de la Revista de Obras Públicas⁴ a propósito de la función arquitectónica de las grandes estructuras metálicas de finales del XIX y principios del XX. Ya dentro de las propuestas arquitectónicas del siglo XX, Eduardo Torroja, Curt Siegel, R.J. Mainstone, Colin Rowe, Henry Petroski o Mario Salvadori, entre otros, se han planteado de manera rigurosa aspectos de la estructura diferentes de los estrictamente resistentes, aunque no por ello de menor importancia, por lo menos dentro de la arquitectura. En la actualidad es un tema que todavía sigue estando vigente debido a su amplio espectro de posibilidades, lo que se recoge en publicaciones recientes como la de Ivan Margolius, *Architects + Engineers = Structures*, de 2002, que demuestran el interés de esta cuestión, que seguirá vigente siempre que sea posible una aproximación crítica a la arquitectura de cada momento.



Interior del edificio Fiat-Lingotto con estructura de hormigón. Mattè-Trucco, Turín, 1916-23. Posteriormente, en el caso del hormigón armado, el aspecto propio del material así como sus pautas de diseño, adoptan una nueva forma de expresión por si mismas, al posibilitar la adaptación de sus elementos a cualquier forma preestablecida.



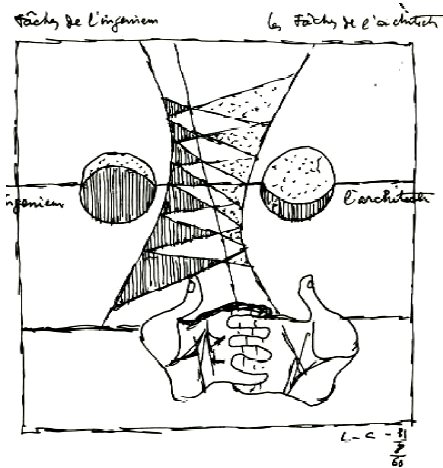
Lake Shore Drive Apartments, Chicago. Mies van der Rohe 1951. Las funciones de estructura y cerramientos también quedan separadas, pero en este caso la pauta de la estructura sirve de referencia tanto a la distribución interior como para la modulación de los sistemas de fachada.

³ Drexler, Arthur. *Twentieth Century Engineering*. The Museum of Modern Art, New York 1964. Introduction.

⁴ Publicación periódica del Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos que recoge las inquietudes del sector desde 1853.



Edificio para la Asamblea de Chandigarh, 1961. Le Corbusier. La plasticidad propia de la estructura de hormigón así como su facilidad para ser “moldeada” se utiliza como uno de los motivos formales característicos de esta etapa de la obra de Le Corbusier.



El dibujo de Le Corbusier representa el equilibrio entre ciencia y técnica, donde la unión entre la ingeniería y la arquitectura se simboliza mediante unas manos entrelazadas. Wright también utiliza el mismo, pero en su caso para representar la continuidad entre elementos estructurales, en contraposición al sistema de vigas y pilares.

Parte II: Tipologías estructurales de la obra de Frank Lloyd Wright

Parece apropiado que, dentro del recorrido sobre el papel de la estructura en la historia de la arquitectura, el análisis se detenga, en cierta forma, en la obra de Frank Lloyd Wright y, en concreto, en la particular utilización de la estructura como generadora de su arquitectura. Wright, junto a Le Corbusier y Mies van der Rohe, es uno de los arquitectos más importantes del siglo XX del que la arquitectura actual es deudora. En particular, el Guggenheim Museum es la obra que recoge muchas de las constantes de la obra de Wright, por lo que merece a su vez un análisis detallado en este sentido. En defensa de las críticas que recibió el edificio, Wright argumentó que para poder llegar a entender el razonamiento y origen museo, era necesario revisar el global de su propia obra. El recorrido a través de la obra de Wright, como no podía ser de otra manera, se apoya especialmente en la relación con sus colaboradores en el ámbito de la estructura - Mendel Glickman y Wesley Peters inicialmente y Jaroslav J. Polivka en las obras de la última etapa - dado que dentro del proceso de trabajo habitual los planteamientos estructurales del edificio se iban desarrollando simultáneamente durante todo el proyecto en colaboración con estos profesionales. El caso de Polivka resulta de particular interés debido a la estrecha colaboración mantenida entre ambos en siete de las obras más significativas de Wright, especialmente en el Guggenheim Museum. De esta relación surgen en ocasiones las claves, no sólo de las soluciones concretas de la estructura, sino de los condicionantes finales dentro del conjunto arquitectónico que, como decía Wright a propósito del Guggenheim: “*Pasarán*

*más de 100 años y ellos aun la examinarán y representarán*⁵, en cuyo comentario puede incluirse por supuesto la singular estructura del edificio.

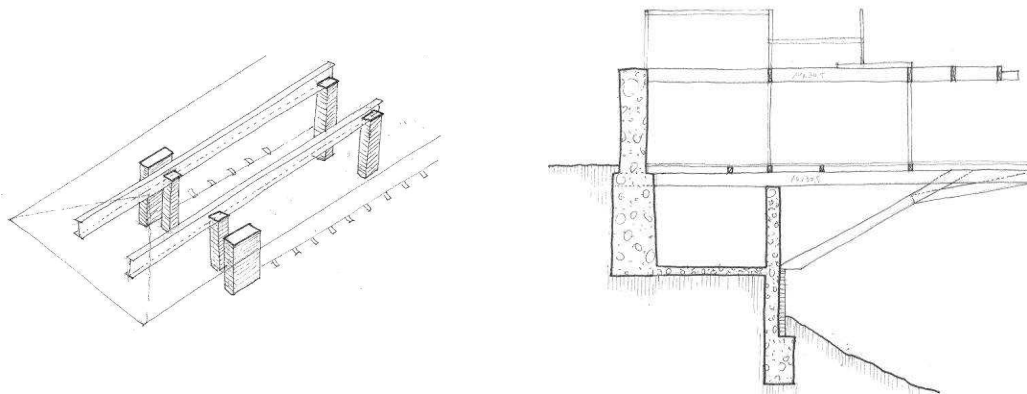
Respecto a la obra de Wright, a pesar de que algunos de sus edificios ya tienen más de 100 años y que la finalización de su obra cumbre, el Guggenheim Museum, así como el aniversario de su muerte han cumplido 50 años, siguen realizándose trabajos desde diferentes puntos de vista, tanto en el medio científico y universitario como en ámbitos culturales más amplios. Sirva de ejemplo la tesis doctoral realizada por José Ramón Castro sobre el Guggenheim Museum o la exposición sobre la obra de Wright presentada en las sedes del Guggenheim de New York y Bilbao en 2009, que se acompañó con publicaciones de textos y dibujos inéditos sobre Wright. De hecho, esta ha sido la tercera gran exposición retrospectiva sobre la obra de Wright. Las otras dos anteriores fueron en la Universidad de Phoenix en 1990 la primera y en el MOMA en New York en 1994 la segunda. En estas tres únicas ocasiones se ha podido ver una selección de documentos que resultan ser una pequeña parte de la totalidad de los dibujos que la Fundación Frank Lloyd Wright custodia con tanto celo. Este hecho manifiesta la intemporalidad y vigencia de la obra de Wright y los múltiples registros desde los que puede ser analizada y que, probablemente, en un futuro siga dando pie a futuras investigaciones desde diversos puntos de vista.

En la clasificación tipológica de las estructuras de la obra de Wright no se ha pretendido realizar una división como la que podríamos hacer únicamente desde un punto de vista técnico (según la estricta utilización de los materiales o productos industrializados), sino más bien una agrupación siguiendo criterios de relación con el espacio, así como con los mecanismos resistentes del funcionamiento estructural. En este sentido, es difícil que la clasificación se haga en varios grandes grupos de manera cerrada ya que muchas de las obras incorporan más de uno de los criterios de selección, como puede ser el tema del voladizo. Por este motivo, dentro de los grupos definidos se han incluido las obras que mejor representan a cada tipología, a pesar de que podrían estar incluidas también en otros grupos. Paralelamente, se establece una clasificación según el criterio del material estructural utilizado, ya sea hormigón, acero o construcción tradicional⁶, y, aunque mayoritariamente las obras pertenecen a la categoría de hormigón, las obras desarrolladas con otros materiales son suficientemente significativas como para separarlas de este grupo.

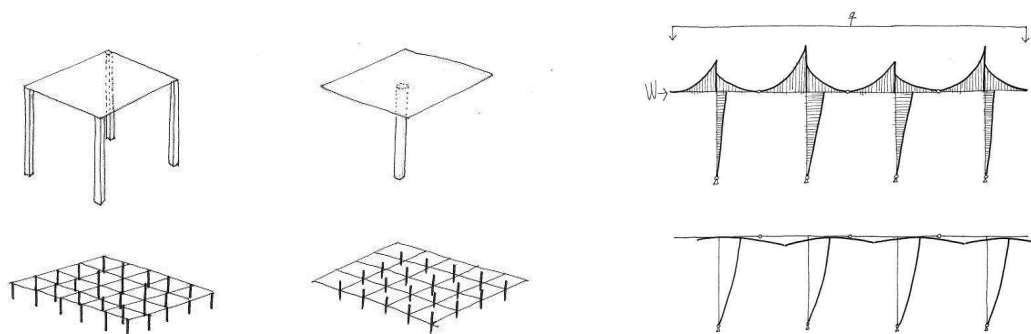
La clasificación se ha organizado de la siguiente manera:

⁵ CASTRO CHICOT, José Ramón. *Frank Lloyd Wright y el Guggenheim Museum*
Tesis doctoral. ETSAB. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona 2000, pág. 237

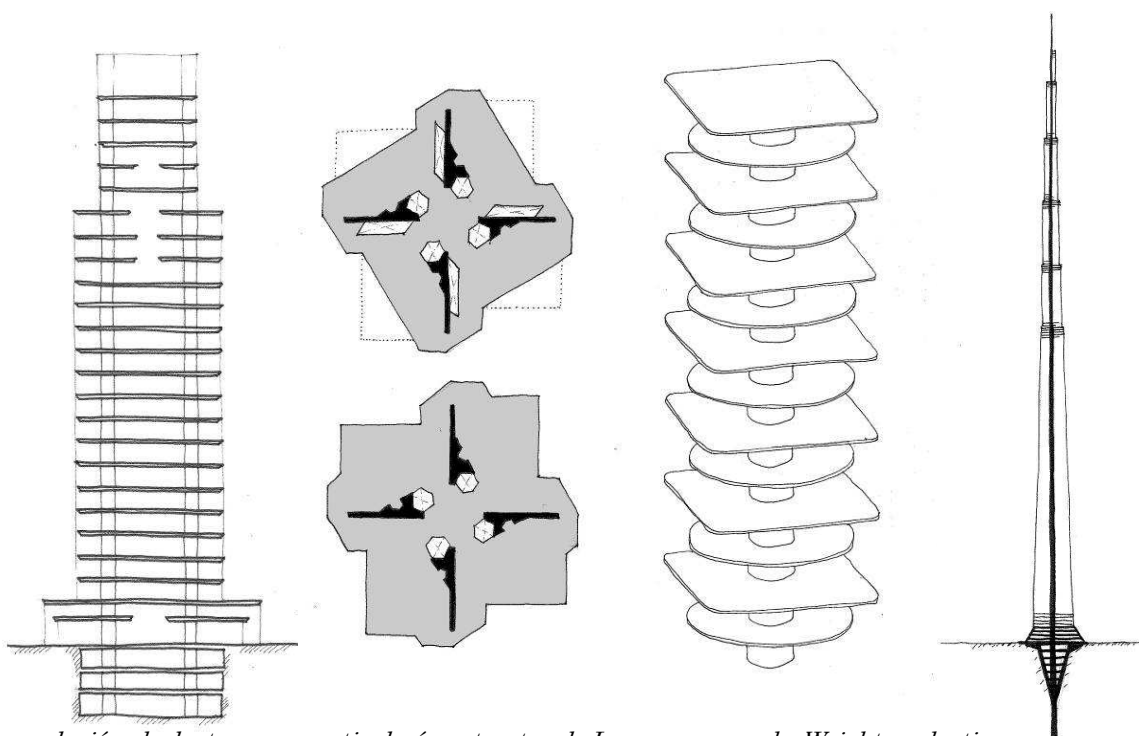
⁶ Bien mampostería o entramado de madera.



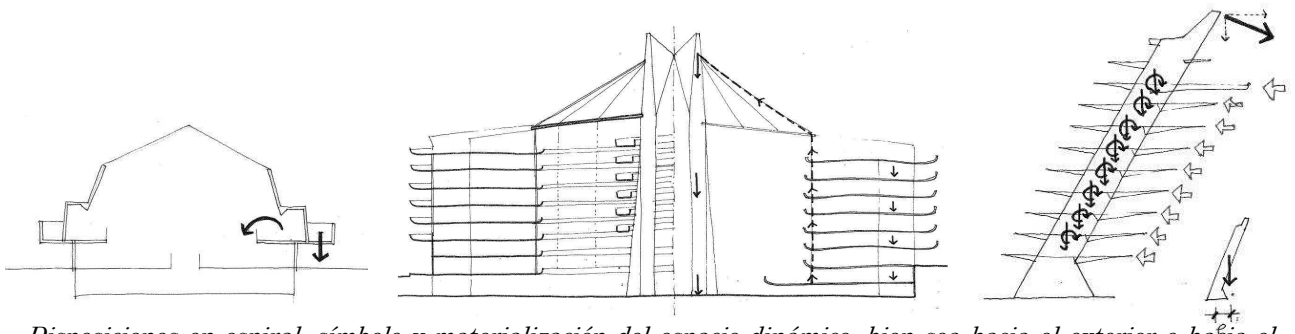
El voladizo como elemento estructural, que al margen de ser un grupo en sí mismo, queda incluido en casi todos los ejemplos del resto de grupos, al ser una constante en su obra.



La utilización de patrones de repetición o sistemas de columnas dendriformes. La estructura se genera a partir de la agrupación de un módulo tipo, generalmente estable al agruparse y no de forma independientemente.

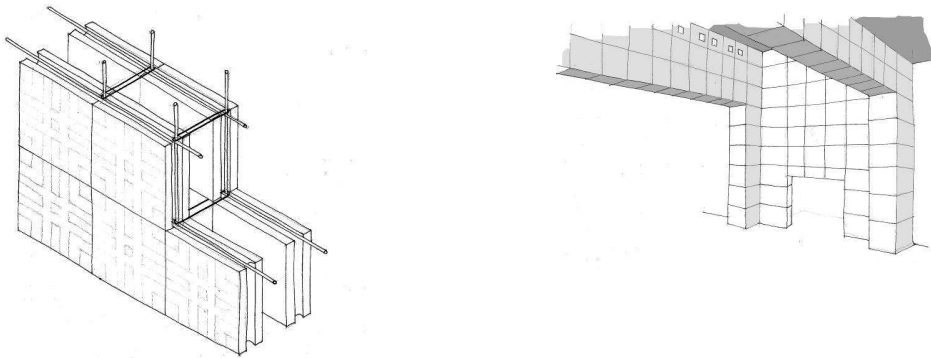


La evolución de la torre como tipología estructural. Los esquemas de Wright nada tienen que ver con los patrones clásicos de este tipo, próximos a los de Chicago, sino que están de acuerdo con los principios de su arquitectura.

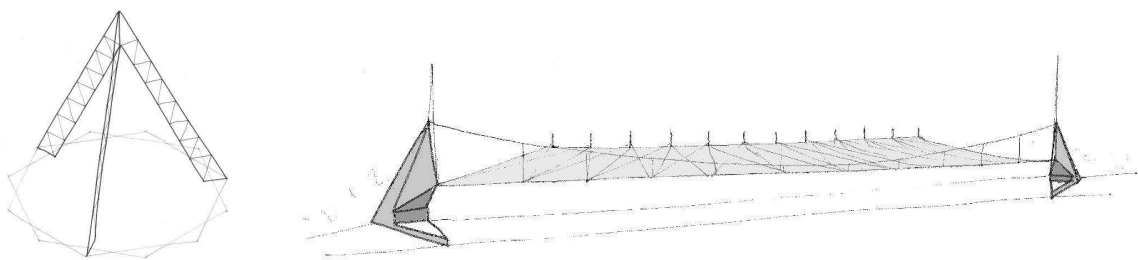


Disposiciones en espiral, símbolo y materialización del espacio dinámico, bien sea hacia el exterior o hacia el interior.

Semejantemente, desde el punto de vista de los materiales utilizados para la estructura, las obras pueden asociarse en dos clases:



La utilización del hormigón armado como la búsqueda de una identidad nacional, bien como hormigón “in situ” y su capacidad de amoldarse a formas orgánicas de comportamiento estructural análogas a la naturaleza, bien por sus posibilidades de prefabricación para configurar sistemas constructivos.



El uso del acero para la configuración de retículas o pórticos. La capacidad a tracción del material, virtud que Wright requería a los materiales estructurales. La ligereza de este tipo de estructuras en virtud de la entrada de luz a través de ellas.

Parte III: El Guggenheim Museum através de su estructura

El edificio para el Guggenheim Museum es probablemente el edificio más importante de la carrera de Wright ya que incorpora todos los conceptos estructurales desarrollados durante su vida, consiguiendo así una perfecta fusión “invisible” entre arquitectura y estructura. En el edificio para el museo confluyen varios de los conceptos desarrollados a lo largo del resto de su obra, como los elementos en voladizo, la utilización del hormigón como material estructural o las estructuras en rampa (en realidad superficies continuas espaciales).

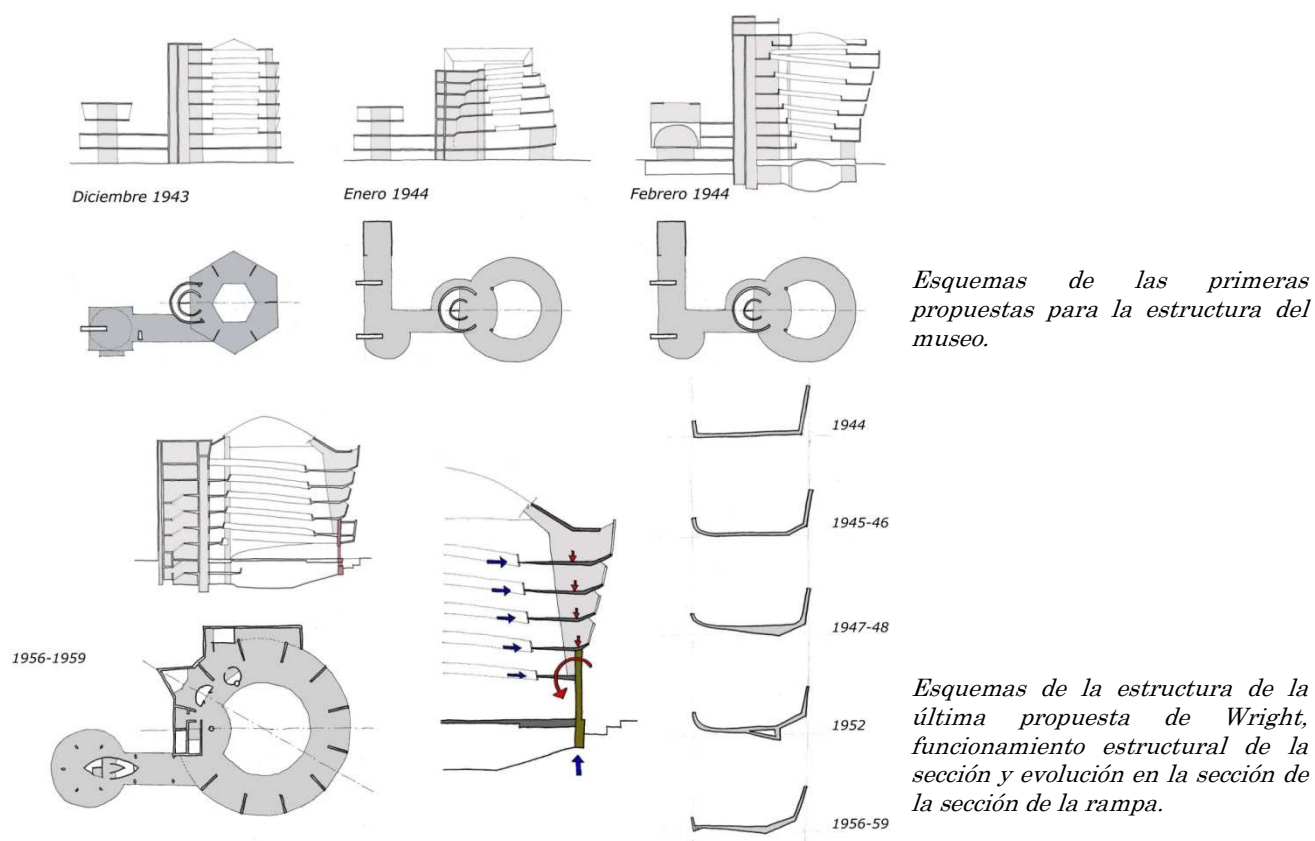
Se han realizado numerosos estudios referentes a esta obra desde diferentes puntos de vista. La compleja relación de Wright con la familia Guggenheim después de la muerte de Solomon Guggenheim o el papel de Hilla Rebay, directora del Museo de arte no objetivo, como punto de inflexión entre Wright y los Guggenheim, han sido ampliamente desarrolladas. También la elección del emplazamiento en el centro de Manhattan fue una cuestión de especial relevancia, habiendo sido examinada en diversas publicaciones. Respecto del edificio en sí, se puede considerar como el último gran edificio construido por Wright y recoge los aspectos formales, compositivos y filosóficos de toda su obra. Las diferentes aproximaciones desde esta óptica han sido objeto también de diversos trabajos, e incluso, con motivo de la restauración del edificio en su 50 aniversario, se ha evaluado el uso que Wright hizo del hormigón desde criterios estrictamente técnicos, de cara a garantizar su durabilidad y concretar su reparación. Este análisis ha sido llevado a cabo por los ingenieros de estructuras Robert Silman Associates de New York. Sin embargo, hasta el momento no se ha enfocado nunca el análisis desde el punto de vista de la evolución estructural del edificio, en el que J.J. Polivka participó desde 1946 hasta la finalización de la construcción en 1959. Polivka pensó al inicio que no sería capaz de solucionar el problema: *“En aquel momento me confesé francamente incapaz, pero tampoco ningún otro ingeniero del momento lo hubiera sido para resolver este complejo problema teórico”*⁷. El resultado final no sólo es fruto de la confluencia entre las ideas arquitectónicas de Wright sino también del esfuerzo por hacer realizable una construcción sin precedentes y la lucha constante contra las autoridades, quienes, a pesar de que Polivka y Wright encontraron la manera de abordar el problema, exigieron que se les transmitiera la seguridad sobre el planteamiento estructural. Los aspectos económicos de esta novedosa propuesta de estructura suscitaron dudas que debieron ser resueltas durante la evolución del proyecto. Este proceso, paralelo al resto de condicionantes, tuvo además consecuencias que afectaron a la configuración final de la estructura y por consiguiente del espacio. La rampa en espiral, desde las primeras versiones del proyecto, ya fuese poligonal o continua, ascendente o descendente, ha sido el elemento fundamental de la estructura y del proyecto arquitectónico. No sólo ha supuesto ser el elemento principal del recorrido del edificio y elemento definidor del espacio, sino que es también su soporte, su cerramiento y su armazón. Es un claro ejemplo donde forma y función llegan a unificarse a través de la estructura.

En enero de 1946 la revista Architectural Forum se dedicó a la obra reciente de Wright como la Modern Gallery, el Rogers Lacy Hotel, la First Unitarian Church, Taliesin West, la Torre de Oficinas Johnson Wax, el campus de la Universidad de Florida Southern y muchas casas usonianas. Sobre este monográfico, Henry-Russell Hitchcock dijo: *“Es irrevocable volver de nuevo a este extraordinario hombre, Frank Lloyd Wright, para encontrar tanta*

⁷ Polivka Papers, Folder 1.7 *“What it’s like to work with Wright”*

riqueza, variedad y alcance de expresión en la arquitectura moderna actual... este hombre parece haber concentrado en los proyectos de estos últimos años un alcance de expresión suficiente como para varios siglos... En concreto, a propósito del Guggenheim Museum, también añade: *“no pertenece al tiempo de su producción... probablemente pertenezca más al futuro que al pasado”*. Estas notas, con total seguridad, invocaban también a la complejidad de su estructura, de la que Wright estaba seguro que daría lugar a numerosos estudios en el futuro.

Ciertamente, este edificio es el punto culminante de su carrera, ya que estuvo desarrollando el proyecto y dirigiendo su construcción desde 1943 hasta su muerte en 1959. Fueron dieciséis años, no sólo de diálogo y discusión con su cliente sobre la concepción del edificio, sino también de reflexión y materialización de conceptos estructurales desarrollados hasta el momento en otras obras. Existe numerosa documentación gráfica sobre el Guggenheim Museum y las diferentes propuestas realizadas durante esos años y han sido estudiadas en la tesis de José Ramón Castro. En su trabajo, aparte de un recorrido por las principales obras de Wright, se estudia el edificio desde diferentes puntos de vista, haciendo una valoración crítica del mismo y un análisis de los elementos constructivos que forman la obra de Wright, como la abertura, el muro o la columna. También hace hincapié en la evolución del hormigón a lo largo de su obra y las consecuencias espaciales que conlleva la utilización de este material: plasticidad y continuidad espacial, dejando patente así no solo una estrecha relación entre arquitectura y estructura sino también entre la estructura y el material, objeto principal, éste último, del libro de E. Torroja *Razón y Ser de los tipos estructurales*. Por otro lado, la observación e interpretación de la numerosa documentación fotográfica del proceso de construcción del Guggenheim, junto con las diferentes versiones del proyecto, pueden ayudar a descifrar los aspectos del binomio arquitectura - estructura dentro de tan singular edificio.



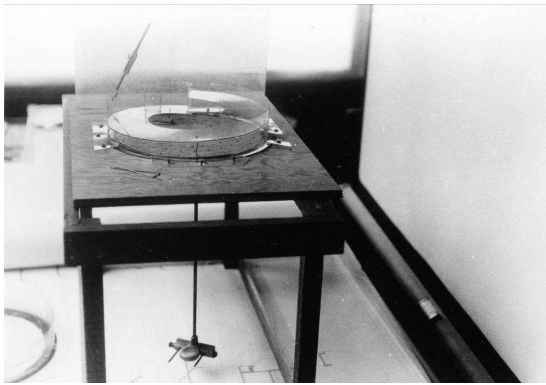
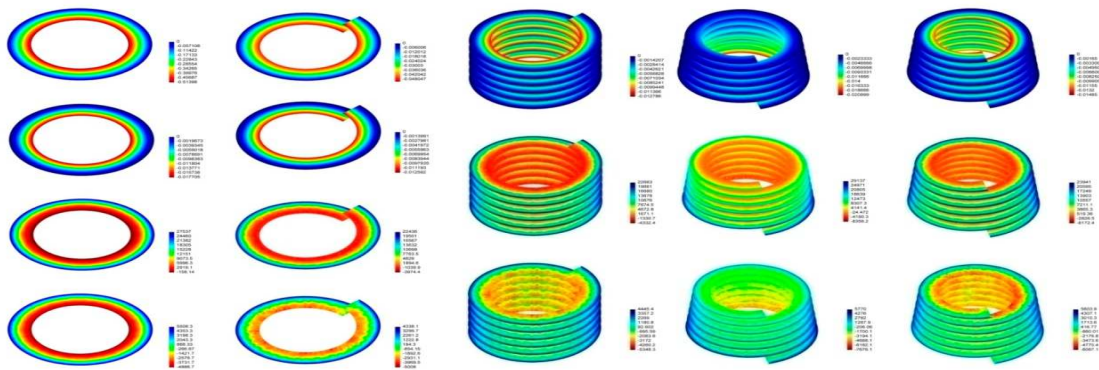
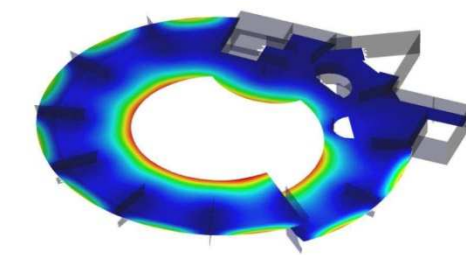


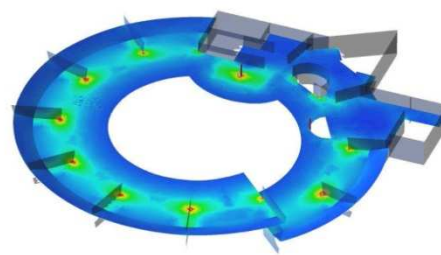
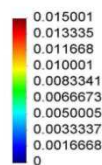
Imagen de una de las maquetas realizadas por Polivka como verificación del método de cálculo aplicado. Es significativo ver que se trata de una sola vuelta de la espiral (placa circular abierta), apoyada en el perímetro exterior y con un peso situado en el centro de la circunferencia. Este esquema se corresponde con la formulación de Timoshenko expuesta en el texto Plates and Shells, adoptada por Polivka para abordar el problema y que intenta verificar las posibilidades de aplicación al caso concreto de la rampa.



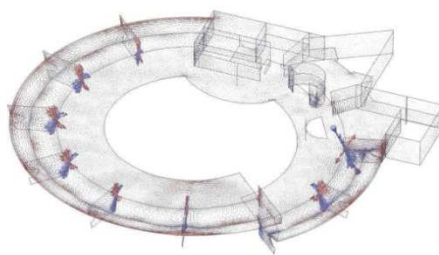
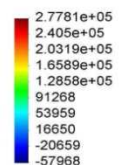
Modelos simplificados del comportamiento de la rampa en espiral, tanto de forma independiente (un solo paso de la espiral) como en agrupaciones basadas en diferentes curvas espirales (cilíndrica o cónica)



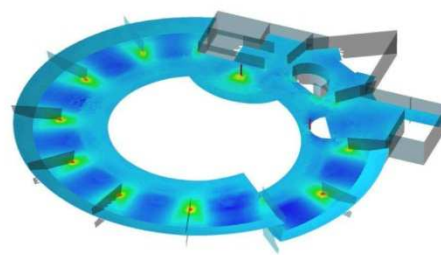
Deformaciones



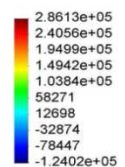
Momentos radiales



Isostáticas



Momentos tangenciales



Modelo detallado del comportamiento de un paso de la espiral en la propuesta definitiva.

Anexo A: Traducción y comentario de los textos de Jaroslav J. Polivka

He considerado oportuno añadir tres textos como anexo al trabajo ya que, por un lado, exponen aspectos fundamentales de la relación entre Wright y Polivka y, sobre todo, para hacer público este material casi desconocido. El autor de los dos primeros es el propio Polivka y en el último caso, se trata de una entrevista hecha a Polivka poco antes de la finalización del Guggenheim.

La traducción ha intentado ser lo más precisa posible, de manera que se pudiese percibir el tono o contenido crítico de las palabras de Polivka, reivindicando el mérito propio de las aportaciones realizadas a la obra de Wright. En los últimos años de su vida, incluso después de la muerte de Wright, Polivka quiso recuperar un cierto protagonismo en su papel junto a Wright. Es probable que la fuerte personalidad de Wright no le hubiese permitido atribuirse justamente su contribución. De este modo, se dirigió a diferentes editores de revistas de arquitectura ofreciendo su exposición de los hechos y llegando a conseguir una entrevista en la Revista *Arts Magazine* hacia 1956.

El primer texto, *What it's like to work with Wright?*⁸, fue escrito por Polivka a modo de biografía sobre su colaboración con Wright y recoge fragmentos de la correspondencia mantenida entre ambos. Este escrito lo remitió a diferentes editores aunque probablemente no fuese publicado íntegramente⁹.

Polivka demuestra por un lado su admiración hacia Wright al mismo tiempo que reclama un reconocimiento sobre las aportaciones que él realizó a su arquitectura. La buena estima que gozaba de Wright le enorgullece e intenta que ésta sea participada por la opinión pública del mundo de la arquitectura y la ingeniería. Polivka utiliza fragmentos de la correspondencia que había mantenido con Wright, especialmente en lo que se refiere al desarrollo del proyecto del museo, como ilustración.

Se hace referencia a la compilación de 97 hojas donde Polivka plasmó el desarrollo de su trabajo y de las cuales sólo se ha podido tener acceso a algunos borradores, así como a las referencias escritas que el mismo Polivka hace de ellas. Estos borradores han permitido desgranar cuestiones referentes al planteamiento teórico de la losa en espiral, expuestas en el apartado 3.4. (Métodos de análisis de láminas).

También se recogen comentarios referentes al encuentro entre Wright y Eduardo Torroja en Taliesin en 1950, de donde, según Polivka, surgió la idea del famoso texto de Torroja, *Razón y ser de los tipos estructurales*. El trabajo de Polivka durante los años junto a Wright no sólo se limitó a la resolución de los problemas estructurales y sus aportaciones a la arquitectura, sino que también realizó un trabajo más sutil, de fondo, consistente en provocar ocasiones o escenarios donde Wright pudiese desarrollar sus ideas. Ahí se entiende la insistencia de Polivka en la utilización del hormigón para el Guggenheim o el empeño puesto en la promoción de la propuesta para el puente Butterfly Wing.

El segundo texto, *Aesthetic Bridges*¹⁰ es un borrador que Polivka elaboró para un artículo referente a la importancia formal de la estructura de los puentes. En concreto, Polivka trabajó junto a Wright, casi durante la totalidad del proceso del Guggenheim, en el proyecto

⁸ *¿Cómo es trabajar con Wright?* Polivka Papers, folder 1.07

⁹ Barry Muskat hace referencia al texto en su Tesis Doctoral “*Engineering the Organic, an investigation into the Collaboration of Jaroslav Joseph Polivka and Frank Lloyd Wright*”

¹⁰ *La estética de los puentes*. Polivka Papers, folder 1.05_43-48

del Butterfly Wings Bridge, desarrollado íntegramente mediante hormigón armado, postensado o prefabricado, como alternativa a los modelos más clásicos de puentes de acero. El uso del hormigón en este tipo de infraestructura, con una componente estructural mucho más importante que en un edificio, suponía el reto exprimir al máximo la capacidad plástica del material. El criterio o pauta de diseño no era aleatorio, buscando formas más atractivas, sino el resultado de un análisis de la naturaleza resistente del material, en la línea de los escritos y obra de Eduardo Torroja. Por un lado este proyecto resulta ser un buen ejemplo del término “tenuity”, expuesto anteriormente, donde las partes se integran formando un conjunto unitario. La transición entre elementos se realiza de manera suave, acompañando a las leyes naturales propias del material y al mismo tiempo definiendo la forma de la estructura, que caracteriza la imagen resultante.

Polivka se apoya en la importancia formal que una infraestructura de este tipo tiene en relación con el entorno natural donde se implanta. En realidad la crítica no exclusivamente a la belleza de la opción de acero construida, sino sobretudo a la motivación estrictamente económica que la ha originado. En cuanto a las ideas orgánicas de Wright, resulta de una nobleza muy superior una forma inspirada en las leyes de la naturaleza y no en la optimización económica de la solución según criterios de la época. Como dice Polivka en el texto, la estrechez de miras de este último planteamiento no contempla una cuestión relevante como es el coste del mantenimiento de la estructura durante su vida útil.

En definitiva, tanto en este texto como en otros del mismo tipo¹¹ Polivka pone de manifiesto la cuestión principal que une su trabajo con el de Wright: la integración entre estructura y arquitectura, o el papel formal de la estructura.

Finalmente, después de diversos intentos de Polivka por manifestar su contribución a la arquitectura a través de la estructura, consigue que le realicen una entrevista en la revista *Seven Arts Magazine*¹². Este texto, *Technocracy and the Engineer*¹³, escrito por Patricia Patridge¹⁴ en 1956, se presenta en clave poética sobre el papel de la ciencia y su influencia en el arte. En concreto aborda el papel de la estructura dentro de la arquitectura. Se expone el concepto de “organicidad” como una integración entre las partes (estructura, instalaciones, construcción...espacio), de la misma manera que en un ser vivo todas las partes están relacionadas, en la nueva arquitectura los elementos se funden entre sí para configurar la arquitectura. Como ejemplo de este fenómeno, se ilustra el artículo con obras de Polivka y de Polivka en colaboración con Wright.

En concepto, se expone la visión integradora de Wright y Polivka y sobre todo, aunque casi al final de su vida, sirve como justo reconocimiento público de las aportaciones realizadas por Polivka.

Como muestra, se muestra a continuación un fragmento del texto *What it's like to work with Wright?* que, como se ha dicho, resulta casi un manifiesto referente a la relación entre el ingeniero y el arquitecto, o lo que es lo mismo, entre la arquitectura y la estructura:

¹¹ Hay numerosos escritos de Polivka sobre este tema, así como correspondencia entre Polivka y las autoridades, defendiendo la solución del Butterfly Wings Bridge. No se han incorporado a este trabajo ya que por sí solos pueden dar pie a otro estudio sobre la relación Wright-Polivka y la arquitectura orgánica, tomando como eje de discusión este puente.

¹² La revista *Seven Arts Magazine*

¹³ *Tecnocracia y el ingeniero*. Polivka Papers, folder 2.5

¹⁴ Patricia Patridge periodista crítica de arte.

Yo no fui tan afortunado como mi viejo amigo Antonin. Conocí personalmente a Frank Lloyd Wright tan solo hace doce años, cuando él había finalizado su original diseño para el Museo de Arte Guggenheim en New York. Como él dijo "...el diseño ha hallado el destino habitual para una gran idea... Las reacciones han variado desde el espanto a la entusiasta aprobación. El principal obstáculo a afrontar parecía que era la gran rampa que sigue la espiral logarítmica: la superficie sólida continúa del suelo, girando alrededor de un gran espacio central... prolongándose hacia la gran cúpula de vidrio. Desde este espacio se pueden apreciar mejor la majestuosidad, comodidad y atmósfera del edificio. Con este concepto de forma, el edificio se expande en una corriente de luz solar, iluminando la gran rampa desde el interior así como logrando una franja de luz natural del exterior". Sin embargo, en aquel momento se interponían algunas dificultades al ingenioso concepto de Frank Lloyd Wright. La seguridad de este tipo estructural sin precedentes, lámina de forma espiral, había sido cuestionada y se colocaron pilares interiores cerca del borde cóncavo de la rampa para garantizar la seguridad. Wright estaba ansioso por liberar el espacio interior de esos pilares (tal como fueron contruidos en la primera maqueta del edificio), y obtener una estructura con forma de resorte que, como él dijo, pudiera saltar hacia el cielo si fuese atacada por una bomba H y descender intacta a la tierra. La solución a este asunto fue la afortunada oportunidad de iniciar mi trabajo para Wright. En aquel momento me confesé francamente incapaz, y tampoco ningún ingeniero del momento lo hubiera sido, de resolver este problema teórico. Este tipo de lámina no había sido investigado antes y no había análisis estructural ni pruebas de comprobación para garantizar la seguridad completa de esta estructura sin precedentes. Cualquiera que conociese la persistencia de Frank Lloyd Wright y la justificada obstinación en sus principios comprenderá cómo él explicaba y defendía su original concepto del edificio, oponiéndose a las "mejoras" sugeridas por algunas autoridades. En sus memorias, al final de 1945 en Nueva York, él explicó:

"... La democracia demanda este tipo de edificios. Lo que ya no puedas obtener en una iglesia deberías conseguirlo aquí: salud, vitalidad y belleza de la imaginación humana... Yo tomé esta idea básica de los templos piramidales sirios con rampas exteriores ascendiendo en espiral. Finalmente decidí que tales "zigurats" son pesimistas porque eran piramidales, por lo que di la vuelta a mi edificio para expresar puro optimismo..."

Después de recopilar toda la información necesaria en Taliesin West, un paradisíaco lugar donde Wright con su familia y estudiantes viven y trabajan desde diciembre hasta mayo de cada año, trasladándoles a Taliesin cerca de Spring Green, Wisconsin. Yo me incorporé a ese sólido y atractivo proyecto, aunque siento que no pude permanecer en aquel maravilloso entorno durante mucho más tiempo. Le escribí así el 4 de mayo de 1946:

"Mi mujer y yo estamos muy impresionados por el maravilloso lugar, bonita y confortable arquitectura, pacífico e inspirador ambiente. Por encima de todo disfrutamos de la acogedora atmosfera creada por su carismática personalidad así como la detallista Mrs. Wright y su familia. Le enviaré regularmente informes en relación al progreso del trabajo de la Modern Gallery en New York al que estoy dedicado..."

A lo largo del texto y de la amplia correspondencia mantenida entre Wright y Polivka, éste va realizando una aproximación al problema estructural, desde un punto de vista técnico, pero siempre manteniendo muy presente, tal como se demuestra en este fragmento, la importancia formal de la estructura dentro del museo.

Proceso de reelaboración necesario para su publicación

El texto está desarrollado de forma que puede abordarse su lectura sin necesidad de ampliarlo con prolegómenos que permitan su contextualización; esto es, tanto Frank Lloyd Wright como el Guggenheim Museum son bien conocidos. También se realiza una aproximación al problema yendo desde cuestiones generales hasta aspectos muy particulares de la estructura del edificio de museo, lo que permite que la estructura de una posible publicación pueda ser similar, aunque con pequeños matices.

La primera parte del trabajo, referente a la relación entre arquitectura y estructura, por un lado es un tema que en sí mismo podría dar lugar a un trabajo independiente en sí mismo. Son tan amplios los posibles puntos de vista y la gran cantidad de ejemplos al respecto, que parece lógico que, en lugar de ampliar este apartado, se reduzca considerablemente, limitándolo a una introducción. Es habitual en muchos de textos que abordan las aportaciones formales de la estructura a la arquitectura, se realice una introducción al tema a través de un ámbito geográfico o histórico, que sirva de preámbulo para la explicación principal. En este caso, la presentación, después de un breve paso por los aspectos generales de la relación arquitectura-estructura, debería ceñirse a la obra de Frank Lloyd Wright, el Guggenheim Museum y la figura de Jaroslav Joseph Polivka.

En la segunda parte del trabajo, donde se realiza un análisis de las tipologías estructurales recurrentes en la obra de Wright, parece apropiado literaturizar las clasificaciones presentadas. La intención principal de este apartado ha sido la de ordenar, clasificar y analizar los aspectos formales y resistentes de la estructura de los edificios proyectados por Wright. Este análisis, en la presentación de la tesis, se ha intentado exponer de forma precisa y rigurosa, a través de cuadros y tablas, intentando no dejar ninguno de los principales proyectos fuera del análisis. Este aspecto, excesivamente académico, debería matizarse, centrando la explicación más en términos conceptuales y no tanto en el detalle particular de cada una de las obras, especialmente eliminando las tablas clasificatorias.

Por otro lado, en este apartado, todas las explicaciones se han acompañado con más de 70 dibujos realizados por el autor, algunos de los cuales podrían reelaborarse para unificar el estilo o la intensidad del grafismo.

En relación a la explicación de la estructura del Guggenheim Museum, a pesar de ser un texto especializado, la intención principal en caso de una nueva elaboración del mismo, debería ser la de eliminar los razonamientos matemáticos o, por lo menos, que queden relegados a unas notas a pie de página. La rigurosidad de un texto científico bien argumentado no pasa necesariamente por un apoyo matemático. Es bien conocido por todo el mundo el libro “Razón y Ser de los tipos estructurales”, del cual nadie duda de que sea un libro de estructuras y, menos aún, la rigurosidad e interés de los temas allí expuestos. Sin embargo, en ninguna parte del libro la exposición se apoya en complejos argumentos matemáticos. El propio Torroja, en la correspondencia mantenida con Polivka, expresó su deseo de redactar el libro sin demostraciones numéricas, dándole mucha más importancia así a los conceptos. Este aspecto, tiene especial interés de cara a ampliar la docencia de las estructuras en arquitectura hacia este campo, completando la formación de los estudiantes con cuestiones de gran calado de cara a su futuro desarrollo profesional.

Respecto a las cuestiones analíticas de la estructura de la rampa en espiral mediante elementos finitos, este método de análisis tiene una doble lectura. Por un lado, es una herramienta práctica que permite evaluar con precisión, cuantitativamente, el

comportamiento resistente de elementos estructurales con geometrías complejas. Pero, por otro lado, es también muy importante la observación de los aspectos cualitativos de los modelos. Sin entrar a valorar los resultados numéricos, una primera visión de los modelos (deformaciones, esfuerzos, tensiones o líneas isostáticas) permite una interpretación de la estructura del mero resultado numérico. En particular, en el trabajo de tesis, se han analizado opciones para la estructura del museo que resultan inviables desde un punto de vista numérico, pero que, sin embargo, tienen una lógica estructural muy clara, fruto de la fuerte intuición estructural de Wright. De este modo, parece interesante mantener muchas de las imágenes de los modelos analizados, de forma que el lector pueda participar del mismo olfato estructural de Wright, al que Polivka aportaba las herramientas necesarias para llevarlos a cabo.

En referencia a Polivka, durante todo el texto se han ido intercalando fragmentos de la correspondencia mantenida entre Wright y el ingeniero, que permiten ilustrar las explicaciones y aportar veracidad y objetividad a los argumentos utilizados. Es también una oportunidad de dar a conocer así a un personaje prácticamente desconocido, pero que puede considerarse de la talla de Torroja, Maillart o Freyssinet, entre otros. En su etapa europea colaboró con los principales arquitectos de vanguardia europeos y, posteriormente, desde Berkeley, llegó a ser una de las primeras figuras mundiales en hormigón armado y pretensado, siendo record de luz alguno de sus puentes de hormigón o montando el primer laboratorio de fotoelasticidad del que se tiene constancia.

De este modo, el Archivo de la Universidad de Buffalo ha cedido al autor el material utilizado para la tesis. En caso de que este trabajo se transforme en una publicación, sería necesario trasladarlo a Archivo y obtener el consentimiento para su publicación. Este material, básicamente, es la correspondencia y tres fotografías.