

[F1] Joan Torres i Guardiola. Estructura de "ala de mosca" que sirvió para cubrir el salón central del Palacio de la Industria en la Exposición Universal de Barcelona de 1888. Extraído del libro FELIU TORRAS, Assumpció, VILANOVA OMEDAS, Antoni (Ed.), La Barcelona de ferro. A propòsit de Joan Torres Guardiola, Museu d'Història de Barcelona, Barcelona, 2011.

Josep María Montaner

Catedrático Departamento de Composición Arquitectónica  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona

# Diagramas de energía fuerza y materia

Energía, fuerza, materia, forma, Deleuze, Guattari



En este ensayo se va a tratar sobre arquitectura a partir de la definición de forma como "estructura esencial e interna, como construcción del espacio y de la materia". Para ello, podemos establecer, como punto de partida, que el proceso de la arquitectura va de la energía, las fuerzas y la materia hacia la forma. Por tanto, teorizar sobre la forma en arquitectura nos lleva a reflexionar sobre tres fenómenos previos a su configuración: la energía, las fuerzas y la materia. Para seguir estos procesos físicos es útil remitirse al pensamiento postestructuralista de Gilles Deleuze y Félix Guattari, especialmente a su texto Mil Mesetas. Capitalismo y esquizofrenia (1980) y a conceptos como "rizoma" y "agenciamiento" y, sobre todo, utilizar la herramienta interpretativa y creativa del "diagrama".

Energy, force, matter, form, Deleuze, Guattari



This essay will deal on architecture from the definition of form as "critical and internal structure and as construction of space and matter." For that, we can establish, as a starting point, that the process of architecture goes from energy, forces and matter to form. Thus, theorizing about form in architecture leads us to reflect on three prior phenomena to its configuration: energy, forces and matter. To follow these physical processes is useful to refer the poststructuralist thought's Gilles Deleuze and Felix Guattari, especially his text A Thousand Plateaus. Capitalism and Schizophrenia (1980) and concepts such as "rhizome" and "assemblage" and, above all, to use the creative and interpretative tool of "diagramme".

## Energía

El siglo XX, desde el inicio hasta el final, fue el siglo de la energía. El cambio que significó la expansión de la energía eléctrica en las primeras décadas, generando espacios interiores y ciudades iluminados de noche, comportó una total transformación de los modos de vida y de las condiciones de trabajo. En el cambio del siglo XX al siglo XXI, con la conciencia de la crisis ecológica y de la centralidad del concepto energía, se ha interpretado que desde la actividad humana hasta la misma constitución del universo están hechas de flujos energéticos. Existen ya un arte (de Turner a Olafur Eliason), una arquitectura (de Bruno Taut a Toyo Ito) y un paisaje urbano (de Paul Scheerbart a James Corner) que han explorado con intensidad el concepto de energía.

El deseo de luz, intrínseco a la naturaleza del ser humano, profundamente fototópico, ha sido colmado por su gran capacidad para crear energía exosomática. Hoy, la arquitectura y el urbanismo se producen tras más de un siglo en el que la luz artificial ha transformado los modos de vida. La electricidad fue el motor de la segunda revolución industrial y la cumbre del delirio de la luz artificial es la ciudad iluminada, convertida en una experiencia creativa global, descontrolada y despilfarradora, accidental y colectiva; una creación artística de escala gigante formada por innumerables actos de energía.

Muchas de las experiencias de la arquitectura contemporánea de la luz y la transparencia tienen sus raíces en las formas deslumbrantes y expansivas del expresionismo alemán, en la

concepción de la ciudad como concentradora de energía, con las coronas que culminarían la metrópolis según Bruno Taut y Hugo Haring. Una utopía de la ciudad de la luz sobre la que escribió Paul Scheerbart (1863-1915) en su colección de aforismos titulada *La arquitectura de cristal* (1914), dedicada a Bruno Taut y en la que defendía la nueva cultura de la arquitectura de vidrio: policromada, ligera y transparente, para adaptarse mejor al entorno. En el aforismo titulado “La belleza de la tierra cuando la arquitectura de cristal aparezca por doquier”, escribe que “sería como si la tierra se engalanase en joyas de esmalte y de brillantes... Tendríamos entonces el verdadero paraíso terrenal.”<sup>[2]</sup>

En definitiva, las ciencias y la física, las artes y la arquitectura nos demuestran que todo es energía, todo es flujo y todos los procesos de la vida se basan en el gasto de energía. Diagramas de fuerza.

En este sentido, hay una línea de desarrollo de los diagramas, ya clásica, enormemente fructífera e imprescindible. Es aquella que no los entiende como repertorios formales sino, con más precisión, como líneas de fuerza y carga previas a la materialización de los sistemas estructurales. Si uno de los límites del uso de los diagramas es su excesiva abstracción y la tendencia a posponer el momento de la materialidad a una fase demasiado tardía, los diagramas de fuerzas y estructuras tienen la cualidad de transportar algo del ADN de la materia y del material. En esta interpretación ingenieril, el diagrama busca la manera más rápida, el camino más corto y el cálculo más eficaz para llevar las cargas hasta el suelo a través de los elementos verticales e inclinados.

Esta línea de pensamiento y proyecto tiene antecedentes en los diagramas de cargas que utilizaba Antoni Gaudí (1852-1926) para sus obras monumentales. Los dos más famosos son la maqueta funicular que hizo para proyectar la Cripta de la Colonia Güell y la maqueta colgante para la Sagrada Familia. Unas formas en catenaria que también le inspiraron su no realizado proyecto del extraordinario Hotel Attraction para Nueva York (1908).<sup>[3]</sup>

Antes que Gaudí, otro arquitecto catalán, Joan Torras i Guardiola (1827-1910) fue maestro a finales del siglo XIX en la innovación de las estructuras ligeras. Su mejor aportación fue la estructura metálica para cubiertas de grandes luces, denominadas de “ala de mosca”, en la cual la parte inferior tenía forma parabólica, siguiendo las líneas de fuerza, ahorrando un 13,5% de masa de hierro en relación a la armadura inglesa de cubierta y un 5% en relación a la Polonceau; teniendo, por lo tanto, un peso menor que las convencionales.<sup>[4]</sup>

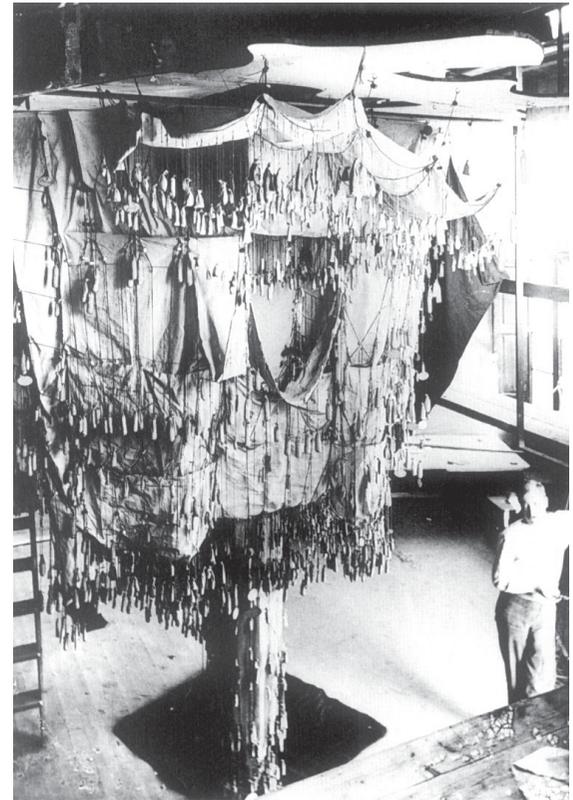
Esta corriente ha sido desarrollada en el siglo XX por los ingenieros expertos en estructuras avanzadas, como Robert Le Ricolais, Konrad Wachsmann, Cedric Price o Cecil Balmond.

Y esta posición entronca con lo que la ciencia adelantó sobre las estructuras físicas de los seres vivos, en especial el biólogo y matemático escocés D'Arcy Thompson (1860-1948), en su texto seminal *Sobre el crecimiento y la forma* (1917). Al demostrar la posibilidad del estudio físico y matemático de las formas de la naturaleza, Thompson planteó que “cuando tratamos sobre la materia en concreto, la fuerza no entra en cuestión, estrictamente hablando, ya que la fuerza, a diferencia de la materia, no tiene una existencia objetiva independiente. Es la energía bajo sus diversas formas, conocidas o desconocidas, la que actúa sobre la materia”. Thompson continúa: “La forma de un objeto es un “diagrama de fuerza” en el sentido, al menos, de que a partir de él podemos juzgar o deducir las formas que están actuando o han actuado sobre él”. Y concluye al querer interpretar, en términos de fuerza, el funcionamiento de la energía que “el espermatozoide, el núcleo, los cromosomas o el plasma germinal nunca pueden actuar solamente como materia, sino sólo como asientos de energía y como centros de fuerza”<sup>[5]</sup>. Para este ensayo, las teorías de D'Arcy Thompson son claves, ya que nos relacionan los conceptos de energía, fuerza y materia, entre ellos y con los diagramas.

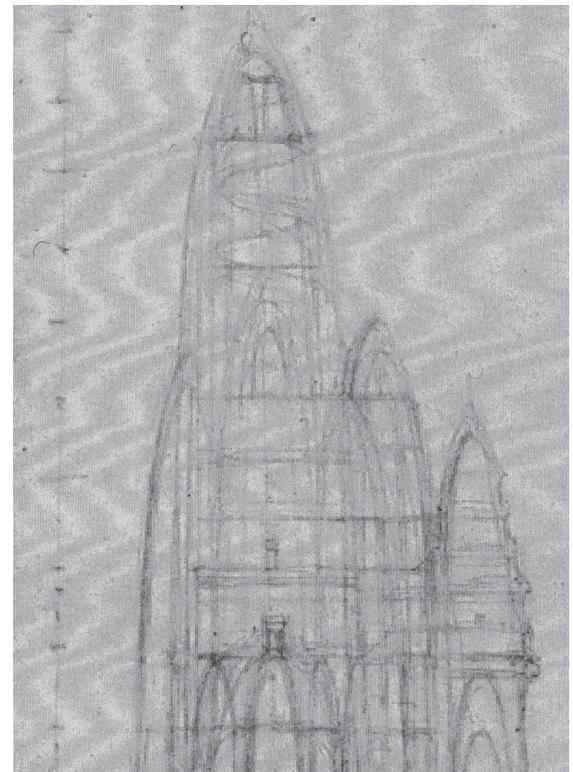
Para ello debemos profundizar en las tradiciones desarrolladas por ingenieros mediante sistemas estructurales para sostener las formas. Y en este sentido, cada uno de estos expertos tomará mundos diversos de referencia.

## Diagrama de estructuras

El norteamericano Robert Le Ricolais (1894-1977) tomó, como punto de partida de sus propuestas, las estructuras de la naturaleza, especialmente los huesos y los nudos hechos de la sabia combinación del lleno y, sobretudo, del vacío. Esto le sirvió para proponer la innovación de los sistemas reticulares en tres dimensiones, con una fuerte influencia de los diagramas en las teorías científicas de D'Arcy Thompson.



[F2] Antoni Gaudí. Maqueta funicular para la cripta de la Colonia Güell



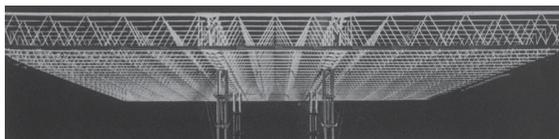
[F3] Antoni Gaudí. Proyecto de Hotel Attraction en Nueva York (1908). Catedral Gaudí. ETSAB-UPC

2. SHEERBART, Paul: *La arquitectura de cristal*, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, Librería Yerba, Caja Murcia: Murcia, 1998, pág. 108

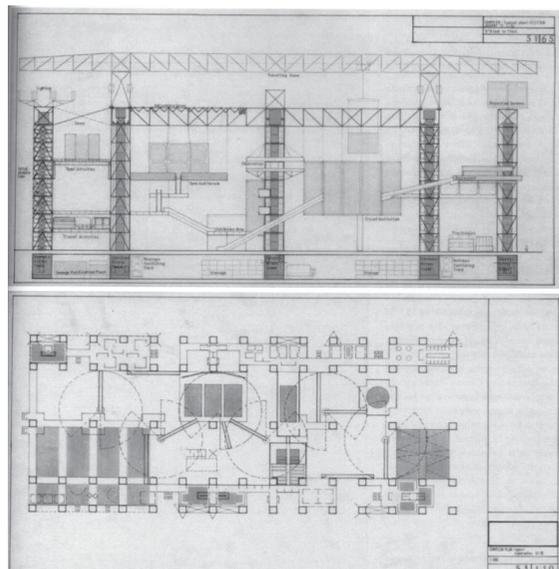
3. MONTANER, Josep Maria; AZARA, Pedro: *Hotel Attraction: una catedral laica. El Gratacel de Gaudí a New York/ El rascacielos de Gaudí en Nueva York*. Edicions UPC: Barcelona, 2003

4. FELIU TORRAS, Assumpció, VILANOVA OMEDAS, Antoni (Ed.): *La Barcelona de ferro. A propòsit de Joan Torras Guardiola*. Museu d'Història de Barcelona: Barcelona, 2011

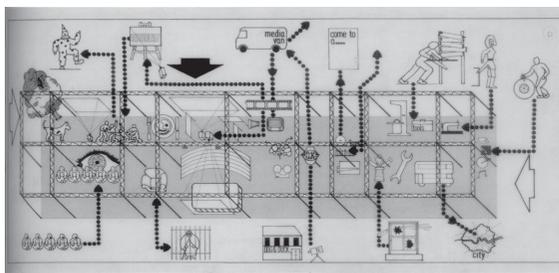
5. THOMPSON, D'Arcy W.: *Sobre el crecimiento y la forma*. Herman Blume editores: Madrid, 1980; Cambridge University Press: Madrid, 2003



[F4] Konrad Waschmann. Maqueta de estructura reticular



[F5] Cedric Price. Diagrama de sección y planta del Fun Palace (1961)



[F6] Cedric Price. Diagrama para el Inter-Action Centre de Londres (1977)

En el caso del ingeniero y arquitecto italiano Pier Luigi Nervi (1891-1979) y en sus arquitecturas para grandes luces, los diagramas son las tramas invisibles de fuerzas que generan formas radiales y orgánicas. Nervi sabía elegir el material más adecuado para relacionar las geometrías orgánicas con las estructuras; unas estructuras cuya belleza emana de su precisa lógica interna.

Konrad Waschmann (1901-1980), de origen alemán, partió de la estereotomía de la madera como materia, en los años treinta; para desarrollar sistemas de paneles prefabricados al exiliarse en los Estados Unidos en los años cuarenta y cincuenta (en colaboración con Walter Gropius); y concluyó, en los años sesenta y setenta, con la combinatoria de estructuras ligeras en el espacio, definidas por la forma de las redes de barras y por la precisión de los nudos, para cubrir grandes espacios genéricos con estas mallas estructurales.<sup>[6]</sup>

Todo ello ha tenido continuidad en las maquetas, estudios sobre materiales y líneas de fuerza en las que ha trabajado el alemán Frei Otto (1925) durante décadas, con obras como la gran cubierta orgánica y transparente del Estadio Olímpico de Munich (1972), y dirigiendo investigaciones en el IL de Stuttgart (Institut für Leichten Flächentragwerke o Instituto de Estructuras Ligeras). La posición de Frei Otto es eminentemente romancista, al poner énfasis en los procesos de la vida y en las fuerzas que actúan en ella. Por ello se centró en los procedimientos de generación de la forma a través de las fuerzas. Una de las mayores influencias de Frei Otto ha sido la teoría morfológica de Goethe, su énfasis en las fuerzas que obran en acción intrínseca dentro de la naturaleza. También influyó en él el científico y pedagogo Friedrich Froebel y su conciencia de que las fuerzas son las causas esenciales de la forma. Para Frei Otto la forma nunca es un “a priori”, sino el resultado de un proceso. Por ello sus experimentos se realizaron con películas y burbujas de jabón, espumas, amontonamientos de gránulos, membranas de fluidos viscosos, estructuras ramificadas, pliegues o redes colgantes, explorando procesos de autogeneración de las formas.<sup>[7]</sup> Desde la visión organicista de Frei Otto, la forma surge desde dentro, desde una pulsión interior. Y por ello trabajaba de manera que, para poder realizar estas formas de inspiración natural, era necesario construir primero maquetas con redes y telas de nailon, aplicarles las tensiones y, posteriormente, utilizando fotografías, pasarlas a dibujo y hacer los cálculos.

El británico Cedric Price (1934-2003) desarrolló métodos industriales y anónimos para generar unos contenedores capaces de potenciar una continua transformación de actividades. Entre sus muchos experimentos está el Fun Palace (1961), su proyecto más influyente, como un diagrama anticipatorio que se desarrolló más tarde en el Centro Pompidou en París de Renzo Piano y Richard Rogers. Todo su proyecto teórico y gráfico denominado *Generator* (1976-1979) constituye un esfuerzo por reducir la arquitectura a un sistema abstracto y modular de componentes: módulos, cubos y pantallas sobre una trama reticular. *Generator* es su trabajo más próximo a los diagramas, en la medida que los diagramas son, esencialmente, generadores, iniciadores de un proceso. Cedric Price planteó, también, un “diagramatic plan” para la vivienda <sup>[8]</sup>. Price trabajó en equipo con científicos e inventores en esta línea de una tecnología al servicio de la innovación y la sociedad cambiante, como Gordon Pask (1928-1996), ingeniero y artista, uno de los creadores de la cibernética.

Cecil Balmond (1943), nacido en Sri Lanka, que hasta el 2010 trabajó en Ove Arup y desde entonces creó la firma Balmond Studio, ha puesto estos conocimientos al servicio de una arquitectura de la complejidad y el caos, que permita no tanto resolver la producción en serie o anónima, sino todo lo contrario: creaciones informales, singulares e irrepetibles, para autores como Rem Koolhaas, Daniel Libeskind, UN Studio o Álvaro Siza Vieira. Cecil Balmond recurre a los diagramas específicos cuando combina retículas geométricas complejas que surgen de la naturaleza o cuando redefine y agrupa funciones, siempre en relación a la estructura.

## Estructuralistas brasileños

Un ejemplo práctico y modélico de concepción de la arquitectura como diagrama de fuerzas y como sistema de elementos estructurales prefabricados es la obra contemporánea de Joao Filgueira Lima, “Lelé” (1933). Arrancando de la experiencia de Brasilia en 1957, trabajando en los sistemas repetibles de pórticos de hormigón armado, en los edificios universitarios, Lelé ha desarrollado un completo sistema de componentes constructivos ligeros, hechos de argamasa de cemento y arena armada por estructuras metálicas complejas y delgadas, que sirven para componer desde infraestructuras, como puentes, escaleras y canalizaciones, hasta edificios, como hospitales. La capacidad de síntesis de este sistema es altísima, ya que con la combinatoria de elementos y componentes se consigue una arquitectura

6. El archivo de Konrad Waschmann, consultado por el autor, se halla en la Avery Library de la Columbia University, en Nueva York

7. SONGEL, Juan María: “De Goethe a Frei Otto: un itinerario romántico en busca de las formas de la vida y sus fuerzas generadoras en la naturaleza y en la técnica” en A.A.V.V.: Revisando el Romanticismo. General de Ediciones de Arquitectura: Valencia, 2013

8. FURTADO, Gonzalo y PÓVOAS, Rui (eds.): *Cedric Price's Generator and The Frazers' Collection*. Universidade do Porto, Faculdade de Arquitectura: Porto, 2008

estéticamente muy atractiva y perfectamente integrable a las condiciones naturales y urbanas del contexto. Este sistema constructivo elaborado por el equipo de Lelé y la red SARAH tiene en cuenta condiciones bioclimáticas, funcionando con ventilación natural y luz solar. Es en la sección donde radica su propuesta diagramática. Toda su obra responde a la actualización de la tradición moderna brasileña de confianza en el poder liberador y social que posee intrínsecamente la tecnología: una dilatada utopía que confía en encontrar la piedra filosofal, las piezas técnicas básicas para unos sistemas de prefabricación que consigan, al fin, sumar la resolución de la necesaria producción social y cuantitativa con la voluntad de calidad formal y estética y con los valores medioambientales. Estos sistemas prefabricados están estrictamente relacionados con el necesario soporte de un estado socialista en el que Lelé confía.

Es similar a lo que sucede con la contundente obra pública de Paulo Mendes da Rocha (1928), pensada para ser promovida por potentes instituciones sociales, estatales, municipales, universitarias o culturales. Podemos considerar que sus dibujos programáticos, tan sintéticos, y sus maquetas de papel, basadas en geometrías esenciales, son auténticos diagramas. En ellos no sólo está indicada la forma arquetípica (el cubo, el cilindro, el prisma, el pórtico, etc.) sino que se señalan la materia, las fuerzas y las estructuras, y se prevén los programas, funcionamientos, escalas, espacios, vistas y presencia de luz natural. Es por ello que en cada obra de Mendes da Rocha hay una conciliación entre el hormigón armado y el acero, que de manera proteica y simbiótica se reparten las fuerzas, la masa y las estructuras en cada edificio. En todos estos ejemplos, el diagrama como línea de fuerzas ha antecedido a la definición de la forma.

## Espacio y materia

La energía se transforma y se transmite; las fuerzas son vectores que no tienen una existencia objetiva independiente; la materia tiene una condición física que puede configurar los espacios y que delimita y enmarca los exteriores.

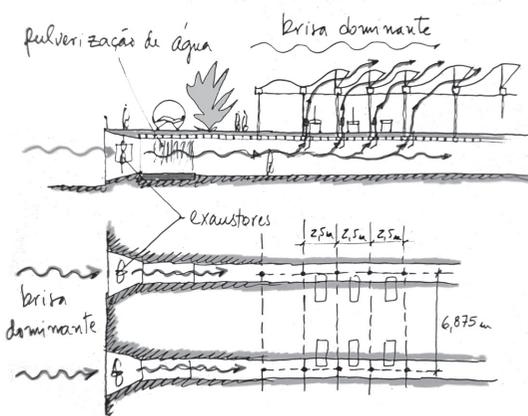
Y en estos procesos es básico establecer la diferencia entre los proyectos arquitectónicos que parten de la concepción del espacio y los que parten de la materia. Por ejemplo, la Villa Savoye (1928-1931) de Le Corbusier o el Kunsthal en Rotterdam (1988-1992) de Rem Koolhaas, parten de una idea de espacio determinada, fluida y dinámica. En cambio, la Casa de madera definitiva (2006-2008), de Sou Fujimoto, o el Museo Diocesano de Arte Kolumba en Colonia (1997-2007), de Peter Zumthor, en el que predominan el ladrillo impermeabilizado y el hormigón armado blanco y liso, parten de una materialidad que precede al espacio.<sup>[9]</sup>

En arquitecto argentino Cesar Naselli ha definido que “materia es todo aquello que es susceptible de adquirir forma”<sup>[10]</sup>. Según él, existen unas preexistencias, según el tipo de materia (que no material) en relación a la constitución y estructura específica, como son la ordenación de capas, enlaces, fibras, tejidos, tramas o rugosidades, con unas características como peso, textura, grados de transparencia, brillo y opacidad. Y en la noción de materia entran la luz (materia imprescindible en la arquitectura como factor estructural del espacio y a la que artistas como James Turrell le han otorgado fisicidad y substancia), el agua (cuya presencia cualifica y significa los espacios interiores y exteriores) y la vegetación (la materia viva en y entre los edificios).

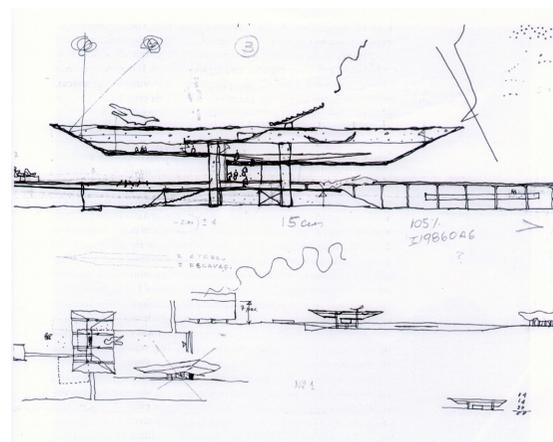
Junto a la definición de las directrices estructurales de las fuerzas y energías, existen conceptos y mecanismos para elegir la materia del proyecto. La materia tiene diferentes niveles estructurales y adquiere sustantividad en cuando es utilizada por el ser humano intencionadamente para crear formas y espacios. En ello la obra de Peter Zumthor es emblemática por su insistencia en muy pocos materiales en cada obra: madera, piedra, ladrillo, acero, cristal y hormigón según diversos tratamientos. La obra de Zumthor está caracterizada por la extrema atención a la relación entre materialidad y forma: la forma surge del concepto y de la materia. Y, de nuevo, los diagramas nos sirven de guía.

## Diagrama de la forma

En su libro *Pintura. El concepto de diagrama* (2007), que es la transcripción de un curso impartido en 1981, Gilles Deleuze define que el diagrama surge como germen después de haber pasado por el caos. Para ello analiza la pintura de Paul Klee y de Francis Bacon y establece que: “vemos implantarse en el interior de ese diagrama las posibilidades de hechos de todo tipo”. Lógicamente Deleuze se basa en la teoría de los diagramas de Charles Pierce y



[F7] Lelé, dibujo de la sección del Hospital Público de Salvador de Bahía



[F8] Paulo Mendes da Rocha. Proyecto del Museo de Arte Contemporáneo de la USP, 1975

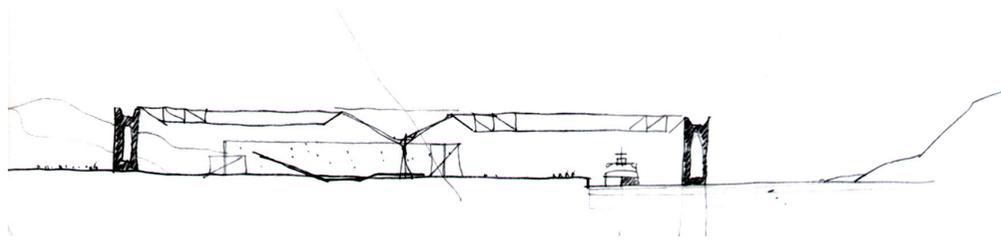


[F9] Peter Zumthor. Imágen interior del Museo de Arte Kolumba, Colonia (1997-2007). Foto Montaner Muxí Arquitectes

9. TRIAS DE BES, Juan: *Arquitecturas máticas*. Tesis doctoral, Departamento de Composición Arquitectónica, ETSAB-UPC: Barcelona, 2013

10. PARIS, Omar, “Entrevista a César Augusto Naselli” en 30-60. Cuaderno latinoamericano de arquitectura nº5: Córdoba, Argentina, 2005.

[F10] Paulo Mendes da Rocha. Proyecto para la Bahía de Vitoria, 1993



en sus textos sobre los signos, recogidos en sus *Collected Papers* (1931-1958). El diagrama es el mecanismo que sirve para borrar todos los clichés previos y aporta una condición prepictórica y prearquitectónica. Deleuze señala cómo Francis Bacon llamó diagrama al caos-germen, como posibilidad de hecho, y Deleuze escribe: “el diagrama interviene como lo que va a renovar el cliché para que la pintura salga. Si ustedes no pasan por el caos-catástrofe (es decir, no tienen diagrama), permanecerán prisioneros de los clichés.”

Siguiendo las ideas de Miguel Ángel y Bacon, según los cuales pintar es pintar fuerzas y no pintar formas: “el rol del diagrama va ser el de establecer un lugar de las fuerzas”. Por lo tanto la catástrofe, o el caos-germen, es lo que permite llegar al lugar de fuerzas y diagramas, expresando lo no visible. Y Miguel Ángel era, precisamente, el escultor que buscaba la forma aún no visible que le inspiraba la materia.

En este sentido, hemos de tener en cuenta que, además de los diagramas de fuerzas, que apuntan hacia la estructura y la materialidad, también existen los diagramas de requerimientos y los de actividades.

Entre los diagramas de requerimientos están los de Christopher Alexander, que culminan en los “patterns”, y los de los arquitectos catalanes Joan Margarit y Carles Buxadé, que fueron pensados en 1969 para que la misma sociedad pudiera alcanzar el nivel de autoconciencia capaz para valorar los programas de necesidades y establecer la variedad de relaciones o lazos<sup>[11]</sup>. Según Margarit y Buxadé el conocimiento arquitectónico es, esencialmente, estructural; y la forma resulta del conjunto de elementos energéticos y materiales que permite la aprehensión y transmisión de un concepto; la forma es el resultado del camino más cómodo y eficaz dentro de un espacio-tiempo.

Y entre los primeros diagramas funcionalistas de actividades destacan los de Christine Frederick, la primera técnica que estableció a principios del siglo XX los diagramas de movimientos en la vivienda, desde criterios “tayloristas” y que luego fue seguida por arquitectos como Bruno Taut y Alexander Klein; y Lillian Gilbreth, la primera técnica que estudió los movimientos ergonómicos de los seres humanos en el espacio, en las primeras décadas del siglo XX<sup>[12]</sup>. En estos casos, el vehículo abstracto del diagrama establece un orden ramificado de requerimientos o vislumbra recorridos y movimientos. Se trata de otro tipo de realidad inmaterial que va a irse dirigiendo hacia el espacio y la forma.

Deleuze y Guattari iniciaron *Mil mesetas. Capitalismo y esquizofrenia* con una introducción dedicada a los “rizomas” y lo concluyeron con las máquinas abstractas, aquellas que ignoran las formas y las sustancias, y que están constituidas por “diagramas”, es decir, funciones sin forma, expresividad-movimiento, y por “filum”, es decir, materia no formada, materia-movimiento.<sup>[13]</sup> Con todo ello aún no hemos llegado a la forma, ya que en arquitectura, más importante que la forma en sí, lo es entender qué hay detrás y antes. La forma es siempre el resultado de unos procesos: energía y fuerzas, materia y estructura, requerimientos y movimientos, todo ello vehiculado, muchas veces, por los diagramas.



ENERGÍA  
FUERZA  
MATERIA  
FORMA  
DELEUZE  
GUATTARI

11. MARGARIT, Joan; BUXADÉ, Carles: *Introducción a una teoría del conocimiento de la arquitectura y del diseño*. Editorial Blume: Madrid, 1969

12. Sobre estas dos autoras véase, por ejemplo, PAI, Hyungmin, *The Portfolio and the Diagram. Architecture, Discourse and Modernity in America*, The MIT Press, Cambridge, Mass/London, England, 2002

13. DELEUZE, Gilles; GUATTARI, Félix: *Mil Mesetas. Capitalismo y esquizofrenia*. Pre-textos: Valencia, 1988