

El desarrollo de la Arquitectura Cinética

La interactividad de la arquitectura de los edificios inteligentes

Bouharaoui, Charif

charif.bouharaoui@estudiantat.upc.edu

Resumen

A lo largo de la historia, los arquitectos han intentado convertir los edificios de un objeto estático en un sistema dinámico para satisfacer las necesidades cambiantes de los residentes. A partir de este concepto, intentaron crear espacios, componentes estructurales y de construcción de edificios que tuvieran la capacidad de recibir una alteración; una acción de las personas o del entorno circundante, como el movimiento, el sonido, la luz, el viento, el calor o la humedad. Según Prussin, "la creación de lugares existe ante todo como una prolongación de las necesidades culturales cambiantes". Por lo tanto, se necesita una arquitectura en constante cambio. Una arquitectura sensible que permite la adaptación a su entorno [Nicholas Negroponte, 1979]. Una arquitectura inteligente que reacciona con el usuario de manera colectiva mediante el movimiento de la forma. Esta reacción se consigue utilizando sistemas computacionales y cinéticos para lograr la adaptación con el entorno y aplicar las necesidades del usuario.

Este artículo ofrece una visión general de los conceptos y definiciones relacionados con la arquitectura cinética, el sistema estructural y materiales

utilizados en este diseño arquitectónico. A continuación, se describe la historia de la arquitectura cinética desde sus orígenes medievales enfocándose en los proyectos y estudios realizados al principio del siglo veinte. Por último, se presentan las aplicaciones del concepto cinético en la arquitectura y destaca sus aplicaciones en el diseño medioambiental mediante tres edificios con componentes cinéticos: de fachada y cubierta cinéticos y otro de volumen movable.

Palabras clave: *Arquitectura cinética, estructura, adaptabilidad.*

Abstract

Throughout history, architects have attempted to convert buildings from a static object into a dynamic system to meet the changing needs of residents. From this concept, they attempted to create spaces, structural and building construction components that had the ability to receive an alteration; an action from people or the surrounding environment, such as movement, sound, light, wind, heat, or humidity. According to Prussin, "place-making exists first and foremost as an extension of changing cultural needs." Therefore, a constantly changing architecture is needed. A responsive architecture that allows adaptation to its environment [Nicholas Negroponte, 1979]. An intelligent architecture that reacts with the user collectively through the movement of form. This reaction is achieved by using computational and kinetic systems to achieve adaptation with the environment and implement the user's needs.

This article provides an overview of the concepts and definitions related to kinetic architecture, the structural system and materials used in this architectural design. It then describes the history of kinetic architecture from its medieval origins focusing on the projects and studies carried out at the beginning of the twentieth century. Finally, it presents the applications of the kinetic concept in architecture and highlights its applications in environmental design through three buildings with kinetic components: one with a kinetic facade and roof and another with a movable volume.

Keywords: *Kinetic Architecture, structure, adaptability.*

ÍNDICE

1. Prefacio

- 1.1. Justificación de la investigación
- 1.2. Metodología de la investigación
- 1.3. Objetivo de la investigación

2. Introducción

3. Historia y origen de la arquitectura cinética

- 3.1. Primeros diseños cinéticos
- 3.2. Arquitectura móvil y transformable en los años 50 y 60
 - 3.2.1. Yona Friedman
 - 3.2.2. Gordon Pask
 - 3.2.3. Cedric Price
 - 3.2.4. John Frazer
 - 3.2.5. Grupo Archigram
- 3.3. El concepto cinético y la informática en los años 70
 - 3.3.1. Libro sobre arquitectura cinética de William Zuk y Roger H. Clark
 - 3.3.2. Cedric Price y el “Proyecto Generador”
- 3.4. Nuevas innovaciones tecnológicas en los años 80 y 90
- 3.5. Los edificios cinéticos y el siglo XXI

4. Aplicaciones de la arquitectura cinética

- 4.1. Sistemas de estructuras cinéticas
 - 4.1.1. Estructuras cinéticas empotradas
 - 4.1.2. Estructuras cinéticas desplegadas
 - 4.1.3. Estructuras cinéticas dinámicas

4.2. Interior cinético

- 4.2.1. Espacios transformables
- 4.2.2. Muros cinéticos
- 4.2.3. Fachadas cinéticas

5. Casos de estudio

- 5.1. Fachada cinética _Instituto del Mundo Árabe, París Francia, 1987, Jean Nouvel
 - 5.1.1. Funcionalidad
 - 5.1.2. Sistema constructivo y materialidad
 - 5.1.3. Eficiencia energética
 - 5.1.4. Estética
- 5.2. Cubierta cinética _Mercedes Benz estadio, Georgia, Estados Unidos, 2017, HOK
 - 5.2.1. Funcionalidad
 - 5.2.2. Sistema constructivo y materialidad
 - 5.2.3. Eficiencia energética
 - 5.2.4. Estética
- 5.3. Volumen cinético _The Shed, New York, 2019, Diller Scofidio + Renfro, Rockwell Group
 - 5.3.1. Funcionalidad
 - 5.3.2. Sistema constructivo y materialidad
 - 5.3.3. Eficiencia energética
 - 5.3.4. Estética

6. Conclusión

7. Referencias bibliográficas

1. Prefacio

1.1 Justificación de la investigación

Los motivos que nos llevaron a investigar los sistemas cinéticos en la arquitectura se centran en que las necesidades crecientes de la sociedad actual en contraste con la rigidez funcional, espacial y estético del diseño arquitectónico. Un conflicto evidente que ha llevado a muchos arquitectos a utilizar tecnologías cinéticas: el diseño de movimientos y construcciones que, por un lado, ayudan a que nuestros edificios sean más útiles y eficientes energéticamente y, por otro, contribuyan a experiencias más ricas, estéticas y táctiles. En el cine, la estética del movimiento siempre ha desempeñado un papel importante. En las películas de James Bond, los grandes cráteres se abren, no con la economía y eficiencia que un ingeniero podría elegir, sino de tal manera que se realzan su dramatismo y su espectáculo. Estas escenas estimulantes hacen pensar de manera original, implementar el pensamiento metafórico de “*thinking outside the box*” fusionando la tecnología actual con la arquitectura para dar luz a nuevos conceptos. Pretendemos, entonces, ayudar a aclarar y subrayar el potencial de la arquitectura cinética, así como generar estímulos que colaboren en la identificación de nuevas metodologías prácticas y elegantes. Así mismo, ampliar la biblioteca de herramientas del diseño arquitectónico actual.

1.2 Metodología de la investigación

El procedimiento que usamos para hacer este trabajo de investigación consiste en coleccionar información pertinente sobre la

tecnología cinética y su aplicación en la arquitectura. Por lo tanto, hacemos una investigación en el nacimiento del concepto de la cinética, sobre su historia, sus orígenes y su utilización en la construcción.

Adicionalmente, buscar ejemplos de proyectos teóricos y reales que nos permite realizar una comparativa de eficiencia funcional y energética, así como, su resultado estático y estético.

1.3 Objetivo de la investigación

La arquitectura a menudo se ha llamado música congelada. Otros se han referido a ella como la expresión permanente de una era, el congelamiento de una era; la petrificación de una idea; la grabación en piedra de un fragmento aislado de la historia. El propósito de este estudio es describir y discutir un enfoque emergente de la arquitectura que rechaza significativamente estas descripciones típicas de la arquitectura. La idea de no construir una arquitectura de fantasía, sino una predicción basada en esta necesidad de satisfacer una sociedad dinámico anárquicamente cambiante. Lo que se discutirá es una arquitectura que no es estática, pero que tiene la capacidad de adaptarse al cambio a través de la cinética.

Este estudio muestra ejemplos de cómo el movimiento cinético puede ser práctico, sensato y, no menos importante, también "poético". Además, pretende servir de referencia práctica ilustrando principios geométricos básicos. Su intención subyacente es comunicar los principios rectores que subyacen a los planteamientos conceptuales de este tema.

2. Introducción

En el estudio de los prototipos históricos académicos, a menudo se ha pasado por alto la no-arquitectura, o arquitectura anónima de las culturas primitivas (Bernard Rudofsky, 1964). Esta arquitectura no se construía para durar; las estructuras no eran permanentes, ya que tenían que ser reparadas y reemplazadas a menudo, aun así, funcionaban perfectamente y resolvían los problemas funcionales respondiendo a las necesidades físicas y espirituales [Labelle Prussin, 1969]. Había en esta arquitectura primitiva una relación muy estrecha entre todos los diversos elementos que constituyen el entorno y las formas que constituyen el lugar. En consecuencia, es necesario desarrollar los edificios como sistemas complejos ajustados al clima y a la optimización energética. [F. Trubiano, 2013].

Las mejoras en el diseño y la construcción de edificios desempeñan un papel importante en la investigación de la arquitectura inteligente. Recientemente, los arquitectos han intentado responder a las necesidades humanas en constante cambio utilizando varias técnicas y tecnología. William Zuk y Roger H. Clark presentan el concepto de la arquitectura cinética a principios de los años setenta, en el que imaginaban edificios transformables capaces de cambiar su geometría [H. Bier, T. Knight, 2010]. El concepto de arquitectura

cinética es el diseño de edificios con elementos transformadores y automáticos. La forma del edificio cambia para adaptarse a las necesidades de las personas o a las condiciones del entorno. Michael Fox clasificó los sistemas de control para la cinética en seis tipos en función del nivel de complejidad [J. Moloney, 2011]:

- 1) **Controles internos:** No tienen ningún control directo ni mecanismo como las bisagras mecánicas.
- 2) **Controles directos:** Son movidos directamente por una fuente de energía externa a los dispositivos.
- 3) **Control indirecto:** Depende de un sistema de retroalimentación por sensores.
- 4) **Control indirecto reactivo:** depende de múltiples sensores de retroalimentación.
- 5) **Control indirecto de respuesta ubicua:** Tiene capacidad de predicción mediante el uso de una red de controles con algoritmos predictivos.
- 6) **Control indirecto heurístico con capacidad de respuesta:** **Depende** de redes mediadas por algoritmos que tienen capacidad de aprendizaje.

3. Historia y origen de la arquitectura cinética

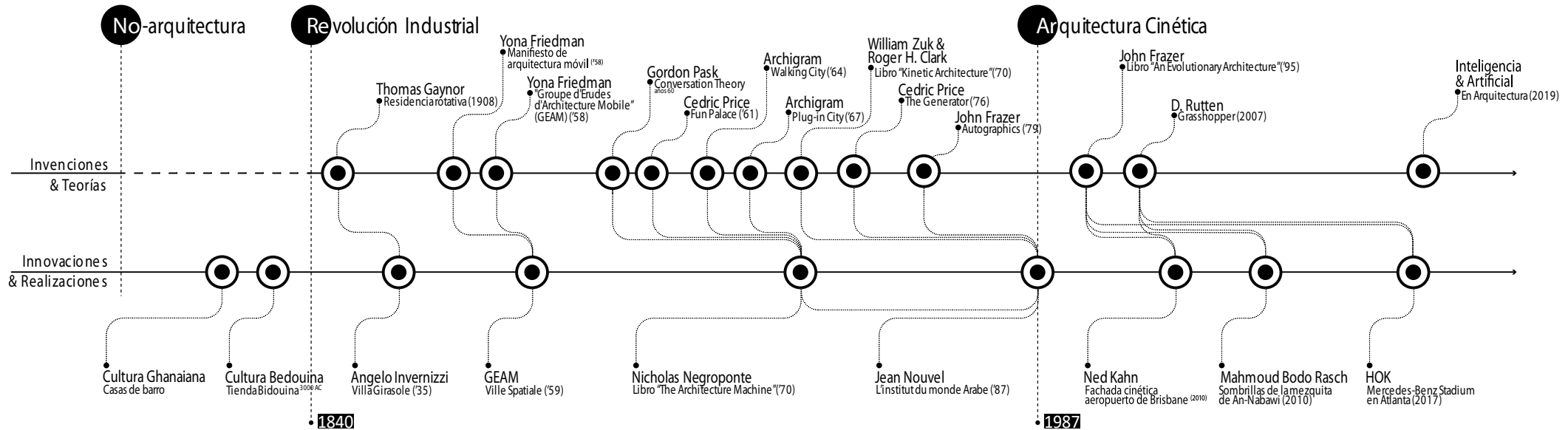
A diferencia de los monumentos arquitectónicos estáticos que muchas culturas han buscado en el pasado, las aldeas y complejos individuales de las culturas primitivas se encuentran en un estado de flujo constante. Prussin ha asumido que "el constructor indígena rehace y remodela constantemente su lugar para adaptarlo a las relaciones en constante cambio dentro y fuera de la unidad familiar". Podemos afirmar que la capacidad de adaptación y movimiento era una cuestión importante para el ser humano.

En la antigüedad, la gente utilizaba refugios móviles y cinéticos como la tienda beduiana para proteger sus vidas y proveerse de alimentos. Esta tienda africana es una membrana tensada suspendida de postes de compresión de fácil [R. Kronenburg, 2013].

Los asentamientos primitivos del norte de Ghana son otro ejemplo de esta expresión de adaptación [William Zuk y Roger H. Clark, 1970]. Según Labelle Prussin, cuando muere el propietario de la comunidad,

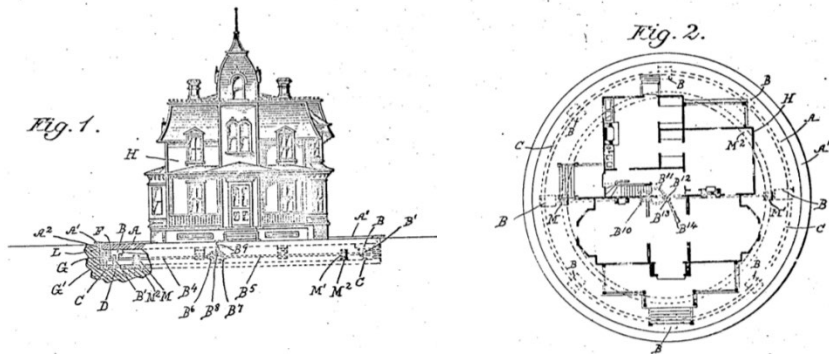
"su línea de descendencia se ha extinguido y su forma física se desmorona hasta convertirse en polvo (...) Si un hijo se va, su habitación quedará abandonada. Si regresa, se construirá una nueva estructura. Si se casa, su nueva familia ampliará la comunidad existente o se separará para formar un nuevo grupo de parentesco"

En épocas recientes, el interés por la arquitectura interactiva, sensible e inteligente ha comenzado en las décadas de 1960 y 1970. Este interés se debe al desarrollo del campo de la informática y la tecnología de la construcción, que convirtieron la arquitectura de una forma estática en una forma más cinética y dinámica. La evolución de los diseños cinéticos tiene una rica historia. En el inicio del siglo veinte, se realizó el primer el diseño cinético de una casa rotativa. Por lo tanto, apareció la arquitectura flexible. Combinar el concepto cinético con la informática llevó decenas de años para aplicarse. En la Figura 1, se ilustra el eje cronológico en que basamos la presentación de las siguientes subsecciones.



3.1 Primeros diseños cinéticos

Uno de los primeros diseños cinéticos fue un edificio rotatorio diseñado por Thomas Gaynor en 1908, pero nunca llegó a construirse (Figura 2) [C. Randl, 2008]. En 1935, Angelo Invernizzi invitó y construyó otra casa giratoria, que es Villa Girasole. Esta villa tiene dos pisos y forma de L, que sigue al sol a través de una base circular de 44 metros de diámetro y una torre de 42 metros de altura en el centro. El motor empuja la casa sobre tres carriles circulares con 15 carros en 9 horas y 20 minutos para girar completamente [L. Alter, 2017].



3.2 Arquitectura móvil y transformable en los años 50 y 60

3.2.1 Yona Friedman

Yona Friedman, el fundador del "Groupe d'Études d'Architecture Mobile (GEAM)" [M. Emanuel, 2016] presentó el "Manifiesto de la Arquitectura Móvil" en 1958 planteando una pregunta importante: "¿por qué deben los arquitectos decidir por las personas que viven en sus edificios?".

Más tarde, en 1959, introdujo el "urbanismo espacial", en el que los habitantes dispondrían de estructuras flexibles para cambiar sus espacios según sus necesidades. El GEAM propuso una ciudad con paredes, suelos y techos móviles, con redes de infraestructuras

fácilmente alterables y grandes unidades espaciales móviles que pueden viajar, volar o flotar como una ciudad de tres niveles, como se muestra en la figura 3 [M. Emanuel, 2016].

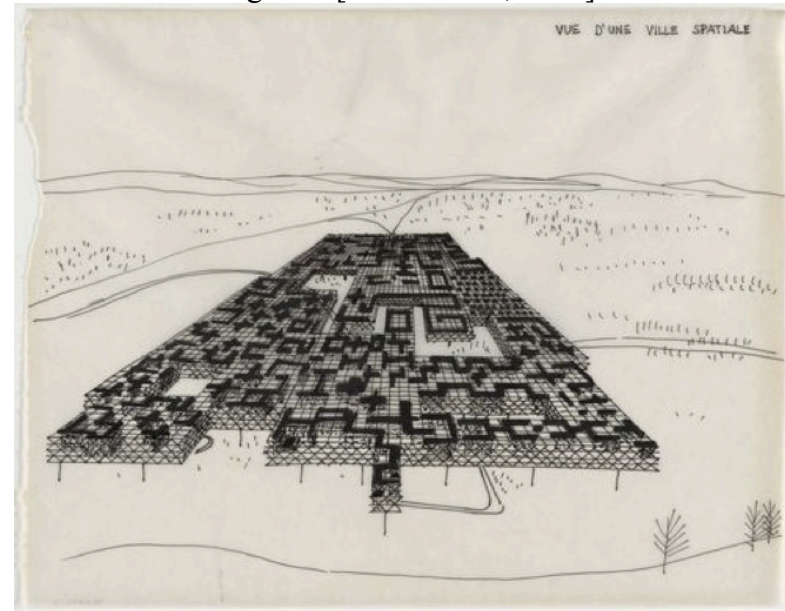


Figura 3: Idea de ciudad espacial de Yona Friedman [M. Emanuel, 2016]

3.2.2 Gordon Pask

Más tarde, en la década de 1960, Gordon Pask y otros cibernéticos - científicos de las comunicaciones y los sistemas de control automático tanto en máquinas como en animales, entre ellos Norbert Wiener- intentaron identificar el campo de la arquitectura interactiva formulando su "Teoría de la Conversación" y desarrollando un modelo en el que los arquitectos entendían los espacios y los usuarios como sistemas completos de feedback [A. Pickering, 2010].

3.2.3 Cedric Price

Entonces, Cedric Price hizo otra pregunta: "¿Y si un edificio o espacio pudiera generarse o constantemente" [L. Bullivant, 2005]? Price intentó responder a su pregunta arquitectura cuando diseñó el Fun Palace en 1961. El proyecto contiene teatros, cines, restaurantes, talleres y talleres y zonas de reunión que pueden montarse, trasladarse como muestra la figura 4 [S. Mathews, 2005].

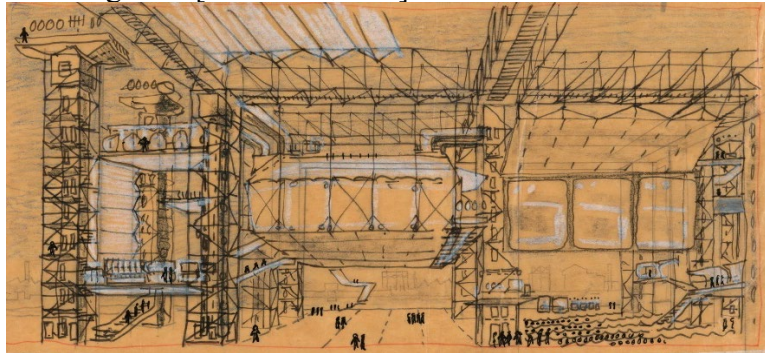


Figura 4. Boceto del Fun palace, Cedric Price

3.2.4 John Frazer

Asimismo, John Frazer confirmó que la arquitectura debe ser "algo vivo y en evolución". Frazer y Price trabajaron directamente con Pask durante muchos años. John Frazer presentó su obra durante casi treinta años con estudiantes de la Architectural Association de Londres en su libro "An Evolutionary Architecture" [M. Fox, 2016]

3.2.5 Grupo Archigram

Luego estaban los trabajos iniciales del Archigram, como como el diseño de la ciudad andante en 1964 y la ciudad enchufable en 1967 (Figura 5). A continuación, Nicholas Negroponte publicó su libro "La máquina de la arquitectura" en 1970 [F. Alotaibi, 2015].

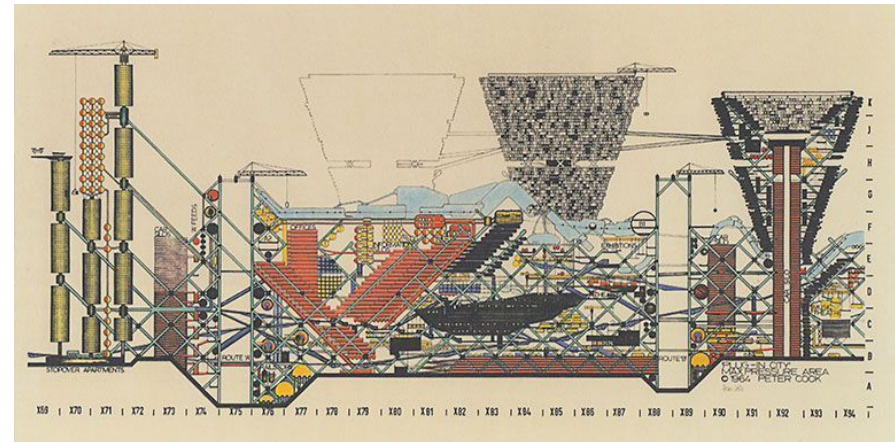


Figura 5: Archigram – Plug-in City

3.3 El concepto cinético y la informática en los años 70

3.3.1 Libro sobre arquitectura cinética de William Zuk y Roger H. Clark

El concepto de arquitectura cinética fue introducido por primera vez por William Zuk y Roger H. Clark en 1970 en su libro "Kinetic Architecture". Zuk y Clark definieron por primera vez la arquitectura cinética como "Una arquitectura capaz de adaptarse a los cambios que se producen en un conjunto de presiones que actúan sobre ella y la tecnología que proporciona la herramienta de interpretación y aplicación de dichas presiones." [M.C. Phocas, 2013].

El libro introduce un conocimiento sistemático sobre la arquitectura cinética, y los autores lo explican combinando criaturas naturales y edificios mostrando lo esencial de una arquitectura que no es estática, sino que puede ajustarse a los cambios temporales. [M.C. Phocas, 2013]

3.3.2 Cedric Price y el “Proyecto Generador”

En los años 70, la vida humana había cambiado gracias a la tecnología informática y de telecomunicaciones. En 1976, "The Generator Project", inventado por Cedric Price en colaboración con John y Julia Frazer donde crearon un programa informático capaz de organizar la disposición del sitio en respuesta a distintas necesidades (Figura 6). Además, propusieron que un microprocesador de un solo chip, introducido en todos los componentes del edificio, funcione como procesador controlador. Este proyecto ayudó entonces a producir un edificio "inteligente" que controla sus propios componentes en respuesta al uso requerido [A. Trajkovsk, 2014]. A finales de los 70 se dio otro gran paso con la introducción del ordenador personal, que cambió la vida de los arquitectos. Más tarde, en 1979, John Frazer fundó la empresa "Autographics", que desarrolló los primeros sistemas de diseño basados en micro-ordenadores del mundo [A. Trajkovsk, 2014].

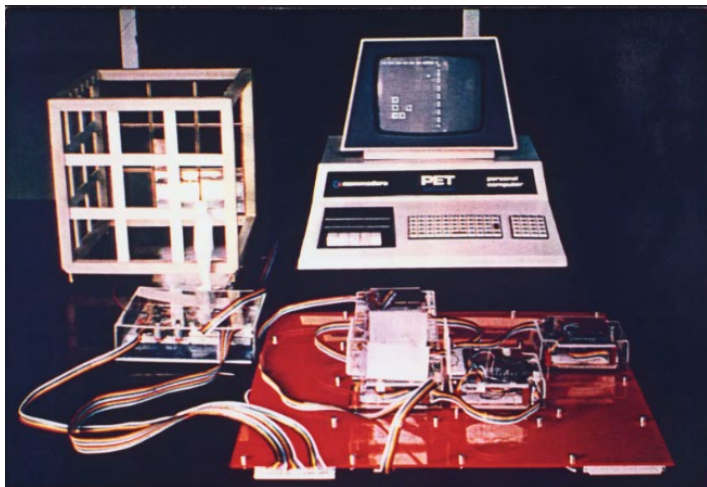


Figura 6: Generator Project, Cedric Price.

3.4 Nuevas innovaciones tecnológicas en los años 80 y 90

En 1987, Jean Nouvel presentó un importante ejemplo de arquitectura cinética: el Institut du Monde Arabe de París. La fachada sur del edificio es una retícula de 24×10 m de crujías cuadradas, que simulan la geometría de los biombos árabes tradicionales. Cada bahía contiene una persiana circular central dentro de una retícula de persianas más pequeñas (Figura 7) [J. Moloney, 2011].

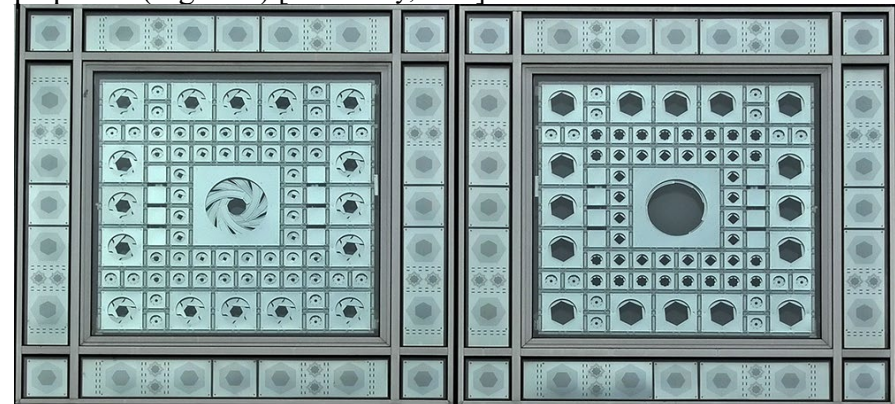


Figura 7: Módulos de la fachada sur del Instituto del Mundo Árabe [T. Winstanley, 2018].

3.5 Los edificios cinéticos y el siglo XXI

El siglo XXI se considera el verdadero punto de partida de la arquitectura cinética, ya que muchos edificios cinéticos se han diseñado y construido en este siglo. Por ejemplo, el muro cinético del aparcamiento del aeropuerto de Brisbane, obra del artista Ned Kahn en Australia (Figura 8). El edificio se construyó en 2011 con el aspecto de una masa de agua vertical y olas tranquilas. La fachada está formada por 250.000 paneles de aluminio que se mueven con el viento. En el interior del edificio, el movimiento de la fachada proporciona a las superficies interiores atractivos patrones de luz solar [Delana, 2015]. También se presenta un diseño innovador de cubiertas

retráctiles en el diseño del Nuevo Estadio Mercedes-Benz de Atlanta (Figura 9). El tejado tiene forma de rosa y consta de ocho paneles que se abren en diagonal como la abertura de una cámara [Jewell, N, 2015].

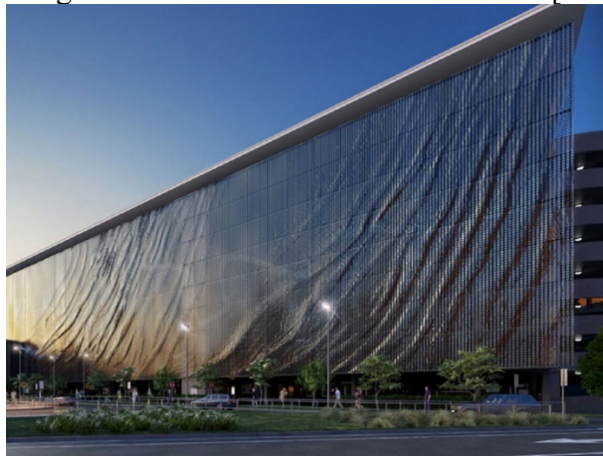


Figura 8: Fachada cinética del garaje del aeropuerto de Brisbane y sus paneles [Delana, 2015].



Figura 9: Nuevo estadio en forma de rosa de Mercedes-Benz" en Atlanta [Jewell, N, 2015]

4. Aplicaciones de la arquitectura cinética

Existen diversas aplicaciones de los sistemas cinéticos en la arquitectura. William Zuk y Roger H. Clark definen ocho tipos de aplicaciones de los sistemas cinéticos en su libro *Arquitectura*

Cinética. En este documento los resumimos en tres categorías principales: sistemas de estructuras cinéticas, interiores y fachadas cinéticas. En el apartado siguiente se define cada aplicación (Figura 10)

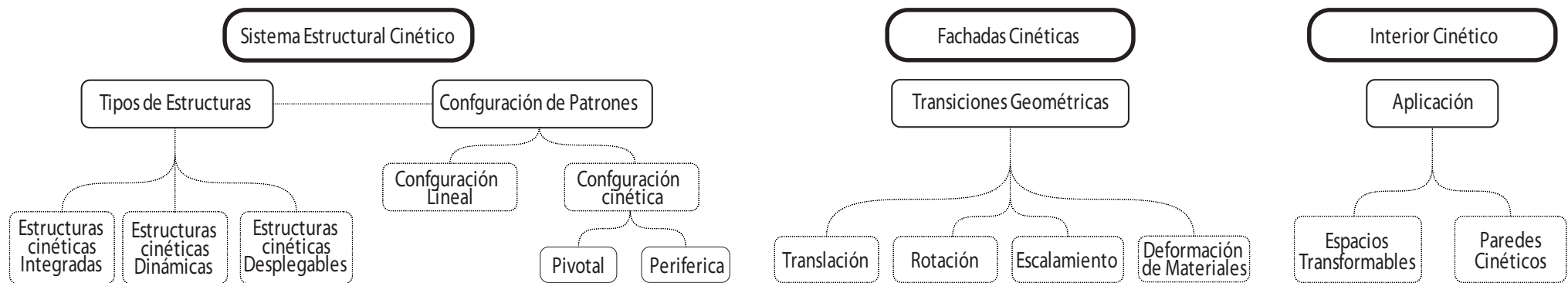


Figura 10: Aplicaciones de la arquitectura cinética

4.1 Sistemas de estructuras cinéticas

Los sistemas de estructuras cinéticas se definen como edificios y componentes de edificios con movilidad, ubicación y geometrías variables. Los medios de actuación de una solución estructural cinética pueden ser: plegarse, deslizarse, expandirse y transformarse tanto en tamaño como en forma. Por otra parte, los medios de actuación de una solución estructural cinética pueden ser: neumáticos, químicos, magnéticos, naturales o mecánicos" [M.C. Phocas, 2013]. Por último, las estructuras cinéticas pueden clasificarse en tres grupos (Figura 11).

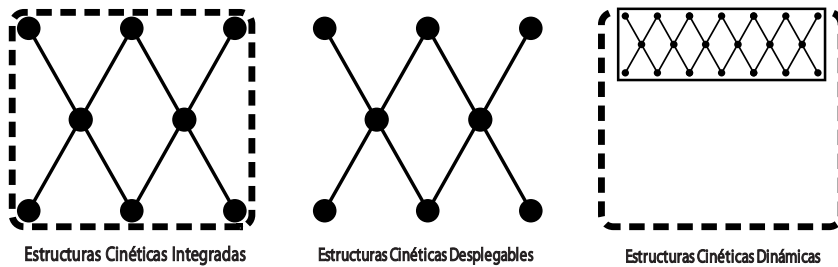


Figura 11: Categorías de estructuras cinéticas [M.C. Phocas, 2013]

4.1.1 Estructuras cinéticas empotradas

Forman parte de un sistema arquitectónico mayor en una ubicación fija. Su objetivo es controlar el sistema arquitectónico principal o el edificio, en respuesta a factores variables como estructuras que amortiguan los terremotos. [J. Moloney, 2011]

4.1.2 Estructuras cinéticas desplegadas

Son fácilmente transportables y suelen existir en una ubicación temporal. [R. Velasco, 2015]

4.1.3 Estructuras cinéticas dinámicas

También forman parte de un sistema arquitectónico mayor, pero actúan de forma independiente con respecto al control del sistema general.

Pueden subcategorizarse como: [J. Moloney, 2011]

- 1) Sistemas móviles: pueden desplazarse físicamente de un espacio arquitectónico a otro.
- 2) Sistemas transformables: pueden cambiar su forma para adoptar otra configuración tridimensional. Por lo tanto, suelen utilizarse para ahorrar espacio o por necesidades de utilidad.
- 3) Sistemas cinéticos incrementales: pueden añadirse a un edificio o sustraerse de él.

Por otra parte, los dispositivos cinéticos pueden organizarse en patrones en dos o tres disminuciones para crear diferentes estructuras cinéticas. Además, hay muchos diseños de patrones posibles, los más comunes son:

a. Configuración céntrica:

Este tipo depende de un punto central como punto focal del espacio, y existen dos tipologías de patrones en esta configuración [C. Stevenson, 2011]:

- **Pivotante:** se organiza a partir de un elemento de soporte principal (pivote) en el centro de la forma y normalmente los dispositivos cinéticos de esta estructura se disponen para ser accionados hacia delante y hacia atrás desde el centro hacia el perímetro de la forma. La estructura tipo paraguas es un gran ejemplo de esta configuración.
- **Configuración periférica:** se organiza en una serie de elementos de soporte colocados en el perímetro de la forma como la cubierta retraída del centro de tenis Qi Zhing en China (Figura 12).

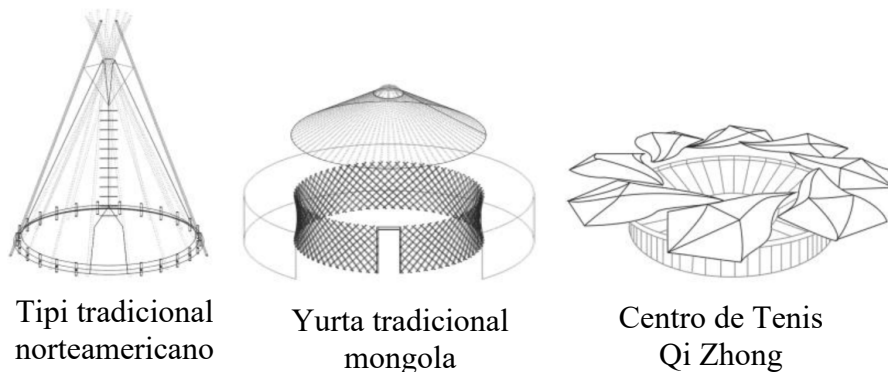




Figura 12: Estructuras arquitectónicas cinéticas con configuración céntrica [C. Stevenson, 2011]

Tabla 1: Ejemplos de sistemas de estructura cinética

| Configuración Céntrica | |
|---|--|
| Pivotante | Periférica |
| Proyecto: Sombrillas de la Mezquita de An-Nabawi Arquitecto: Mahmoud Bodo Rasch y SEFAR Architecture Localización: Al-Madina Al Monawara, Arabia Saudita | Proyecto: Centro de Tenis Qizhing Arquitecto: Mitsuru Senda Localización: Shanghai, China |
|  |  |
| Figura 13: Sombrillas de la Mezquita de An-Nabawi [30] | Figura 14: Centro de Tenis Qizhing [31] |

a. Configuración Lineal:

Este tipo depende de un eje recto o curvo que está formado por una serie de módulos, denominados dispositivos cinéticos, que están unidos por sus aristas o sus vértices para transmitir el movimiento de uno a otro (Figura 15). A continuación, la Tabla 1 ilustra un ejemplo de cada tipo de Sistema de Estructura Cinética [C. Stevenson, 2011].

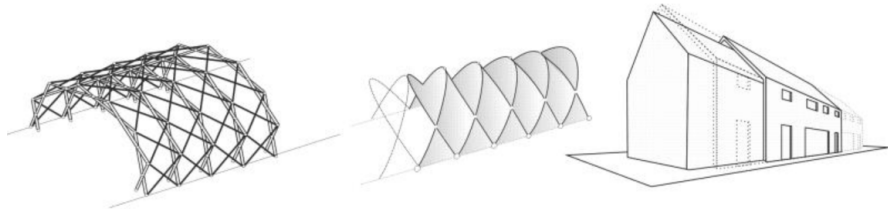


Figura 15: Estructuras arquitectónicas cinéticas con configuración lineal [C. Stevenson, 2011]

4.2 Interior cinético

Esta aplicación del concepto de diseño cinético abarca desde fachadas de tiendas hasta paredes cinéticas. En este documento se resumen las principales categorías de esta aplicación:

4.2.1 Espacios transformables

A lo largo de la historia, los arquitectos y diseñadores de interiores han intentado que nuestros espacios vitales y de trabajo sean más dinámicos y transformables para satisfacer las necesidades de sus habitantes. La idea se aplica a muchos niveles, desde el mobiliario multiusos a los espacios espaciales flexibles (Figura 16).



Figura 16: Maqueta de las diferentes opciones de adaptación de la vivienda por Kalhoefer Korschildgen [S. Murray, 2008]

4.2.2 Muros cinéticos

Los muros cinéticos se utilizan para dejar la impresión de que responden a nuestras acciones. Esta impresión se crea mediante un conjunto de elementos conectados. La respuesta se crea mediante tres estrategias diferentes [O. Schaeffer, 2010]:

1) Captación de movimientos por medios centralizados utilizando una cámara. A continuación, se aplica un análisis informático inductivo posterior de las imágenes tomadas para realizar un cálculo centralizado de una reacción correspondiente.

2) Captura de datos por medios descentralizados a través de sensores aplicando luego un análisis deductivo. Posteriormente se deduce la reacción correspondiente según un cálculo centralizado.

3) Recogida de datos por medios totalmente descentralizados. Entonces la reacción directa y local es tomada por un gran número de pequeños elementos.

4.3 Fachadas cinéticas

El concepto de fachadas cinéticas consiste en utilizar la transformación geométrica para crear un movimiento en el espacio. Este movimiento afecta a la estructura física o a las propiedades de los materiales de las fachadas del edificio sin afectar a la estructura de este.

la estructura del edificio. Hay muchas clasificaciones de fachadas cinéticas, la más común se basa en la transformación de la fachada. Como se muestra en la Figura 17, las fachadas cinéticas pueden moverse en el espacio mediante cuatro transiciones geométricas [R. Velasco, 2015]:

1) Traslación: El movimiento se produce en una dirección vectorial

2) Rotación: El objeto se mueve alrededor de todos los ejes

3) Escalado: Se trata de una expansión o contracción del tamaño.

4) Deformación del material: depende de las propiedades cambiantes del material, como la masa o la elasticidad.

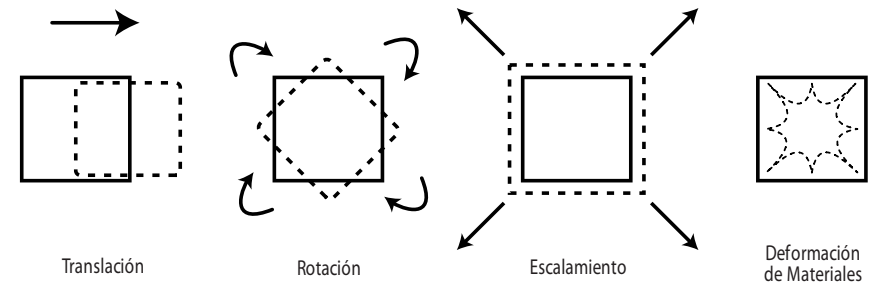


Figura 17: Esquemas de transiciones geométricas para fachadas cinéticas [J. Moloney, 2011]

5. Casos de estudio

Los tres casos de estudio escogido para este trabajo son obras internacionales representativas y simbólicas de diferentes épocas, desde los años 80 de siglo pasado hasta las obras más modernas de años 2010. Los tres proyectos están categorizados por sus distintos componentes arquitectónicos cinéticos: fachada, cubierta y volumetría.

5.1 Fachada cinética: Instituto del Mundo Árabe, París, Francia, 1987, Jean Nouvel

Programa: Museo, auditorio, biblioteca, restaurante, oficinas

Arquitecto: Jean Nouvel

Año: 1987

Ubicación: París, Francia

Área construida: 16.912m²

Coste: 5 000 000 €

Componente cinético: Fachada sud del edificio

Material: Aluminio, Armadura de Acero, Vidrio

El Instituto del Mundo Árabe construido en París por el arquitecto francés Jean Nouvel el año 1987, fue una de las arquitecturas cinéticas más pionera de aquella época. Con finalidad de promover y difundir la cultura árabe, creó este lugar de encuentro e intercambio entre Francia y el mundo árabe. Por este motivo, el arquitecto quiso basarse el diseño arquitectónico y constructivo del proyecto en la representación de los elementos tradicionales de la arquitectura árabe-musulmana tanto en el diseño espacial como en las fachadas del edificio. No obstante, Jean Nouvel fusionó ambos estilos, contemporáneo e islámico dentro del mismo edificio. La fachada norte contiene componentes más típicos de la arquitectura occidental, acristalada en acero. La fachada más interesada es la de sur, reinterpretó una serie de figuras geométricas, símbolo de la cultura árabe denominada “Mashrabiya”(مشربية) – que es una

ventana mirador con celosías – en cada pieza de cristal realizándola de una forma nueva y dinámica combinado con la nueva tecnología.

5.1.1 Funcionalidad: condición ambiental, luz, ventilación

La fachada cinética sud tiene doble funcionalidades, una función estética y otra función más práctica. Por un lado, las figuras geométricas como los patrones en celosías empleado en cada pieza de cristal son símbolos a la cultura árabe; por otro lado, la apertura y cierre de estos elementos tiene la función de adaptarse el confort térmico y lumínico de espacio interior controlando la entrada de luz natural.

5.1.2 Sistema constructivo y materialidad

La fachada cinética está compuesta por 240 paneles cuadrados de celosía metálica que se asemeja a los patrones de geometría árabe. Cada módulo de ventana está compuesto por una célula fotoeléctrica más grande en el centro y otras más pequeñas de dos distintos tamaños dispuestas geométricamente en el vidrio, son semejantes al diafragma de una cámara de fotos, que se abren cuando reciben menos luz exterior y viceversa. En total contiene 16.320 módulos y están conectados a sensores fotosensibles que les controla de acuerdo con la intensidad lumínica exterior permitiendo hacia interior un manejo de la luz natural.

El sistema estructural de esta fachada se construye a partir de armadura de acero envolviendo la forma general de la fachada del edificio. Los materiales utilizados son: el acero inoxidable, aluminio, vidrio, plástico y mármol.

5.1.3 Eficiencia energética

Aunque esa idea de la fachada cinética es bastante fresca en aquella época, al fin y al cabo, esa fachada dejó de funcionar por su mal estado mecánico y también por su gran coste energético para operar la apertura y el cierre de los diafragmas de la fachada. Habrá que ponerse en duda, si de verdad sale más a cuenta, dejar la entrada de luz natural tal y como está asumiendo el gasto del acondicionamiento del edificio, o bien controlarla gastando más energía en el funcionamiento de los componentes cinéticos.

5.1.4 Estética

En este proyecto, la fachada cinética sí tiene su función estética, la apertura y el cierre de estos componentes hace referencia a la arquitectura tradicional de árabe-musulmán. A pesar de que al final dejaron de funcionar, estas figuras geométricas siguen siendo de gran interés a los visitantes del edificio.

5.2 Cubierta cinética_ Mercedes Benz estadio, Georgia, Estados Unidos, 2017, HOK

Programa: estadio de multiusos

Arquitecto: HOK

Año: 2017

Ubicación: Atlanta, Georgia, Estados Unidos

Área construida: 185.805m²

Coste: 1400 000 000\$

Capacidad: 71.000 asientos

Componente cinético: Cubierta del edificio

Material: panel polímero ligero y transparente, estructura metálica

El Estadio Mercedes-Benz es un estadio multiusos situado en Atlanta, Estados Unidos. Inaugurado en agosto 2017 fue diseñado por la compañía de arquitectura HOK. Se destaca por su cubierta cinética la cual se puede abrir y cerrar como la apertura de una cámara, dependiendo de la condición ambiental exterior. El característico tejado del estadio sólo ha sido posible gracias a las modernas innovaciones arquitectónicas y de ingeniería.

5.2.1 Funcionalidad

La cubierta cinética en este tipo de proyecto tiene una funcionalidad sobre todo práctico. Abre y cierra según las necesidades y los eventos que celebran en el estadio. Controla la entrada de rayo solar y aire, protege de la lluvia, regulando entonces la temperatura y humedad interior. Además, gran parte de la estructura está cubierta con el material ETFE, es un tejido duradero y ligero. Su naturalidad translúcida permite la iluminación natural del estadio, incluso cuando los pétalos móviles están en posición cerrada.

5.2.2 Sistema constructivo y estructural

Para la construcción de la cubierta, se utilizó un sistema estructural metálico que soporta paneles polímeros ligeros y translúcidos ETFE para los pétalos de la cubierta y las fachadas. Las propiedades del material de recubrimiento le permiten ajustar su opacidad para controlar la luz. El techo se compone de ocho “pétalos” translúcidos de 60 metros de largo. Los pétalos, que se activan mediante un control centralizado, parecen girar al abrirse, pero en realidad se deslizan sobre 16 raíles para abrirse en línea recta. El techo se abre y se cierra completamente en un intervalo de ocho minutos.

5.2.3 Eficiencia energética

Situado en un clima templado de Atlanta, está cubierta cinética permite obtener una eficiencia energética al edificio mejorando la iluminación natural, y al mismo tiempo, favorece la ventilación natural minimizando el consumo de energía. Aparte, fue el primer estadio deportivo profesional de Norteamérica con certificación LEED Platino, y es considerado como el estadio más sostenible del mundo. Tienen cisterna bajo el estadio para captar el agua de lluvia y regar los árboles de la zona. También posee más de 4000 paneles solares, los cuales genera 617 kilovatios-hora de energía al año.

5.2.4 Estética y geometría

La geometría de la cubierta cinética se inspiró en el óculo del antiguo Panteón de Roma. Su geometría ha permitido llegar a salvar una luz estructural de 60 metros. Este estadio cuenta además con el primer tablero de vídeo halo del mundo. Se basa su tamaño y geometría en la abertura del tejado, creando una forma de halo que se integra en la arquitectura del estadio. Estéticamente, ofrece a los aficionados una experiencia de cine en directo que sirve de lienzo para muchas formas de medios digitales.

5.3 Volumen cinético_ The Shed, New York, 2019, Diller Scofidio + Renfro, Rockwell Group

Programa: galerías, teatro, laboratorio, espacio para eventos

Arquitecto: Diller Scofidio + Renfro, Rockwell Group

Año: 2019

Ubicación: Manhattan, Nueva York, Estados Unidos

Área construida: 18.580m² (volumen cinético 1500m²)

Coste: 436 000 000 \$

Componente cinético: volumen del edificio 139x130x110

Material: Panel polímero translúcido y ligero, Estructura de acero

El Edificio Bloomberg de Shed de Nueva York, diseñado por Diller Scofidio + Renfro y Rockwell Group, se inauguró en 2019 después de once años de fabricación. El edificio cuenta con ocho niveles para galerías, un laboratorio creativo y un espacio para eventos. Igualmente, diseñó un armazón exterior telescópico de 120 metros que se despliega sobre el edificio base y se desliza por los raíles hasta cubrir su plaza y apropiándosela. Las puertas grandes en los lados norte y este se pueden abrir para convertirse en un pabellón al aire libre. Se trata de un edificio como “una arquitectura de infraestructura”, todo músculo sin grasas y sensible a las necesidades cambiantes de los artistas.

5.3.1 Funcionalidad

Se le denomina volumen cinético, ya que crea un espacio totalmente nuevo. La plaza exterior público colindante se convierte en un espacio interior privado como parte del edificio The Shed. Tiene una función práctica de extender la superficie de programa, crear un espacio totalmente libre de una altura de 30m con luz, sonido y temperatura controlada para actuaciones, instalaciones y eventos a gran escala.

Este nuevo espacio generado por el volumen permite la carga y descarga de camiones para amueblar las primeras plantas del edificio, permitiendo entonces una facilidad de instalación. El espacio es tan flexible que, en varias ocasiones, se celebraron varias bodas y fiestas privadas.

5.3.2 Sistema constructivo y estructural

El almacén móvil de 37 metros de altura está hecho de un marco de diafragma de acero en diagonal, está revestido de almohadillas translúcidas de un polímero duradero y ligero ETFE, deja pasar la luz y resiste vientos de velocidad elevada. Esta caja móvil se desplaza sobre un raíl de dos ruedas, una transmisión de cremallera lo mueve hacia delante y hacia atrás en un intervalo de cinco minutos.

5.3.3 Eficiencia energética

El cobertizo tiene un diseño de bajo consumo de energía que utiliza un sistema de calefacción radiante dentro de la construcción de la plaza y un sistema de enfriamiento y calentamiento de aire forzado.

variable que sirve a las partes de carcasa para lograr la máxima eficiencia. Como consecuencia, si bien el almacén móvil gasta energía, con la nueva tecnología es más eficiente y compensa la energía gastada con el material bioclimático e instalaciones de bajo consumo empleado en todo el edificio.

5.3.4 Geometría y estética

Tanto el color y su materialidad como la geometría y el gran tamaño de este componente cinético, el edificio ha ganado popularidad en la ciudad representando entonces un icono llamativo en Manhattan.

6. Conclusión

En este artículo se ha presentado la arquitectura cinética como un nuevo concepto de diseño de edificios. Existen muchos conceptos relacionados con la arquitectura cinética, como la arquitectura inteligente, la arquitectura interactiva, la arquitectura receptiva y la arquitectura adaptativa. Pueden parecer similares, pero cada concepto se centra en un punto específico y pretende alcanzar unos objetivos concretos.

La pasión del arquitecto es de construir para servir, de diseñar y soñar con un futuro mejor. Pero la realidad es diferente, los tiempos cambian tan rápido que nos sentimos desbordados, que los tiempos nos sobrepasan y los edificios se quedan congelados en el tiempo sin servir su función imaginada por el arquitecto. La tecnología cinética permite el cambio, la ampliación y adaptación a las necesidades en una era donde es difícil no aburrir las nuevas generaciones. En los tiempos que vivimos existe mucha presión sobre el arquitecto para llegar a diseñar edificios eficientes, que su costo justifique su función. Con los ejemplos que hemos expuesto, podemos decir que una de las soluciones arquitectónicas al problema del calentamiento global es adoptar esta manera de construir, para dar a los diseños arquitectónicos eficiencia, ahorro de recursos materiales, recursos humanos, y ambientales sin olvidar el tiempo que nos ahorramos.

Esta filosofía quizás nos permita alargar la vida de los edificios y, por lo tanto, construir menos edificios, utilizar menos materiales y finalmente cuidar a este planeta que es nuestra casa.

7. Referencias bibliográficas

- L. Prussin, Architecture in Northern Ghana, University of California Press, 1969
- Bernard Rudofsky, Architecture Without Architects, 1964
- F. Trubiano, Design and Construction of Highperformance Homes: Building Envelopes, Renewable Energies and Integrated Practice, Routledge, New York, 2013.
- H. Bier, T. Knight, "Digitally-driven architecture," Footprint: Delft School of Design journal, (6), 2010.
- K. Sherbini, R. Krawczyk, (2004). "Overview of intelligent architecture," In Proceedings of the 1st ASCAAD International Conference, pp. 137-152, 2004.
- M. Fox, M. Kemp, Interactive architecture (Vol. 1), Princeton Architectural Press, New York, 2009.
- K. Oosterhuis, X. Xia, E. J. Sam, Interactive Architecture, Episode publishers, Rotterdam, 2007.
- N. Gu, Computational Design Methods and Technologies: Applications in CAD, CAM and CAE Education, IGI Global, 2012.
- C. Pan, T. Jeng, "Exploring sensing-based kinetic design for responsive architecture," In Proceedings of the Conference of Computer-Aided Architectural Design
- Research in Asia (CAADRIA), pp. 285-292, 2008. V. Podborschi, M. Vaculenco, "Natural Shapes: A Source of Inspiration for Eco-Design," inhabitat.com, Dec. 25, 2015, www.inhabitat.com/atlanta-falcons-new-stadium-useskinetic-architecture-to-retract-rose-petal-roof
- K. Velikov, G. Thün, "Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms," in Design and Construction of High-Performance Homes, F. Trubiano (eds.), Korea Research Institute of Eco-Environmental Architecture, Seoul, 2014.
- M.A. Fox, B.P. Yeh, (2000). "Intelligent kinetic systems in architecture," in Managing interactions in smart environments, P. Nixon, G. Lacey, & S. Dobson (Eds.), Springer, London, 2000.
- J. Moloney, Designing kinetics for architectural facades: state change, Taylor & Francis, New York, 2011.
- R. Kronenburg, Architecture in motion: the history and development of portable building. Routledge, London, 2013.
- C. Randl, Revolving architecture: a history of buildings that rotate, Swivel, and Pivot. USA: Princeton Architectural Press, New York, 2008, P 75.
- L. Alter, "Villa Girasole: Rotating House Follows the Sun," treehugger.com, Dec. 15, 2017, [Online].www.treehugger.com/corporateresponsibility/1935-villa-girasole-rotating-housefollows-the-sun.html
- M. Emanuel, Contemporary architects, Springer, Berlin, 2016.
- A. Pickering, The cybernetic brain: Sketches of another future, University of Chicago Press, Chicago, 2010.
- L. Bullivant, 4dspace: Interactive Architecture (Architectural Design), John Wiley & Sons, London, 2005.
- S. Mathews, "The Fun Palace: Cedric Price's experiment in architecture and technology," A Journal of Speculative Research, 3(2), pp. 73-92, 2005.
- M. Fox, Interactive Architecture: Adaptive World, Princeton Architectural Press, New York, 2016.
- F. Alotaibi, (2015). "The Role of Kinetic Envelopes to Improve Energy Performance in Buildings," J Archit Eng Tech, 4(3) pp. 1-5, 2015.
- M.C. Phocas, "Initiations and Future Directions in the Development of Kinetic Structures for Earthquake Resistance," J Archit Eng Tech, 2013.

- A. Trajkovsk, How Adaptive Component Based Architecture Can Help with the Organizational Requirements of the Contemporary Society? (MSc thesis), University of Tokyo, 2014.

- K. Easterling, (2012). "An Internet of things," E-flux Journal, (31), 2012.

- T. Winstanley, "AD Classics: Institut du Monde Arabe," archdaily.com, Jan. 28, 2018, <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institutdu-monde-arabe-jean-nouvel>

- Delana. "Another Wave in the Wall: Vertical Lake Building Facade," web urbanist.com, Oct. 20, 2015, www.weburbanist.com/2010/07/23/another-wave-in-the-wall-vertical-lake-building-facade

- Jewell, N. "The Atlanta Falcons New Rose-Shaped Stadium Opens and Closes Like a Camera Aperture." inhabitat.com, Dec. 25, 2015, www.inhabitat.com/atlanta-falcons-new-stadium-useskinetic-architecture-to-retract-rose-petal-roof

- M.C. Phocas, "Initiations and Future Directions in the Development of Kinetic Structures for Earthquake Resistance," J of Archit Eng Tech, 10 (2), 2013.

- R. Velasco, A.P. Brakke, D. Chavarro, (2015, July). "Dynamic façades and computation: towards an inclusive categorization of high performance kinetic façade systems," In Proceedings of The International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures, pp. 172-191, 2015.

- C. Stevenson, "Morphological principles of kinetic architectural structures," In Proceedings of The Adaptive Architecture Conference, pp. 1-12, 2011.

- "High-Tech Giant Umbrellas Improve Al-Masjid al- Nabawī," designlike.com, Feb. 12, 2018, www.designlike.com/high-tech-giantumbrellas-improve-al-masjid-al-nabawi-mosquesnatural-micro-climate/

- M. Asefi, "Transformation and movement in architecture: the marriage among art, engineering and technology," Procedia-Social and Behavioral Sciences, 51, pp. 1005-1010, 2012.

- N. S. Morris, "AT&T Stadium," Architecture for Non Majors, Mar. 10, 2018,

<http://archgened.oucreate.com/uncategorized/attstadium-2/>

- S. Murray, S. Whibley, D. Ramírez-Lovering, Re Housing. RMIT Publishing, Melbourne, 2008.

- O. Schaeffer, M. Vogt, Move: architecture in motiondynamic components and elements, Birkhäuser, Basel, 2010.

- A. Soar, "Hexi Responsive Wall," cultureandlife.co.uk, Oct. 17, 2015, www.cultureandlife.co.uk/2014/02/27/hexi-responsivewall

- O. Schaeffer, M. Vogt, Move: architecture in motiondynamic components and elements, Birkhäuser, Basel, 2010.

- A. Ritter, Smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhäuser, Basel, 2007.

- R. S. El-Din, "Kinetic Wall," arch2o.com, Nov. 16, 2015, <http://www.arch2o.com/kinetic-wall-barkow-andleibinger>