



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA



Trabajo Final de Grado 2016-2017
Universidad Politécnica de Valencia
Autor: Jose Gamón Soriano
Tutor: José María Fran Bretones
ERT: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia (ETSAV)
Fecha: 07 de Septiembre de 2017

LA FACHADA INTELIGENTE

una arquitectura
con efecto

Frente a la tendencia de reducción del impacto medioambiental y consumo de energía, surge la necesidad de una mayor aplicación de las nuevas tecnologías en la arquitectura.

Aparecen así los Responsive Building Elements (RBSs), tecnologías capaces de aprovechar las propiedades del entorno, entre ellas las Advanced Integrated Façades (AIFs), fachadas que mediante un comportamiento dinámico reaccionan a las condiciones de los medios que separan con el fin de reducir el gasto energético y maximizar las condiciones de confort del interior.

El presente trabajo aborda el uso de la fachada activa tanto en el marco actual como en la proyección futura. Profundiza en como se está abordando su aplicación. Describe el futuro impacto medioambiental y social que provocará, con una estimación de la influencia de las nuevas tecnologías y materiales en su futura construcción.

Palabras clave: eficiencia energética, elemento pasivo, fachada inteligente, impacto medioambiental, nuevas tecnologías, optimización de fachadas, condiciones de confort.

Enfront de la tendència de reducció de l'impacte mediambiental i consum d'energia, sorgeix la necessitat d'una major aplicació de les noves tecnologies en l'arquitectura.

Apareixen així els Responsive Building Elements (RBSs), tecnologies capaces d'aprofitar les propietats de l'entorn, entre elles les Advanced Integrated Façades (AIFs), façanes que mitjançant un comportament dinàmic reaccionen a les condicions dels medis que separen amb la finalitat de reduir la despesa energètica i maximitzar les condicions de confort de l'interior.

El present treball aborda l'ús de la façana activa tant en el marc actual com en la projecció futura. Profunditza en com s'està abordant la seua aplicació. Descriu el futur impacte mediambiental i social que provocarà, amb una estimació de la influència de les noves tecnologies i materials en la seua futura construcció.

Paraules clau: eficiència energètica, element passiu, façana intel·ligent, impacte mediambiental, noves tecnologies, optimització de façanes, condicions de confort.

Responding to reducing environmental impact and energy consumption trends, there is an emerging need for a more extensive use of new technologies in architecture.

Thus appears the Responsive Building Elements (RBSs), technologies which are able to take advantage of environment properties, among them the Advanced Integrated Façades (AIFs), façades that by means of a dynamic behavior, react to the environment conditions in order to reduce the energy consumption and maximize the interior's confort conditions.

The present work deals with the use of active façades not only in the current framework, but in the future projection. It deepens into how its application is being addressed. It describes the social and environmental impact that will cause, with an estimate of new technologies and materials influence in its future construction.

Keywords: energy efficiency, passive element, smart façade, environmental impact, new technologies, façade optimization, confort conditions.

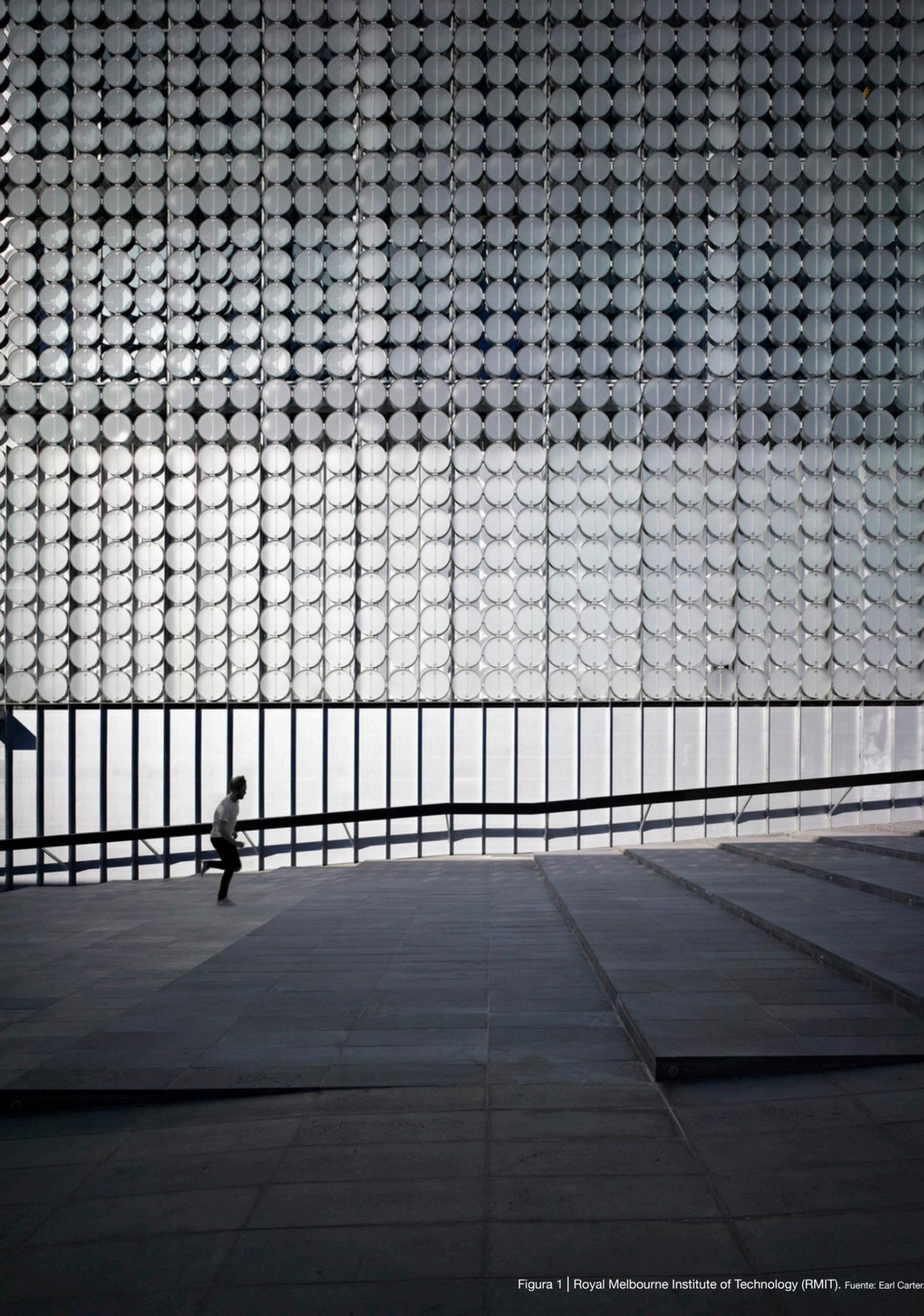
00. Resumen y palabras clave	01
00. Objetivos y metodología.....	05
01. Introducción	
1.1 La adaptación como necesidad creciente.....	09
1.2 Hagamos retrospectiva	09
1.3 Responsive Building Elements (RBEs)	10
1.3.1 Advanced Integrated Façades (AIF)	12
1.3.2 Thermal Mass (TM)	13
1.3.3 Earth-to-Air Exchanger and Earth Coupling (ETAHE + EC)	14
1.3.4 Dynamic Insulation Walls (DIW)	16
1.3.5 Phase Change Material (PCM)	17
1.4 RBE complejos	19
00. Bibliografía Capítulo 1	21
02. Activa vs. pasiva	
2.1 Los conceptos	25
2.2 La fachada inteligente	26
2.2.1 Ventajas.....	27
2.2.2 Limitaciones	28
2.2.3 Repercusión	29
00. Bibliografía Capítulo 2	31
03. SMART: causa y efecto	
3.1 Las exigencias.....	35
3.1.1 El confort	35
3.1.2 Normativa Española	45
3.1.3 Normativa Europea	47
3.1.4 Eficiencia energética, entre Europa y España	50
3.2 Los estímulos y las reacciones.....	51
3.3 Una Fachada Integrada Avanzada (FIA).....	57
3.3.1 Fachadas Ventiladas Transparentes (FVT)	59
3.3.1.1 Fachada Climática (FC).....	59
3.3.1.2 Fachada de Doble Piel (FDP).....	59
3.3.2 Fachada Ventiladas Opacas (FVO)	62
3.3.3 Sistemas de Ventanas Avanzadas (SVA)	63
3.3.4 Fachada Cinética (FC)	64
00. Bibliografía Capítulo 3	65
04. Estudio de casos	
4.1 Commerzbank Headquarters.....	69
4.2 Council House 2	73
4.3 Richard J. Klarchek Information Commons	77
4.4 Experimental Media and Performing Arts Center	81
4.5 Surry Hills Library and Community Center	85
4.6 Vivian and Seymour Milstein Family Heart Center	89
4.7 1Blight Street	93
4.8 NBF Osaki Buildin	97
4.9 Abu Dhabi Investment Council	101
4.10 Marcella Niefhoff School of Nursing.....	105
00. Bibliografía Capítulo 4	109
05. Recopilación de estrategias y prototipos	113
06. Conclusión	
6.1 Entorno a los conceptos	117
6.2 Entorno a la eficacia (inversión/eficiencia energética)	118
07. Bibliografía	
7.1 Autores recorridos por orden alfabético.....	124
7.2 Webgrafía recorrida por orden alfabética.....	125
08. Referencia fotográfica & tablas	123

El objetivo principal del presente trabajo es sumergirse en la evolución de la fachada hacia el comportamiento dinámico. Se pretende responder a preguntas como ¿Qué es una fachada inteligente? ¿Cómo funciona una fachada inteligente? o ¿Es realmente eficiente disponer de este tipo de fachadas?. Por ello es necesario empezar definiendo los conceptos generales que engloban este tipo de elementos y, posteriormente, centrarse en la fachada inteligente propiamente dicha.

Para su realización, se acudió a publicaciones de comités y agencias privadas dedicadas expresamente a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y a la eficiencia energética en la construcción como IEA-ECBCS (International Energy Agency - Energy in Buildings and Communities Programme) y a artículos y libros de profesionales especializados como Kamil Sharaidin, Marco Perino o Russell Formeyer.

Tras definir los conceptos generales se procede a analizar el funcionamiento de las fachadas inteligentes. Se determinan las exigencias ineludibles que estos elementos deben cumplir y la conjugación de estas con los estímulos recibidos tanto exteriores como interiores.

El trabajo finaliza con el análisis y comparación de diferentes fachadas inteligentes en edificios reales emplazados en Europa, Asia, América y Australia con tal de conocer los diferentes procedimientos que utilizan las fachadas para lograr el confort interior en diferentes climas y si es realmente eficaz disponer de este tipo de fachadas.



01

Introducción

Primeros conceptos, "RBE": Responsive Building Element.

La arquitectura, en constante evolución, precisa de arquitectos con una gran capacidad de adaptación, obligados a la incesante investigación de nuevos materiales, tecnologías y sistemas de construcción. Es por ello que, en el presente TFG, se pretende un acercamiento a las, ahora sonadas y ya utilizadas, fachadas inteligentes concepto que engloba los términos anteriores y que seguro será el futuro de la arquitectura, un futuro necesario e inevitable.

1.1 La adaptación como necesidad creciente

[1] *“La pared bacteriana es la primera barrera que permite a las bacterias protegerse y comunicarse con su entorno. Por tanto, la regulación de la síntesis de esta envoltura celular es fundamental para la supervivencia de la bacteria en respuesta a los cambios ambientales”*

Si bien estamos llenos de ellas, no somos bacterias y no disponemos de una piel que nos proteja del ambiente cambiante, por ello precisamos de la tecnología para protegernos de él, pero los recursos son cada vez más limitados y, consecuentemente, se están implantando nuevas normativas dirigidas a la reducción del consumo de recursos y energía. Ante la creciente rigidez del reglamento son necesarias nuevas soluciones que permitan alcanzar el confort con el uso mínimo de recursos. Estas soluciones van encaminadas a la mejora de la segunda piel, el hábitat. No somos bacterias pero podemos imitarlas, en los últimos años se han lanzado proyectos e investigaciones que aplican las nuevas tecnologías a esta envolvente dando lugar a las llamadas fachadas activas.

1.2 Hagamos retrospección

A lo largo de la historia de la arquitectura la fachada ha sido considerada un elemento de cierre, las paredes de una caja y los arquitectos solo prestaban dedicación a su impacto visual, era un elemento de cierre si pero completamente estetizado. El confort era mayormente alcanzado por elementos auxiliares de acondicionamiento y, por tanto, por un elevado uso de recursos.

Fue en el siglo XIX cuando apareció la “cavity wall”¹ o pared hueca, concepto alejado del sentido común de la época (¿Una pared hueca puede presentar mejores cualidades que una maciza?), pero que tuvo una importante repercusión pues respondía a la corriente higienista del momento que promovía la salubridad por medio de la ventilación y la aireación. Así se alcanzaba un control de humedades y un considerable aislamiento térmico.

Esta evolucionó hasta la fachada convencional, que soluciona los puentes térmicos mediante la disposición de bandas de aislamiento

1 Pared formada por dos hojas y una cámara de aire intermedia.

térmico en los cantos de los forjados, además de utilizar la media caña², sobre el forjado y entre las dos hojas, lo que ayuda a la evacuación de la humedad. A esta le siguieron los muros cortina, fachadas de doble piel ...

En conclusión, podemos decir que fue en el siglo XIX cuando empezó a concebirse la fachada como un elemento más allá de la estética y del cierre de la caja, un elemento altamente funcional y de importancia incuestionable para el alcance de las condiciones de confort. La gran velocidad con la que este elemento ha evolucionado desde entonces no es casualidad, es debido a la ampliación del concepto de confort y a los problemas de la sociedad de las últimas décadas: recursos limitados y cambio climático.

Así concebimos que el diseño y la orientación de la fachada juegan un papel crucial en el consumo energético de un edificio y esta concepción seguirá creciendo conforme lo hagan las restricciones de consumo de recursos y energía. Los aparatos de acondicionamiento son insostenibles si pretendemos que hagan todo el trabajo. He aquí que empezamos a pensar en tecnologías que puedan aprovechar las propiedades del entorno, los Responsive Building Elements.

1.3 Responsive Building Elements (RBE) Elementos Constructivos Reactivos (ECR)

[2] *“Los RBE se definen como elementos de construcción los cuales son usados de forma activa para transferir y almacenar calor, luz, humedad y aire. De esta manera los elementos constructivos son combinados de manera lógica y racional con las funciones de servicio del edificio tales como calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación. El desarrollo, aplicación e implementación de los RBE son considerados pasos necesarios para la mejora de la eficiencia energética del espacio construido”*

Los elementos constructivos del edificio ya no son relegados a una única función, ahora su ámbito es mucho más amplio, no solo pueden abarcar fines arquitectónicos y estructurales sino que también pueden realizar acciones dinámicas de transmisión de calor y fluidos. Así el edificio, como la bacteria de la que habla Felipe Cava, puede regularse respondiendo a los cambios del entorno.

La innovación tecnológica de los últimos años ha definido importantes mejoras de las prestaciones de elementos específicos del edificio como su envolvente. Si bien muchos de los elementos constructivos ofrecen algunas oportunidades para mejorar la eficiencia, el futuro se dirige hacia la incorporación de elementos de comportamiento dinámico en los servicios de acondicionamiento del edificio. Enten-

2 Elemento de mortero ejecutado en la parte inferior del muro, sobre la hoja interior e inclinado hacia el exterior.

diéndose comportamiento dinámico por capacidad de cambiar con el tiempo y adaptarse a los diferentes requisitos de uso, a los propios usuarios y a las condiciones del entorno o medio exterior.

[3] El equilibrio óptimo entre eficiencia energética y las condiciones interiores se garantiza mediante el control inteligente de los RBE. Sólo con la integración de los RBE bajo la supervisión de un control inteligente impulsado por una estrategia adecuada, es posible explotar eficazmente sus potenciales.

ECR		Acción de respuesta						Posibles tipos de ECR
		Intervención		Comportamiento físico				
Sistema constructivo	Elemento	Superficie	Interior	Flujo de calor	Almacenamiento térmico	Transparencia	Permeabilidad	
Envoltente	Pared							FIA (FVT, FVO, TFI, OFI, CS, AMT), AD, MCF
	Cubierta							CIA (CVT, CVO, CFIT, CFIO, CCS, CMAT), AMT, AD, MCF
	Techo							AMT, MCF
	Ventana							FIA (Swindow)
Superestructura	Pilar/viga							AMT, MCF
	Muro de carga							AMT, MCF
	Suelo de carga							AMT, MCF
Subestructura	Pilotes							AMT, AT
	Vigas de cimentación							AMT, AT
Estructura bajo tierra	Intercambiador de calor tierra-aire							AT
Acabados	Partición							AMT, AT
	Suelo							MCF
	Techo							MCF

Figura 2 | Aplicaciones potenciales de los ECRs en la construcción.

Fuente: elaboración propia, mejora de calidad y traducción de la imagen original, Ad van der Aa. (2011) [3].

- FIA-FVT: Fachada Ventilada transparente
- FIA-FVO: Fachada Ventilada Opaca
- FIA-TFI: Fachada Transparente Fotovoltaica Integrada
- FIA-OFI: Fachada Opaca Fotovoltaica Integrada
- FIA-CS: Colector Solar aire/agua Integrado
- FIA-MAT: con Materiales Aislantes Transparentes
- AMT: Activación de masa térmica
- AD: Aislamiento Dinámico
- MCF: Materiales de Cambio de Fase
- CVT: Cubierta Ventilada Transparente
- CVO: Cubierta Ventilada Opaca
- CFIT: Cubierta Fotovoltaica Integrada Transparente
- CFIO: Cubierta Fotovoltaica Integrada Opaca
- CCS: Colector Solar aire/agua Integrado (Cubierta)
- CMAT: Materiales Aislantes Transparentes (Cubierta)

Así, los principios clave de un RBE se basan en la capacidad de generar una respuesta basada en:

- Comportamiento dinámico.
- Adaptabilidad.
- Multitarea.
- Control inteligente.

Los RBE se pueden clasificar en función de la respuesta que ofrecen: superficial, interna o física.

- Respuesta interna y en superficie: RBE que cambian las condiciones de la superficie de una construcción y, por tanto, el comportamiento físico de la misma. Además de cambiar su flujo de energía térmica.
- Flujo de calor: Estos RBEs ofrecen un aislamiento térmico adaptable. El flujo de calor es proporcional a la nivel de aislamiento y a la distancia de separación entre elementos. Reducen la demanda de calefacción y refrigeración al aumentar el nivel de aislamiento en invierno y reducirlo en verano, además de controlar la cantidad de energía solar que se transmite a través de los huecos de fachada.
- Almacenamiento de energía: algunos RBE tienen la capacidad de almacenar energía térmica en períodos de exceso de calor y liberarla posteriormente en períodos de demanda de calefacción, reduciendo así la demanda energética.
- Transparencia: es el caso de RBE con transparencia adaptativa respecto a la radiación solar, es decir, modulan su transparencia de acuerdo a la longitud de onda de la radiación.
- Permeabilidad (ventilación): RBE con un rendimiento de ventilación adaptable. El flujo de calor generado es proporcional al caudal de aire desplazado. Al regular el flujo de aire exterior, se controla el intercambio de calor con el exterior.

Según "IEA - Anex44"³, los RBE cuyas perspectivas de mejora e implementación en el sector de la construcción parecen ser las más prometedoras son:

[2] [3]

1.3.1 Advanced Integrated Façades (AIF)

Fachadas Integradas Avanzadas (FIA)

Este sistema materializa la relación entre las condiciones físicas/climáticas de un lugar y los requisitos del espacio interior. Proporcionando las funciones básicas de una fachada y minimizando, al mismo tiempo, el consumo energético.

³ IEA Implementing Agreement Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Annex 44

Son el actual desarrollo de lo que empezó con los principios de la arquitectura pasiva y evolucionó, originalmente, en fachadas de doble piel y, recientemente, en fachadas inteligentes, pasando de ser un elemento estático a tener un comportamiento dinámico. Este RBE se desarrollará en los siguientes capítulos

1.3.2 Thermal Mass Activation (TMA)

Activación de la Masa Térmica (AMT)

Uso de la masa del edificio para almacenar energía térmica y poder, posteriormente, calefactar o refrigerar el edificio. Se pueden utilizar para reducir las variaciones de la temperatura exterior y gestionar los flujos de energía en el edificio de manera eficiente. La “Masa Térmica” puede estar tanto en el exterior (muros, cubiertas, elementos expuestos a la variación térmica exterior) como en el interior (elementos expuestos a las condiciones y aire del interior) del edificio.

Los componentes activos del edificio son piezas térmicamente pesadas de la construcción (paredes, techos, pisos o en pisos entre plantas en edificios de varios pisos), que están equipadas con conductos para la circulación de aire o tuberías para la circulación del agua. Utiliza la capacidad de almacenamiento térmico de las losas de hormigón en cuyo centro están incrustados los tubos que transportan agua para calefacción y refrigeración. La circulación del agua activa la masa térmica de la losa, que no sólo tiene un efecto directo de calefacción-refrigeración, sino que también reduce la carga máxima y transfiere parte de la carga fuera del período de ocupación. Debido a que estos sistemas de refrigeración operan a una temperatura del agua cercana a la temperatura ambiente, aumentan la eficiencia de las bombas de calor, los intercambiadores de calor de tierra y otros sistemas que utilizan fuentes de energía renovables.

La aplicación es, por tanto, especialmente adecuada para climas con grandes variaciones diurnas de temperatura y en zonas climáticas moderadas. En cambio, no se recomienda su aplicación en zonas climáticas frías por su limitada capacidad de calefacción y en climas cálidos y húmedos pues puede dar lugar a problemas de condensación, lo que conllevaría al uso de sistemas de ventilación adicionales para bajar el punto de rocío del aire interior. Este sistema es aplicable en edificios residenciales, comerciales y oficinas.

El tiempo de respuesta del sistema es bastante largo debido a su alta masa térmica. Por lo tanto, un control de habitación individual no es razonable, sino que la solución adecuada es un control de zona (sur-norte, 3ª planta-1ª planta, ...) donde la temperatura del agua de suministro, la temperatura media del agua o el caudal pueden diferir de zona a zona.

El edificio de oficinas de Bertelsmann C. Verlag GmbH en Munich, Alemania, utiliza el sistema de calefacción y refrigeración de losas. Se combina con un sistema de ventilación mecánica y radiadores como un sistema de calefacción adicional Figura 3. Las oficinas tam-

bién están equipadas con ventanas abiertas. En los espacios con mayor carga interna (salas de conferencias), se instaló un techo de refrigeración en suspensión.

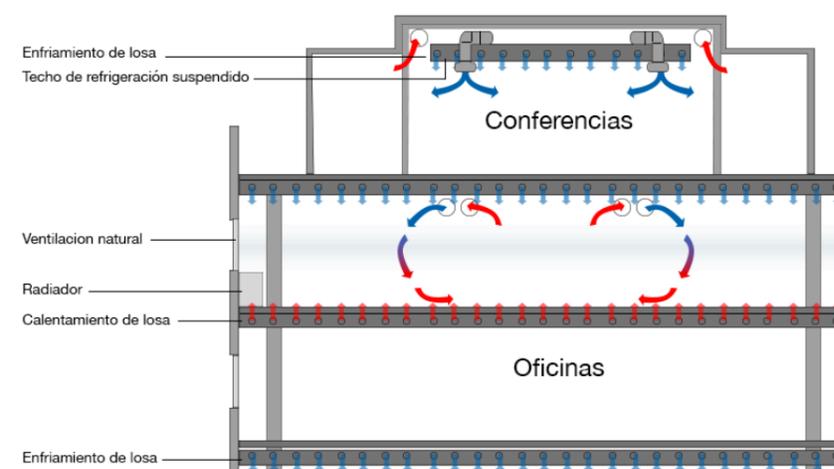


Figura 3 | Esquema del edificio de oficinas de Bertelsmann C. Verlag GmbH (Munich). Fuente: elaboración propia, mejora de calidad y traducción de la imagen original, Olesen (2000)

El edificio se divide en cuatro zonas con tuberías de suministro-retorno separadas de modo que pueden ser enfriadas o calentadas de manera independiente. Las temperaturas de diseño del agua fueron: para enfriar 16 °C de suministro / 19 °C de retorno y para calentar 24 °C de suministro / 22 °C de retorno. La temperatura de suministro se controla por separado para cada zona según una temperatura de zona media basada en varios sensores de temperatura ambiente.

La pequeña diferencia entre las superficies calentadas/enfriadas (agua de suministro) y la temperatura ambiente resulta en un grado significativo de efecto auto-control, ya que un pequeño cambio en esta diferencia de temperatura influirá significativamente en la transferencia de calor entre la superficie enfriada/calentada y el espacio. En casos específicos (sistemas bien diseñados en edificios con cargas de calefacción/refrigeración bajas), una losa de hormigón se puede controlar a una temperatura constante del núcleo (agua) durante todo el año. Si, por ejemplo, el núcleo se mantiene a 22°C, el sistema proporcionará calentamiento a temperaturas ambiente por debajo de 22°C y enfriamiento a temperaturas ambiente por encima de 22°C.

1.3.3 Earth-to-Air Heat Exchanger and Earth Coupling (ETAHE + EC)

Intercambiador de Calor Tierra-Aire y Acoplamiento a Tierra (ICTA + AT)

Se basa en aprovechar la capacidad estacional del almacenaje termal del suelo para ventilar el ambiente interior mediante unos conductos enterrados. Permitiendo un calentamiento del aire frío en invierno y un enfriamiento del aire caliente en verano con el consecuente ahorro de energía.

Por lo general se utiliza para refrigeración, pues la temperatura del suelo suele estar por debajo que la temperatura del interior del edificio, y cuando la temperatura exterior es mucho más baja que la del suelo, pero en este último caso suelen ser necesarios sistemas adicionales de acondicionamiento. La mayoría de sistemas AT se han instalado en edificios de ventilación mecánica (ICTA) y, con tal de reducir el consumo eléctrico, algunos híbridos y otros con ventilación natural. Pero no se limita a una tipología de edificio concreta, se está utilizando en invernaderos, establos, edificios residenciales

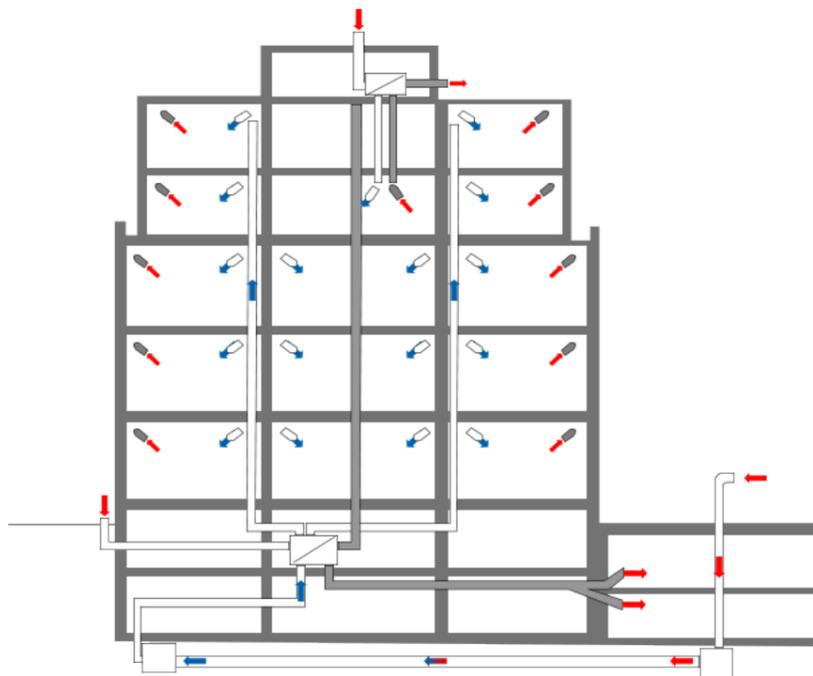


Figura 4 Esquema del edificio Schwerzenbacherhof (Zurich).
Fuente: elaboración propia, mejora de calidad y traducción de la imagen original, Annex 44 [4].

y comerciales. Y para toda zona climática con la diferencia térmica verano-invierno, día-noche suficientemente grande.

El edificio Schwerzenbacherhof es un edificio comercial cerca de Zurich, Suiza, con un consumo de energía de calefacción de 144 MJ/m² por año para 8050 m² de superficie calentada. La Figura 4 es una imagen del edificio con la entrada del ICTA. Hay dos caminos para que el edificio tome aire fresco. El aire puede pasar a través del sistema ICTA debajo del edificio o pasarlo a unidades de manejo de aire independientes.

El ICTA se encuentra a 6 m por debajo de la superficie del suelo, que está por debajo del nivel del agua subterránea y 75 cm por debajo del segundo sótano del edificio. El sistema ICTA se activa en verano cuando la temperatura del aire exterior supera los 22 °C. El aire se enfría a medida que pasa a través de las tuberías, y luego se suministra directamente a los espacios interiores. Cuando la temperatura ex-

terior es inferior a 22 °C, el aire pasa por el ICTA y se recoge directamente desde el exterior. Esto normalmente ocurre durante la noche.

El ICTA proporciona aproximadamente 1/3 del enfriamiento total, y el resto es proporcionado por el enfriamiento nocturno de la masa térmica. Por lo tanto, el ICTA es sólo un suplemento (principalmente durante el día) cuando el enfriamiento nocturno es insuficiente. En invierno, cuando la temperatura ambiente baja por debajo de 7 °C, el ICTA empieza a ser utilizado para proporcionar el precalentamiento. A continuación, el aire de salida de ICTA pasa a través de la unidad de recuperación de calor, que transfiere calor del aire de escape al aire de salida. Esto también ayuda a enfriar el suelo para el próximo verano e impedir la congelación de la unidad de recuperación de calor.

1.3.4 Dynamic Insulation Walls (DIW)

Muros con Aislamiento Dinámico (MAD)

Este sistema combina el aislamiento térmico convencional con la capacidad de intercambio de calor de una pared exterior. Permite precalentar el aire de ventilación reduciendo las pérdidas de calor de la envoltura del edificio y mejorando la calidad del aire interior.

El sistema suele constar de dos partes, una envoltura externa a través de la cual se puede introducir el aire de ventilación desde la parte inferior o superior del mismo y una subcapa de aislamiento dinámico. El flujo de aire suele asegurarse mediante ventilación mecánica, pero los sistemas naturales han resultado ser muy adecuados.

Tiene la ventaja de poder utilizarse en la mayoría de zonas climáticas, sin embargo aún no se ha implementado realmente en el diseño de edificios debido a sus problemas específicos e incertidumbres.

El aislamiento dinámico (AD) describe un enfoque novedoso y eficiente en cuanto a la energía para suministrar aire de ventilación recién filtrada al interior de un edificio a través de un envoltorio de edificio permeable al aire y con aislamiento dinámico. El concepto y el principio de funcionamiento de esta tecnología, se ilustra en la Figura 5. El aire de ventilación entra en el edificio acondicionado (enfriado en verano y calentado en invierno) y filtrado de partículas en suspensión, lo que significa que el elemento AD actúa como fuente de ventilación, intercambiador de calor y como sistema de purificación de aire.

La pared con aislamiento dinámico se compone usualmente de las siguientes capas principales:

1. Una envoltura externa. Esto podría ser una losa prefabricada de hormigón armado o una chapa perforada, que permitan pasar al aire de suministro, al menos, por la parte inferior o superior de la de envoltura.
2. Una pared respiratoria (breathing wall), que puede consistir en capas de materiales respiratorios, tales como tablero de paja comprimido, lana mineral, aislamiento de fibra de celulosa, etc.

- Estos materiales crean una baja caída de presión entre el interior y el exterior, permitiendo así que el aire entre en la habitación.
3. Generalmente se utiliza un entrehierro para separar estas dos capas.

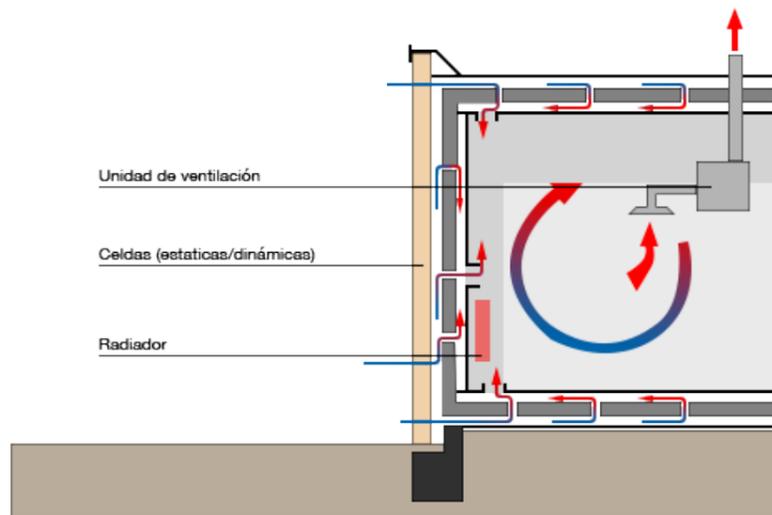


Figura 5 | Esquema funcionamiento del Aislamiento Dinámico (AD).

Fuente: elaboración propia, mejora de calidad y traducción de la imagen original Ad van der Aa. (2011) [3].

En cuanto al consumo de energía, se reclaman los siguientes beneficios para la aplicación de la pared respiratoria:

1. Se requiere menos energía para mantener una cierta temperatura del aire interior, por lo que se reducen los costos operativos de calefacción y refrigeración.
2. Mediante el uso de la pared respiratoria, la pared se convierte en el suministro de aire y el sistema de distribución, lo que reduce el costo de instalación de conductos de ventilación.
3. Como una pared respiratoria generalmente está trabajando en modo contra-flujo, también impide la transmisión del vapor de agua hacia el ambiente interior, reduciendo el riesgo de condensación. Además la pared respiratoria también puede ofrecer una solución eficaz, de baja energía para el problema de contaminación del aire en el entorno, ya que la pared respiratoria puede actuar como un filtro de aire, que ayuda a eliminar partículas en suspensión. Por lo tanto, ayuda a proporcionar una mejor calidad del aire interior y un ambiente interior más saludable.

1.3.5 Phase Change Material (PCM)

Materiales con Cambio de Fase (MCF)

Determinados materiales experimentan un cambio de fase⁴ bajo la presión atmosférica y temperatura ambiente (20 °C y 50 °C), almacenando así grandes cantidades de calor a temperaturas cercanas a su punto de fusión. Con el cambio de fase en curso, el calor se almacena y se libera sin precisar ninguna variación térmica en el ambiente. Esta propiedad se utiliza como la masa térmica vista anteriormente, para aumentar la inercia térmica del edificio y suavizar las cargas de enfriamiento o calentamiento.

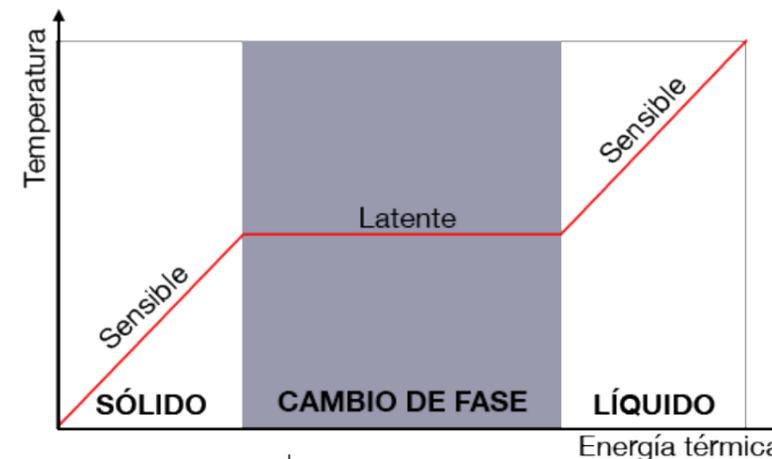


Figura 6 | Energía térmica específica (almacenada) vs. temperatura.

Fuente: elaboración propia, mejora de calidad y traducción de la imagen Ad van der Aa. (2011) [3].

Estos materiales se utilizan en construcciones ligeras y en los HVAC⁵ dando lugar a menor costes de inversión y operativos. Y para que el sistema resulte efectivo la temperatura exterior de la noche debe ser suficientemente menor que la de el día.

Los MCF son materiales de almacenamiento de calor, utilizan enlaces químicos para almacenar y liberar el calor. La transferencia de energía térmica ocurre cuando un material cambia de sólido a líquido, o líquido a sólido. Esto se denomina cambio de estado o fase.

Los MCF no sólo explotan el calor sensible sino también la capacidad de almacenamiento térmico debido al calor latente. La introducción de materiales de cambio de fase en los componentes del edificio puede aumentar considerablemente su masa térmica, sin aumentar sustancialmente el peso. Actúan como "acumuladores" de energía, absorbiendo y descargando calor, manteniendo inalterada su temperatura y evitando así el sobrecalentamiento de los elementos en los que están contenidos.

El calor latente de fusión es la energía empleada para romper el enlace químico. Este proceso comienza cuando la temperatura del material se eleva por encima del punto de fusión. La consecuencia de este proceso es que la capacidad térmica del MCF no es constante, sino que se concentra en un rango de temperatura cercano al punto de fusión. Cuando la temperatura es mayor que el punto de fusión, el material MCF es líquido y cuando la temperatura desciende por debajo del punto de fusión, regresa a la fase sólida.

La ventaja de utilizar un material MCF en comparación con los materiales de construcción tradicionales es su mayor capacidad de al-

4 Cada estado de agregación de la materia (sólido, líquido, gas y plasma).

5 Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC), la tecnología utilizada para alcanzar el confort en los espacios de interior.

macenamiento de energía, con el mismo peso y volumen. Además, la capacidad calorífica variable permite que los elementos de construcción que contienen MCF tengan un comportamiento dinámico, sensible a las condiciones climáticas.

La temperatura de MCF durante el cambio de fase permanece casi constante y próxima a la temperatura de fusión, evitando la oscilación excesiva de las estructuras o elementos constructivos. Los materiales de cambio de fase se pueden clasificar en compuestos orgánicos e inorgánicos y sus mezclas eutécticas, como se muestra

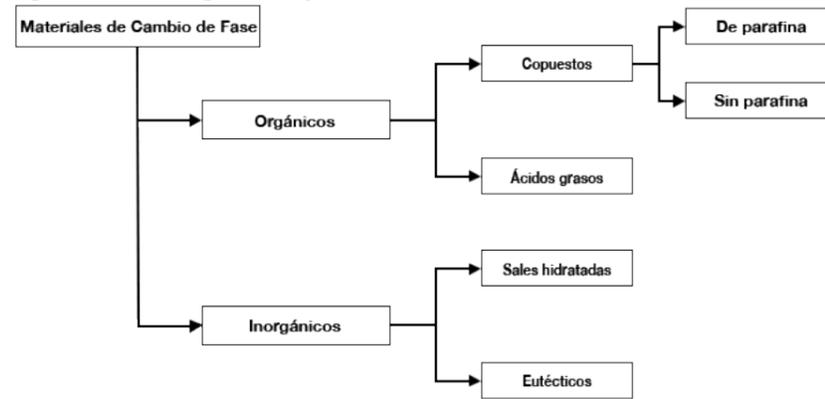


Figura 7 | Tipos de Materiales de Cambio de Fase (MCF).

Fuente: elaboración propia, mejora de calidad y traducción de la imagen original Ad van der Aa. (2011) [3].

en la Figura 7.

Los materiales inorgánicos se caracterizan por un alto calor latente de fusión por unidad de volumen. Los compuestos orgánicos incluyen compuestos orgánicos de parafina y no parafínicos. Las sustancias orgánicas, en comparación con compuestos inorgánicos, son adecuadas para su aplicación en edificios debido a su capacidad de fundirse de manera natural y a su compatibilidad con materiales convencionales de construcción. Una desventaja a considerar es su relativamente alta inflamabilidad.

1.5 RBE complejos

Podemos observar lo complicado que puede ser definir un RBE, si bien podemos clasificarlos en función de la respuesta que ofrecen y darles un nombre genérico (FIA, AMT, AT...) estos elementos engloban conceptos completamente distintos: materiales con propiedades especiales, elementos constituidos por otros materiales, etc.

Es por ello que los RBE no pueden ser comprendidos como elementos sustitutivos unos de otros sino complementarios, pudiendo dar lugar a nuevos elementos que abarcan muchos o incluso todos los conceptos en los que podemos clasificar los RBE y que ofrecen, por

tanto, una respuesta más compleja y con mejores resultados.

Las fachadas inteligentes son un ejemplo de ello, podemos tener una piel que modifique su forma de acuerdo a la inclinación de los rayos solares y/o para mejorar la ventilación interior, compuesta además por materiales con temperatura de fusión bajas para así aumentar la inercia térmica del edificio o con la capacidad de cambiar el aislamiento térmico ofrecido.

Así los RBE “complejos” (terminación propia) dejan de estar tan limitados por las zona climática de aplicación. Su capacidad de adaptación no tiene límites.

00 Bibliografía Capítulo 1

- [1] CAVA, FELIPE. (2011). *Identifican el mecanismo por el que las bacterias logran adaptarse a los cambios ambientales*. Madrid: Nota de prensa CSIC
- [2] PERINO, MARCO. (2008). *State of the Art Review. Volume 2A Responsive Building Elements*. Aalborg University (Denmark): IEA-ECBCS Annex 44
- [3] AD VAN DER AA. (2011). *Designing with Responsive Building Elements*. Aalborg University (Denmark): IEA-ECBCS Annex 44 Integrating Environmental Responsive Elements in Buildings.



02

FACHADA ACTIVA V/S. PASIVA

La fachada pasiva, la fachada activa y la fachada inteligente. Ventajas, retos y repercusión.

2.1 Los conceptos

Los elementos pasivos se diseñan conforme a las condiciones climáticas de la zona, alcanzando el confort sin consumir energía. Utilizan la orientación y materiales del edificio para controlar las pérdidas y ganancias de calor, y la forma del mismo para controlar el flujo del aire.

Estos sistemas precisan de la participación del usuario y, por tanto, de su conocimiento para el correcto funcionamiento del sistema. Y a veces, atendiendo a las limitaciones que puedan tener para alcanzar la zona de confort, requerirán que los ocupantes acepten un rango más amplio de la condición de confort.

Así un elemento pasivo, trabaja por si mismo. La planta, sección y el emplazamiento crean un flujo positivo de energía a través del edificio ahorrando energía.

Lógicamente los elementos pasivos son la solución idónea para climas templados con pequeñas variaciones térmicas entre las épocas de frío y calor. Pero si se encuentran en zonas con variaciones térmicas medias y elevadas, estas precisan la ayuda de elementos de acondicionamiento adicionales para alcanzar las condiciones de confort en el interior.

Al tratarse de elementos estáticos, pueden presentar un correcto funcionamiento frente a condiciones ambientales determinadas pero ofrecer una respuesta contraria a la querida cuando estas condiciones cambian. Un ejemplo es un voladizo, este ofrece sombra en verano impidiendo la entrada de cierta radiación solar, pero también lo hace en invierno, cuando más necesitamos de esa radiación.

Los puntos fuertes de los elementos activos son las carencias de los pasivos. Los RBEs cambian su forma y propiedades para adaptarse a las variaciones ambientales, dando la mejor respuesta posible a las mismas para garantizar el confort en el interior. Así, son idóneas para climas con variaciones térmicas pequeñas, medianas y elevadas.

Con estos elementos el usuario no necesita ampliar su rango de confort, pues será garantizado sean cuales sean las condiciones exteriores. Aunque de ellas dependerán la ayuda o no de elementos de acondicionamiento auxiliares, siempre en mucha menor medida que los elementos pasivos, con el correspondiente ahorro energético.

Además, pueden estar controladas por software, por lo que el usuario no necesita educarse para su correcto funcionamiento. Ellas, por si solas, aprenden y se adaptan, son dinámicas, inteligentes.

Es el caso de las fachadas inteligentes, elementos que materializan sensitiva y visualmente la interacción entre el exterior y el interior y que vamos a desarrollar en el presente trabajo.

2.2 La fachada inteligente

Las Fachadas Integradas Avanzadas (AIF) son un tipo de RBE y pueden considerarse como el desarrollo real de lo que comenzó con los conceptos de arquitectura pasiva y evolucionó hacia el concepto de fachadas inteligentes. Como se ha visto anteriormente, la base de todos estos conceptos es la misma: contribuir a la mejora del entorno interior, reduciendo así los costes operativos y minimizando el uso de iluminación y calefacción/refrigeración. La arquitectura pasiva permite el ajuste a los cambios climáticos mediante el uso de la forma de control más simple y antigua, que ha estado en uso durante siglos: operación manual de persianas y persianas venecianas o la apertura de ventanas. Este tipo de control, sin embargo, puede no abordar problemas de confort, especialmente cuando se trata de grandes edificios. Esto lleva a la necesidad de otros tipos de control sobre la envoltura del edificio.

[4] Mostafa M.S. Ahmed define la fachada inteligente como el uso de sistemas de control ambiental que reaccionan al cambio en las condiciones externas. En las últimas décadas, los avances en sistemas de control electrónicos han hecho que el edificio pueda describirse como inteligente en lugar de adaptable o sensible.

El término inteligente, sin embargo, se utiliza a menudo sin ninguna comprensión realmente profunda de la complejidad que requiere más allá de descripciones comunes como interactivo, adaptable y receptivo. Se entiende que un sistema de envolvente inteligente debe ser dinámico, es decir, capaz de cambiar sus parámetros funcionales principales de acuerdo con las demandas dinámicas de las situaciones cambiantes. De forma ideal, las fachadas inteligentes deben desarrollarse con materiales inteligentes que sean autoalimentados y autoaccionados.

El objetivo de una piel de construcción inteligente es optimizar los sistemas del edificio en relación con el clima, el equilibrio energético y la comodidad humana, normalmente basados en modelos predictivos. Una solución viable en tal situación es el uso de sistemas de fachada dinámicos cuyas propiedades pueden ser controladas activamente para conseguir el comportamiento de funcionamiento deseado en respuesta a las condiciones cambiantes interiores y exteriores. En las consideradas “mejores nuevas soluciones” las fachadas desempeñan múltiples y complementarias funciones en la provisión de ventilación natural, luz natural y templado térmico. Pero esto requiere un alto grado de integración que debe ser pensado ya en la primera etapa del proceso de diseño. También sugiere niveles de integración tecnológica que no se practican rutinariamente en los edificios, aunque se logran de manera consistente en otros sectores manufactureros como las industrias automotriz y aeronáutica.

Es por ello que la fachada inteligente también debería resultar de un “diseño inteligente” en lugar de un simple conjunto de “componen-

tes inteligentes”. Esto implica que el proceso de diseño debe ser integrado con el fin de lograr el confort interior a través de medidas eficientes de ahorro de energía.

Una serie de tecnologías que se utilizan para lograr estos objetivos de ahorro de energía son la ventilación natural, la refrigeración nocturna, la iluminación natural, o climatización asistida por energía solar. Estas tecnologías requieren una interacción efectiva entre la fachada y el edificio. Por lo tanto, el diseñador necesita tener una buena comprensión del rendimiento que podría lograrse. Esta información, que es específica de la aplicación, se puede obtener a través de simulaciones y pruebas.

Al estar estrechamente conectados con los sistemas de energía y control del edificio, un AIF debe contribuir a la sostenibilidad medioambiental y convertir el edificio en una estructura con sensibilidad climática.

El estudio de ejemplos de inteligencia en edificios mostró que la fachada estaba realizando funciones diferentes, lo que influyó en el paso de la energía de los ambientes externos al ambiente interno y viceversa. Las funciones de manipulación se identificaron como:

- La mejora de la luz del día (por ejemplo, estantes ligeros/reflectores)
- La maximización de la luz del día (por ejemplo, acristalamiento de altura completa/aurículas)
- Protección (por ejemplo persianas)
- Aislamiento (por ejemplo, persianas automáticas)
- Ventilación (por ejemplo amortiguadores automáticos)
- La recolección de calor (por ejemplo, colectores solares)
- El rechazo del calor (por ejemplo, overhangs / brise soleil)
- La atenuación del sonido (por ejemplo amortiguadores acústicos)
- La generación de electricidad (por ejemplo, energía fotovoltaica)
- La explotación de diferenciales de presión (por ejemplo, chimeneas de ventilación)

[5]

2.2.1 Ventajas

- **Alto rendimiento.**
Las fachadas inteligentes no están diseñadas para responder a un determinado clima, todo lo contrario, se adaptan a las condiciones exteriores y a las exigencias de confort. Siendo la mejor herramienta para alcanzar el confort en cualquier momento del día.
- **Integra múltiples sistemas en un solo “front-end”**
Análisis avanzado y monitorización del rendimiento en tiempo real. Analiza las condiciones exteriores e interiores y responde en consecuencia.
- **Alertas de mantenimiento mediante alarma.**
Informa al usuario de los posibles errores y averías.

- **Infinitamente personalizable hasta la “oficina individual”.**
La fachada inteligente actúa con el objetivo de alcanzar las condiciones de confort y estas pueden ser distintas en cada planta y habitáculo por lo que la respuesta de la fachada cambiará a lo largo de la misma según las condiciones deseadas.
- **Diseño y personalización elevadas.**
Se trata de fachadas prefabricadas con las que se puede alcanzar el confort por diferentes métodos, estos escogidos por el usuario por criterios de eficiencia y/o estéticos.

2.2.2 Limitaciones

- **Costo alto primero (conocido).**
El coste de diseño, fabricación y puesta en obra son muy elevados pese a ser elementos prefabricados, además precisan de mano de obra cualificada en cada una de las etapas.
- **Costo alto primero (conocido).**
- **Costos altos de mantenimiento (más difíciles de predecir).**
Al tratarse de tecnología puntera y poco estandarizada son pocas las empresas dedicadas a su diseño y las personas que pueden manipularlas, elevándose así el coste de mantenimiento.
- **Software Intenso (actualizaciones periódicas).**
Precisa de actualización y mantenimiento de software constante para la mejora de prestaciones.
- **Problemas de seguridad (nodos direccionables y partes móviles)**
- **Fachadas muy sofisticadas en consecuencia existen mayores tasas de fallas.**
- **Interdependencias ocultas/complejas**
Los problemas de calidad de la información son difíciles de entender y desentrañar pues la información y los procesos organizativos se desarrollan de manera autónoma, pero funcionan interactivamente como parte integral del funcionamiento de las fachadas (en la práctica). En consecuencia, datos, sistemas y procesos de trabajo aparentemente no relacionados pueden afectar a los datos. Las relaciones entre los datos, los procesos de trabajo y las decisiones tienen múltiples capas e impactan entre sí y la organización como un todo aparentemente sin relación.
- **Requiere habilidades nuevas y diferentes.**
Por lo que los costes de formación son sustanciales.
- **Sin un adecuado (es decir, costoso) mantenimiento, el rendimiento se deteriora con rapidez**

2.2.3 Repercusión

El logro de una eficiencia innovadora en el desempeño del edificio requiere una alta integración de trabajo e investigación entre arquitectos, ingenieros, diseñadores de computación y fabricación digital, así como consultores altamente calificados. Discutir los enfoques de diseño en las primeras etapas del ciclo de vida del proyecto es muy importante y tiene un impacto significativo en las decisiones que podrían cambiar la lógica del proyecto arquitectónico.

La incorporación de factores como el sombreado, la iluminación natural y el comportamiento humano en las herramientas de simulación desde el comienzo de la fase de diseño da como resultado un mejor rendimiento y un entorno interior mejorado, que aborda cuestiones de eficiencia energética y comodidad de los ocupantes.

El rendimiento del sistema inteligente depende del proceso de evaluación relativo, incluyendo las demandas de los ocupantes y la funcionalidad del espacio, y por lo tanto, la evaluación de tales parámetros no sigue ninguna norma absoluta. En consecuencia, es necesario involucrar a los ocupantes modelo en la prueba para obtener resultados más confiables, y eso lleva a la importancia de desarrollar herramientas de mayor rendimiento en el campo arquitectónico.

Además, las pieles inteligentes y las fachadas cinéticas pueden conducir a soluciones para un mejor rendimiento energético; Sin embargo, la desventaja de estos sistemas es el alto costo de la instalación, operación, la dificultad del mantenimiento. Estas cuestiones hacen que este tipo de soluciones sean un tema muy polémico, y sin tenerlas en cuenta, las fachadas inteligentes no serán factibles en el mundo arquitectónico real. El arquitecto juega un papel importante en el proceso de diseño y la factibilidad del sistema; Sin embargo, trabajar en tal sistema es una aventura cooperativa y requiere la incorporación de diferentes disciplinas al lado de la arquitectura como mecánica, electrónica, ciencia de los materiales, física y negocios. Todo eso para asegurar una mayor eficacia de rendimiento y un período de recuperación más corto.

00 Bibliografía Capítulo 2

- [4] MOSTAFA M.S. AHMED. (2015). *Development of Intelligent Façade Based on Outdoor Environment and Indoor Thermal Comfort*. Târgu Mures (Romania): 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014.
- [5] T. THUM WILLIAM & BLUMENFELD ANDREW. (2014). *Passive Building Systems vs Active Building Systems and the Return On Investment*. Building Innovation 2014 (Washington D.C.): The National Institute of Building Sciences second anual Conference & Expo.



03

SMART: causa y efecto

La fachada inteligente, estrategias e instrumentos para alcanzar el confort

Las fachadas inteligentes actúan conforme a una serie de parámetros. Trabajan bajo una sucesión de requisitos o exigencias que deben cumplirse, unas fijas como es el caso de la normativa vigente y otras cambiantes que dependerán del usuario, los parámetros de confort. Así el funcionamiento de las fachadas se reducirá al cumplimiento de estas exigencias y actuarán de una manera u otra en función de los estímulos que perciban, estímulos tales como la temperatura del aire o su velocidad, los niveles de humedad en el ambiente, la radiación térmica, etc.

3.1 Las exigencias

3.1.1 El confort

Al tratarse de sensaciones esta exigencia es la más compleja de definir pues, como se ha dicho anteriormente, dependerá del usuario. Por ejemplo, las personas que viven en edificios no acondicionados y con ventilación natural por lo general tendrán más tolerancia al amplio rango de temperaturas de un día de verano. Y además de la disparidad geográfica de la percepción del confort, hay otros factores que pueden afectar la sensación humana del mismo.

Existen seis factores que pueden afectar a la sensación de comodidad, estos son: la velocidad del aire, la temperatura radiante media, la tasa metabólica, el nivel de ropa, la temperatura y la humedad.

Fanger [6], propone un modelo que además de las variables ambientales, considera el nivel de actividad (Met) y el nivel de ropa (Clo). Fanger modeló una expresión graduada para el confort térmico utilizando la escala de siete puntos de ASHRAE⁶ (muy frío, frío, ligeramente frío, neutralidad térmica, ligeramente caliente, caliente y muy caliente). Así, la escala numérica asciende de -3 a 3. El Voto Medio Previsto de Fanger (VMP Predicted Mean Vote) es otro modelo utilizado para expresar el confort térmico. En este modelo, los seis factores que afectan la comodidad se conforman en una ecuación compleja que cuantifica la comodidad según los siete grados. Este índice refleja el valor medio de sensación térmica emitido por una población grande que expresa su comodidad termal en unas condiciones térmicas dadas, realizando la misma actividad física y vistiendo ropa similar.

$$VMP = (0.303 e^{-0.036M} + 0.028) DT$$

M = Ratio metabólico

DT = Desequilibrio térmico⁷

Se deduce que con el índice VMP, es imposible conocer unas condiciones termohigrométricas que satisfagan a la población por las características particulares de cada individuo, pero si satisfacerán a un porcentaje elevado. Así, el índice PIP (PPD - Predicted Percentage

⁶ American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.

⁷ Diferencia entra la producción interna de calor y la pérdida de calor al ambiente.

of Dissatisfied) representa el porcentaje de personas insatisfechas en función del índice PMV.

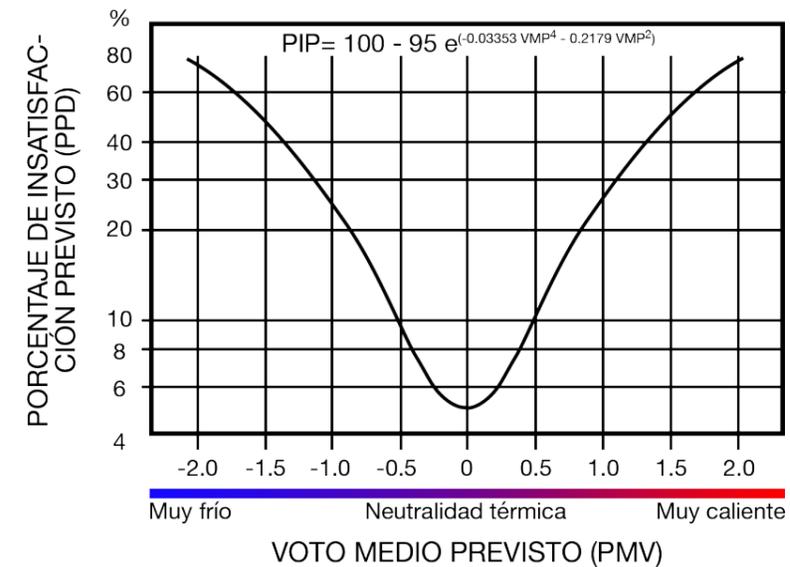


Figura 12 | Porcentaje de Insatisfacción Previsto (PIP) vs. Voto Medio Previsto (PPD)
Fuente: elaboración propia.

[7] ASHRAE ha desarrollado una norma para describir los requisitos de confort en los edificios, se conoce como ASHRAE Standard 55-2004 Thermal Environmental Conditions for Humans Occupancy. El objetivo de esta norma es especificar las combinaciones de factores ambientales térmicos interiores y factores personales que producirán condiciones ambientales térmicas aceptables para la mayoría de los ocupantes dentro del espacio. Una de las características más reconocidas del Standard 55 es la Zona de Confort⁸ ASHRAE.

La Norma permite que los gráficos de confort se apliquen a los espacios donde los ocupantes tienen niveles de actividad que dan como resultado tasas metabólicas (MET⁹) entre 1,0 y 1,3 y donde se usa ropa que proporciona entre 0,5 y 1,0 CLO¹⁰ de aislamiento térmico. La zona de confort se basa en los valores de VMP entre -0,5 y +0,5.

⁸ Rangos de temperatura, humedad y velocidades del aire que un individuo siente agradables.

⁹ Metabolic Equivalent Task
MET < 3 - Actividades de baja intensidad, de dormir (0.9) a caminar (2.9).
3 < MET < 6 - Actividades moderadas, de ejercicio muy ligero (3.0) a ejercicio moderado (5.8).
MET > 6 - Actividades de alta intensidad, de correr (7.0) en adelante.

¹⁰ Clothing and Thermal Insulation - 1 Clo = 0.155 m²K/W
CLO = 0 - Equivale a una persona desnuda.
CLO = 1 - Corresponde al valor de aislamiento térmico de la ropa necesaria para mantener a una persona en comodidad sentado en reposo en una habitación a 21 °C con una velocidad del aire igual a 0.1 m/s y una humedad inferior al 50% (una persona con traje).

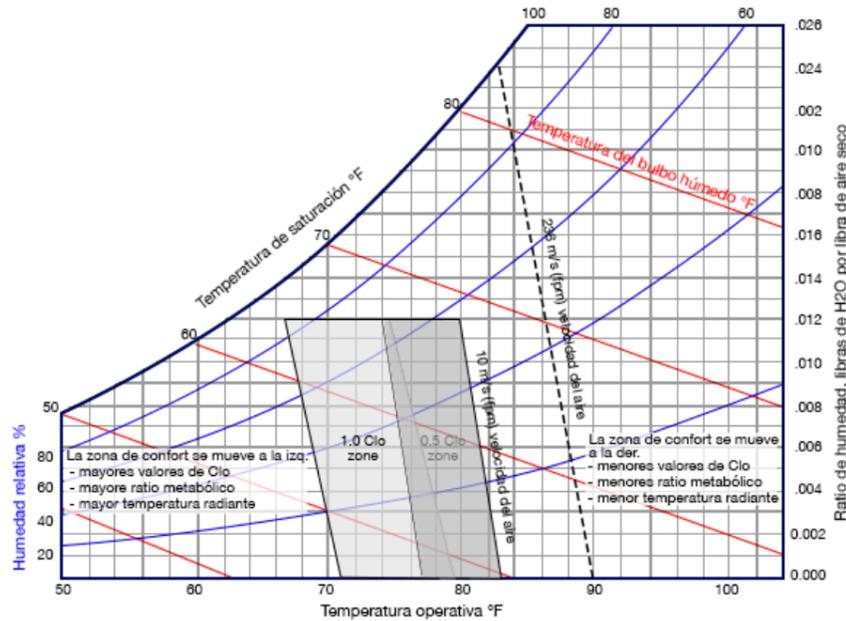


Figura 11 Gráfica psicrométrica del confort térmico publicada en ANSI/ASHRAE Standard 55 Fuente: elaboración propia, traducción del diagrama original de ASHRAE [8].

Humedad relativa: relación porcentual entre el contenido de vapor de agua en el ambiente y la concentración de este en el punto de saturación.

Temperatura del bulbo húmedo: temperatura de saturación adiabática¹¹. Medida por un termómetro de mercurio envuelto en un material especial absorbente de agua como el algodón.

Temperatura operativa: en materia de confort, es la experiencia térmica de una persona en el espacio, la combinación de la temperatura radiante media y la temperatura del aire.

El diagrama psicrométrico permite relacionar fácilmente todos los parámetros que afectan a la sensación de confort y, por tanto, las estrategias necesarias para alcanzar la zona de confort y la efectividad de aquellos elementos como los HVAC y las fachadas inteligentes, entre otros, para alcanzarla. Por ejemplo, para conocer la refrigeración efectiva del aire de una fachada inteligente habría que localizar el punto de estado¹² o el punto de intersección de la temperatura operativa y la humedad relativa, continuar la línea del bulbo húmedo hasta la curva de saturación y leer la temperatura operativa en ese punto de saturación. La diferencia entre la temperatura en el punto original y en el punto final es su refrigeración efectiva.

[8] En general, la selección de estrategias para alcanzar la zona de confort se basan en las condiciones climáticas locales. La identificación de la estrategia adecuada para un lugar determinado se puede realizar mediante diagramas bioclimáticos. Uno de los primeros intentos de asociar a diferentes zonas climáticas diferentes combi-

11 Equilibrio dinámico entre la ganancia de calor del bulbo húmedo, más frío que el aire ambiental, y la pérdida de calor a causa de la evaporación.

12 Punto de intersección entre una línea vertical a la temperatura operativa correspondiente y una línea horizontal al punto de rocío¹³.

13 Temperatura en la que el vapor de agua contenido en el aire empieza a condensarse.

naciones de humedad relativa y de temperatura del bulbo seco fue Victor Ölgay¹⁴.

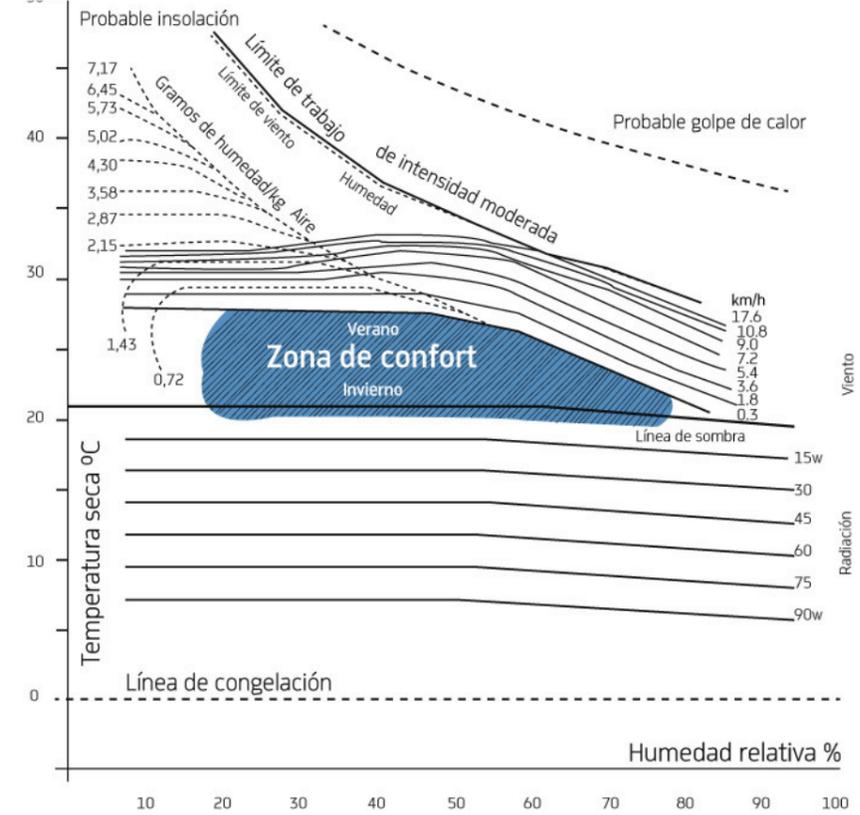


Figura 12 | Diagrama bioclimático de Ölgay. Fuente: MundoHVAC

La zona de confort se muestra en el centro del diagrama de Ölgay. El gráfico toma en consideración los niveles de confort que se pueden sentir fuera de la Zona de confort, pero en combinación con rangos de otros factores climáticos como la temperatura radiante media, la velocidad del viento y la radiación solar.

Por encima del límite inferior de la zona de sombreado es necesario mantener un nivel razonable de confort. Hasta 10 °C por debajo de la Zona de confort, el confort puede mantenerse siempre que haya suficiente radiación solar para compensar la disminución de la temperatura. Del mismo modo, para mantenerlo hasta alrededor de 10 °C por encima de la Zona, es necesario elevar la velocidad del viento para compensar el aumento de la temperatura. El enfriamiento por evaporación de acuerdo con este diagrama es otro medio para mantener la comodidad a altos valores de temperatura, pero a baja humedad.

14 Arquitecto, urbanista y pionero del bioclimatismo. Profesor de arquitectura en la Universidad de Princeton.

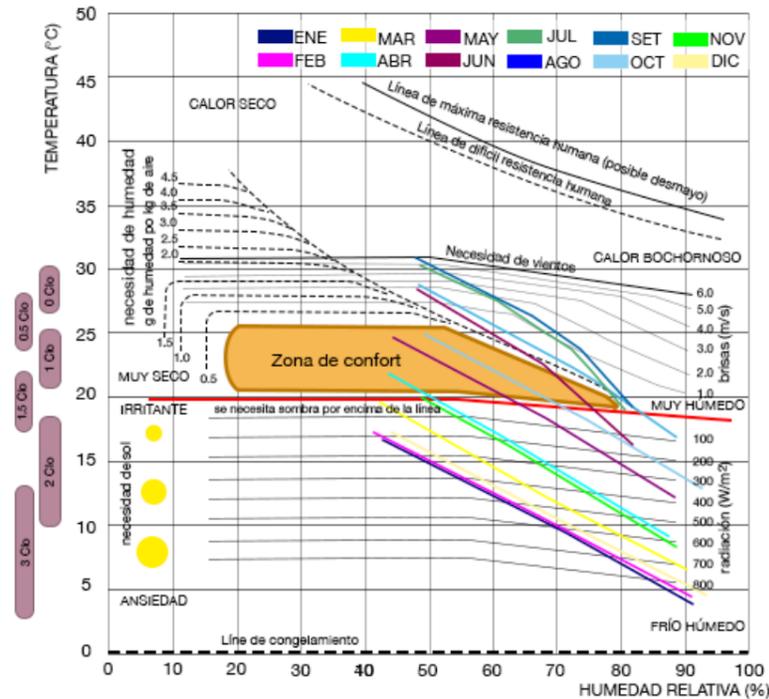


Figura 13 | Diagrama bioclimático de Ölgay para la ciudad de Valencia
Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Martínez Sanz, MA. (2014) [9].

[9] El diagrama de Ölgay para Valencia es solo válido para regiones templadas (latitud 40°). Para utilizarlo en otras regiones hay que elevar el perímetro de la Zona de confort 0.5 °C por cada disminución de 4° de latitud hasta una elevación del perímetro máximo de 30 °C. De la gráfica se extraen las siguientes conclusiones respecto a Valencia: de Noviembre a Abril se debe aprovechar al máximo el soleamiento y evitar las pérdidas de calor por conducción e infiltración de aire del exterior, se debe contar con elementos de sombreado dinámicos para protegerse de la radiación a las horas de mediodía de Mayo y todo el día de Junio a Octubre y entre Junio y Septiembre moderar las temperaturas altas con aporte de humedad y/o ventilación.

Puesto que el diagrama de Ölgay considera solamente las condiciones del exterior que hacen caso omiso de las consideraciones fisiológicas del interior, es solamente aplicable para los climas húmedos calientes donde hay fluctuaciones mínimas entre las temperaturas del interior y las del exterior.

Otro diagrama bioclimático más popular es el de Baruk Givoni¹⁴. Esta gráfica se basa en la relación lineal entre la amplitud de la temperatura y la presión de vapor del aire exterior. El diagrama de Givoni identifica la técnica de enfriamiento adecuada basada en la condición climática del exterior.

14 Arquitecto Israelí, uno de los más reconocidos especialistas en bioclimatismo del mundo.

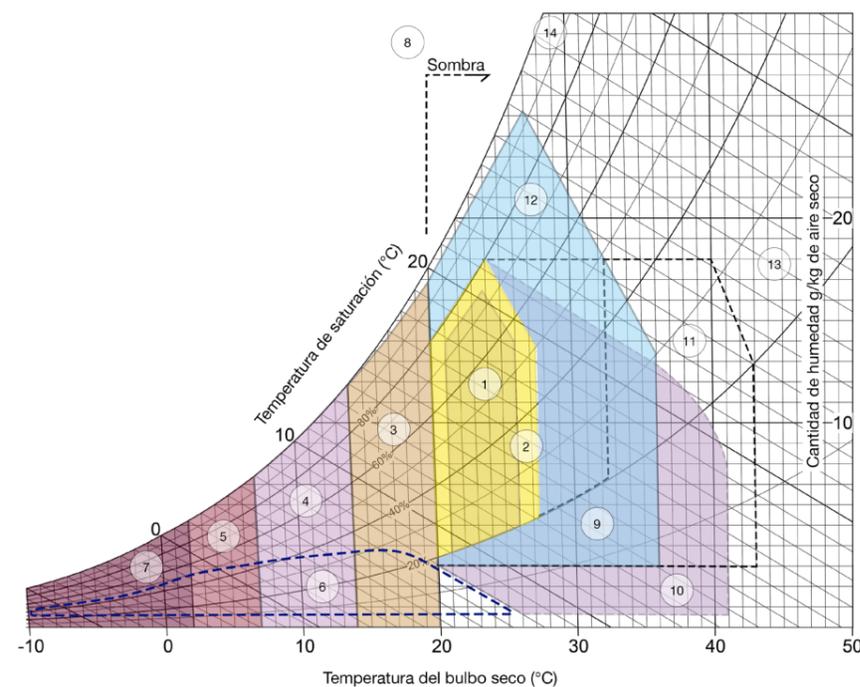


Figura 14 | Diagrama bioclimático de Givoni
Fuente: elaboración propia a partir del diagrama original de Givoni.

- [9]
1. Zona de confort: entre 20 y 26 °C y con porcentajes de humedad relativa entre 20 y 75%.
 2. Zona de confort admisible.
 3. Condiciones controladas por las ganancias internas (usuarios, iluminación y equipos).
 4. Condiciones controladas por sistemas solares pasivos. Más frío que el anterior, también debe combinarse con las ganancias internas.
 5. Condiciones controladas por sistemas solares activos. Zona de mayor frío.
 6. Condiciones de humedad baja. Es necesario aplicar técnicas de humidificación.
 7. Frío intenso que debe controlarse con sistemas calefactarios.
 8. Zonas que precisan protección solar.
 9. Condiciones controlables con la masa térmica (thermal mass). No hay intercambios de humedad.
 10. Condiciones controlables con enfriamiento por evaporación.
 11. Condiciones controlables con ventilación natural nocturna. Se precisa una gran inercia térmica.
 - 12/13. Condiciones controlables con ventilación natural permanente logrado con sistemas mecánicos de ventilación.
 14. Condiciones controlables con ventilación natural permanente y deshumidificación.

El diagrama se utiliza identificando primero la condiciones mensuales promedio. Para cada mes se calcula la temperatura media máxima diaria y se compara con el promedio de la humedad absoluta mínima diaria para formar el primer punto. De la misma manera, la temperatura media mínima diaria se compara con la humedad absoluta máxima diaria para formar el segundo punto. La línea que conecta los dos puntos determinará la estrategia de enfriamiento apropiado para ese mes.

El gráfico de Givoni se aplica principalmente a los edificios residenciales y de oficinas donde la ganancia de calor es mínima. La zona de ventilación natural en el diagrama de Givoni (12) supone que la temperatura radiante media interior y la presión de vapor son las mis-

mas que en las condiciones exteriores; Un supuesto que limita la aplicación de la gráfica en los edificios con masa térmica media-alta, es decir, en los edificios con inercia térmica elevada.

A altas temperaturas, es necesario acondicionar mecánicamente el aire para mantener un ambiente habitable. A la izquierda de la zona de confort (1-2), es necesario calefactar el aire para restablecer el confort mediante radiación solar si el cambio es leve, pero si la temperatura es demasiado baja, es necesario un calentamiento mecánico. El efecto de la masa térmica lo proporciona la construcción pesada que ayuda a absorber el calor que se libera durante la noche. Si el clima es caliente y seco, la ventilación nocturna ayudará a liberar calor a través de las ventanas, asistida por ventilación mecánica si fuese necesario.

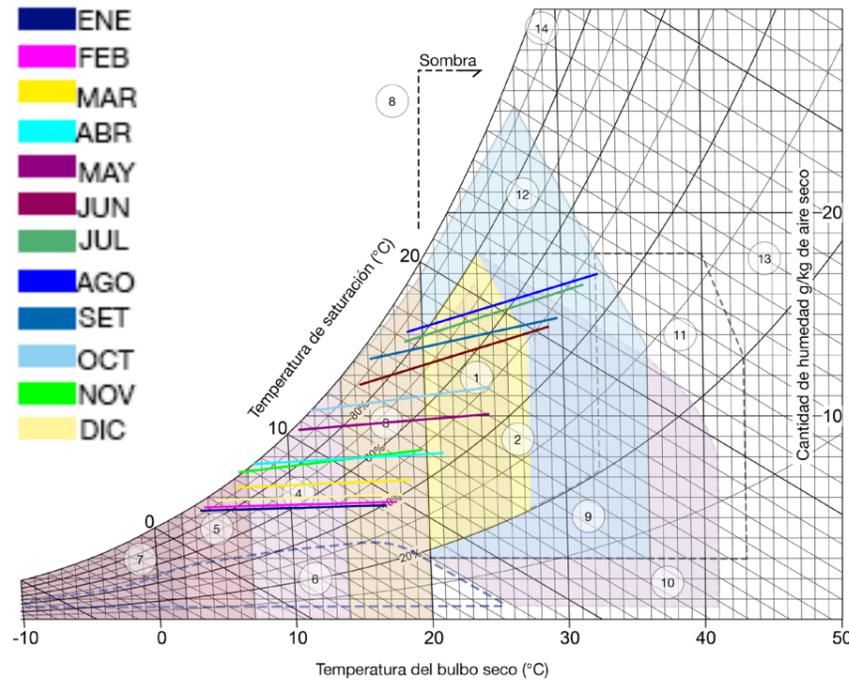


Figura 15 | Diagrama bioclimático de Givoni para la ciudad de Valencia.
Fuente: elaboración propia a partir de datos de Martínez Sanz, MA. (2014) [10]

Del diagrama de Givoni se extraen las siguientes conclusiones respecto a Valencia: en las noches de Diciembre a Marzo es necesario contar con sistemas solares activos y en las horas medias del día se puede alcanzar el confort mediante sistemas pasivos, también necesarios en las noches de Octubre. Las ganancias internas son ideales para lograr el confort durante el horario diurno de Abril y Marzo y en las noches de Junio a Septiembre que precisan de una inercia térmica moderada en el edificio para mantener las temperaturas nocturnas durante el día. En las noches de Julio y Agosto es necesario una ventilación natural permanente y entre Mayo y Octubre hay que prever protección solar.

Los diagramas psicrométricos son muy importantes en muchos aspectos. Son esenciales para el diseño y análisis de sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado (HVAC) y, por tanto, de fachadas inteligentes. Estos cálculos explican las relaciones que conectan las temperaturas del bulbo seco y húmedo, las humidades relativas y absolutas, la entalpía¹⁵ y el volumen específico. También se pueden utilizar para relacionar estos parámetros a una altitud dada.

Otra herramienta con la cual podemos conocer las estrategias idóneas para alcanzar el confort es el Climograma de Bienestar Adoptado (CBA). Este se basa en el diagrama de Öglyay e incorpora las estrategias básicas de la gráfica de Givoni. El programa relaciona las temperaturas medias mensuales y las humidades relativas mensuales del lugar a analizar en función de la actividad metabólica (Met) y el Clo.

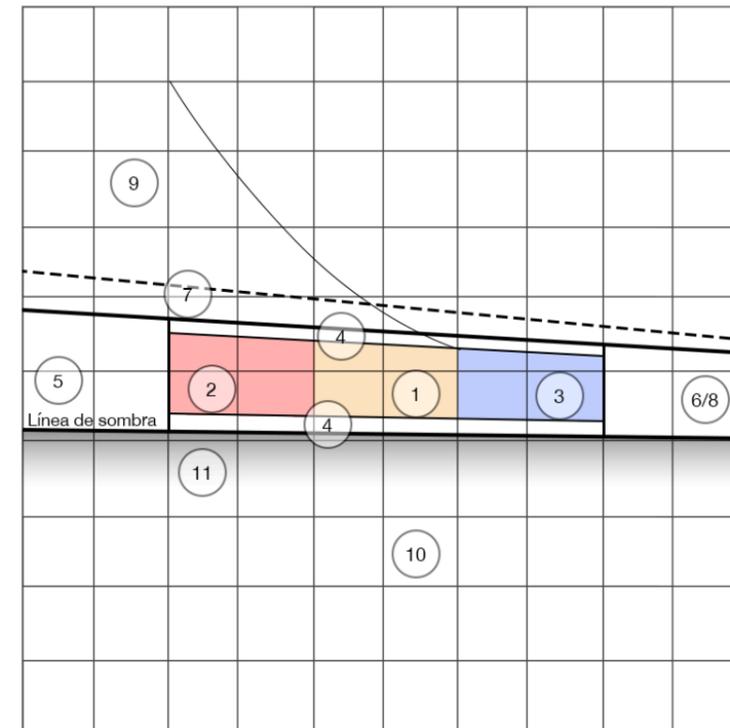


Figura 16 | Climograma de Bienestar Adoptado.
Fuente: elaboración propia.

1. Área de bienestar saludable (menos del 10% de insatisfechos).
2. Área de confort algo seca para la salud (menos del 10% de insatisfechos).
3. Área de confort algo húmeda para la salud (menos del 10% de insatisfechos).
4. Área de bienestar extendida (20% de insatisfechos).
5. Área térmicamente aceptable pero excesivamente seca.
6. Área térmicamente aceptable pero excesivamente húmeda.
7. Zona controlada por la ventilación nocturna y la masa térmica.
8. Zona controlada por ventilación permanente.
9. Zona controlada por el enfriamiento evaporativo y la masa térmica.
10. Zona controlada por la radiación solar y la masa térmica.
11. Zona controlada por las cargas internas.

15 Cantidad de energía que se cede o absorbe en un sistema termodinámico.

Introduciendo en el programa las temperaturas medias mensuales y las humedades relativas medias de la ciudad de Valencia que nos facilita el Banco de Datos Estadísticos de la Ciudad de Valencia [10] e introduciendo los valores de MET y CLO deseados así como las actividades que desarrollarán los usuarios, el programa nos arrojará tres gráficas: INVIERNO, PRIM-OTOÑO y VERANO. Los climogramas indican las temperaturas y humedades relativas a diferentes horas del día: 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 y 24:00. Siendo las horas del mediodía las más calientes.

Por lo general y tomando como referencia los meses de Primavera y Otoño se asume un incremento de la temperatura media radiante de 1 °C en Verano y una disminución de 1 °C en Invierno. Tomando la actividad metabólica como constante en todas las Estaciones y un valor de 0.5 Clo para Verano, 1.0 para Invierno y 0.8 Clo en Primavera y Otoño, se extraen las siguientes estrategias:

En Invierno, al encontrarse bajo la línea de sombra, se precisará de la radiación solar todo el día. En la noche se utilizarán principalmente sistemas activos y a mediodía sistemas pasivos. En Primavera y Otoño se utilizarán las mismas estrategias que en Invierno pero en Mayo y Octubre y en las noches de Junio y Septiembre se utilizarán en menor medida. En las horas diurnas de Junio, Agosto y Septiembre se alcanza el confort sin hacer uso de estrategias. En las noches de Verano se precisan sistemas pasivos y durante las temperaturas medias de los días de Julio habría que prever ventilación natural.

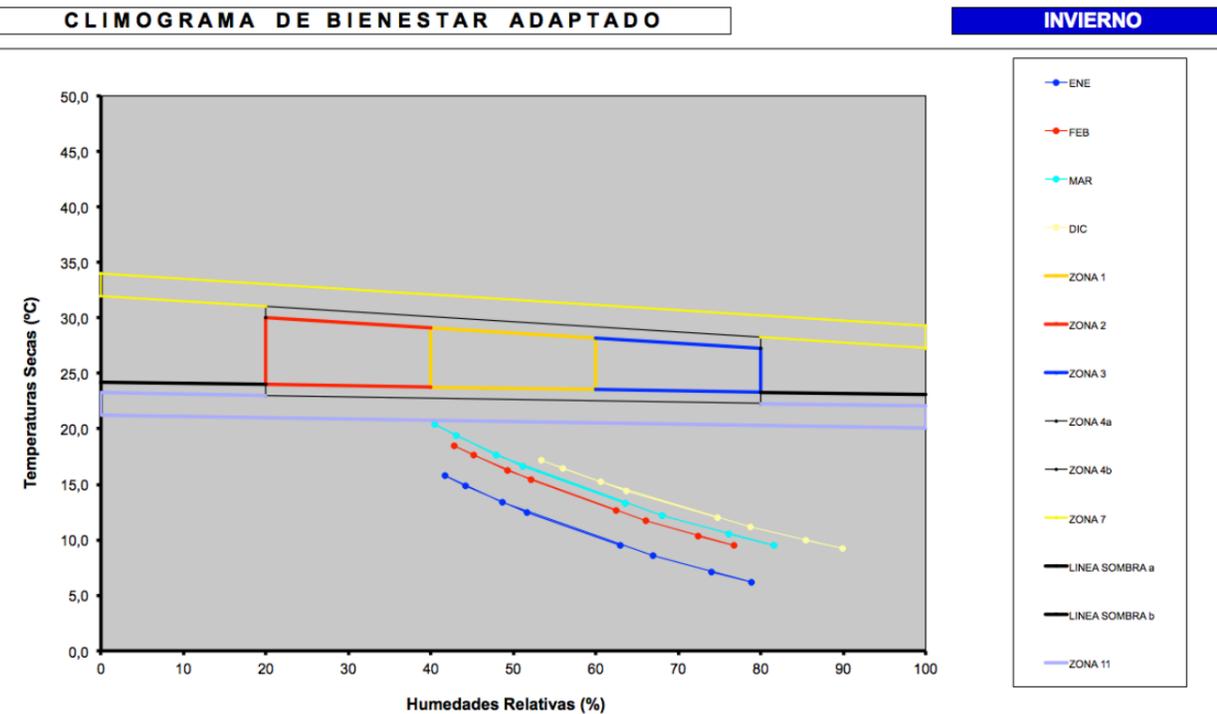


Figura 17 | CBA para Valencia en Invierno. Fuente: elaboración propia con programa Excel, a partir de datos de PEGV [10].

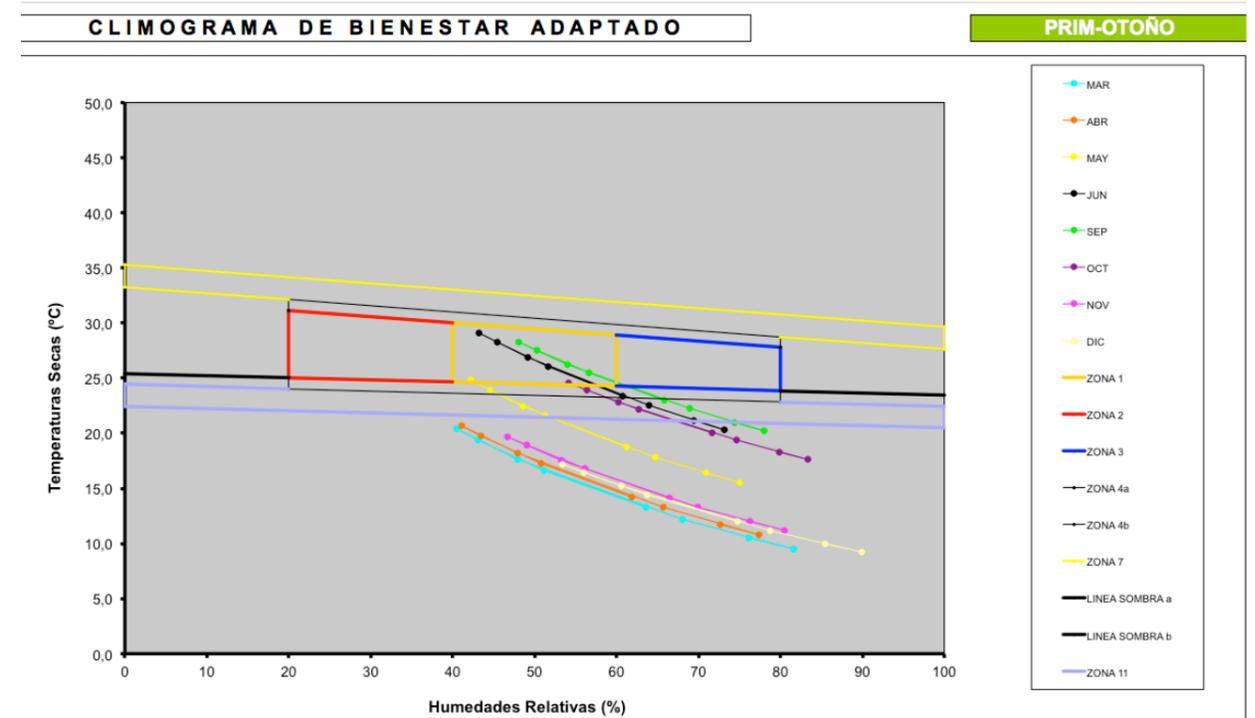


Figura 18 | CBA para Valencia en Primavera y Otoño. Fuente: elaboración propia con programa Excel, a partir de datos de PEGV [10].

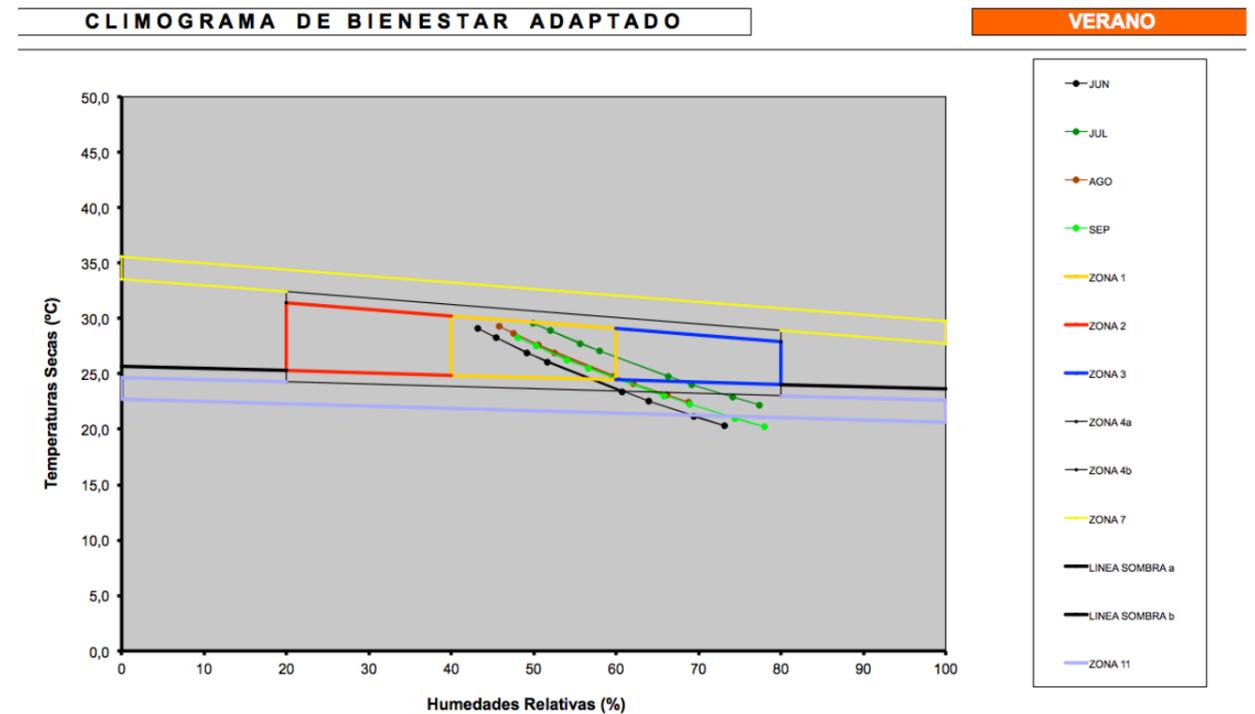


Figura 19 | CBA para Valencia en Verano. Fuente: elaboración propia con programa Excel, a partir de datos de PEGV [10].

Si bien los resultados de los diagramas bioclimáticos de Ölgay y Gi-voni y el Climograma de Bienestar Adoptado arrojan resultados muy parecidos para la ciudad de Valencia, existen ciertas diferencias que pueden llevar a una decisión estratégica equivocada. Por ello no se debe limitar el análisis a una sola herramienta, a mayor abanico de estrategias, mayor acierto en la elección de las mismas y se obtendrá una mayor eficiencia.

3.1.3 Normativa Española

La Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE) fue el primer intento de unificar las normativas españolas enfocadas en la construcción y establecía unos criterios mínimos de seguridad, funcionalidad y habitabilidad. [11] El Código Técnico de la Edificación (CTE), publicado por el Real Decreto 314/2006, es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en función de los requisitos básicos establecidos por la ley del 99.

[12] [13] Las exigencias básicas que regirán la fachada inteligente en el ámbito nacional serán:

- **DB-SE Seguridad Estructural**
“Asegurar que el edificio tiene un comportamiento estructural adecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que pueda estar sometido durante su construcción y uso previsto.”
Determina las acciones que puedan mermar la estabilidad del edificio. En el caso de las fachadas, la carga principal es la del viento.
- **DB-SI Seguridad en caso de Incendio**
“Reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.”
Especifica los riesgos producidos por un incendio que puedan dañar a los usuarios durante la construcción o vida útil del edificio.
- **DB-SUA Seguridad de Utilización y Accesibilidad**
“Reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios sufran daños inmediatos en el uso previsto de los edificios, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.”
Detalla los riesgos producidos durante la construcción y vida útil de los edificios y sus partes que puedan lesionar a los usuarios. En el caso de las fachadas, al tratarse de elementos complejos, los riesgos son elevados tanto en su construcción como en su mantenimiento.
- **DB-HE Ahorro de Energía**
“Conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo

y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.”
Este Documento Básico tiene una exigencia básica en materia de la envolvente del edificio:

“Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.”

- **DB-HR Protección Frente al Ruido**
“Limitar, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.”
Especifica parámetros objetivos y sistemas para que los edificios tengan unas características acústicas adecuadas.
- **DB-HS Salubridad**
“Reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, padezcan molestias o enfermedades, así como el riesgo de que los edificios se deterioren y de que deterioren el medio ambiente en su entorno inmediato, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.”
Determina parámetros objetivos y procedimientos para la superación de los niveles mínimos de calidad en materia de salubridad.
- **Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02)**
“Proporcionar los criterios que han de seguirse dentro del territorio español para la consideración de la acción sísmica en el proyecto, construcción, reforma y conservación de aquellas edificaciones y obras a las que le sea aplicable ...”
Detalla los riesgos producidos por un movimiento sísmico que puedan dañar a los usuarios durante la construcción o vida útil del edificio. Norma de especial aplicación en el caso de que las fachadas inteligentes contengan carpinterías exteriores, que suele ser la mayoría de los casos.

3.1.2 Normativa Europea

Las Directivas (EPBD: Energy Performance of Buildings Directive) constituyen disposiciones normativas que vinculan a cada Estado con una serie de objetivos en un plazo determinado. Estas deben tomarse como base de aplicación sujeta a las particularidades de cada Estado miembro.

[14] [15] Las Directivas (derrogadas y en vigor) que explican la situación actual en materia de eficiencia energética son:

- **Directiva 93/76/CEE (13 de Septiembre de 1993)**
Relativa a la limitación de las emisiones de CO₂ mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE)¹⁶. Primera en obligar a los Estados a reducir el consumo de energía en edificios de uso residencial. Se establece la certificación energética para la clasificación energética de un edificio. Derogada por la Directiva 2006/32/CEE.
- **Directiva 2000/55/CE (18 de Septiembre de 2000)**
Se acuerda el compromiso 20-20-20 el cual pretende que en el año 2020 se logre una reducción del 20% (o incluso del 30%) de las emisiones de gases de efecto invernadero (respecto a los niveles de 1990), producir un 20% de la energía de forma renovable e incrementar en un 20% la eficiencia energética.
- **Directiva 2002/31/CE (22 de Marzo de 2002)**
Sobre el etiquetado energético de los acondicionadores de uso doméstico.
- **Directiva 2002/40/CE (8 de Mayo de 2002)**
Relativa al etiquetado energético de los hornos eléctricos.
- **Directiva 2002/96/CE (27 de Enero de 2003)**
Sobre Residuos de aparatos Eléctricos y Electrónicos.
- **Directiva 2002/91/CE (16 de Noviembre de 2002)**
Relativa a la eficiencia energética en edificios. Directiva complementaria a la Directiva 93/76/CEE con el objetivo de fomentar

16 [16] Una de las 4 áreas de financiación (SAVE, ALTENER¹⁷, STEER¹⁸ e Iniciativas Integradas¹⁹) en el programa Intelligent Energy Europe (IEE) ahora cerrado (aunque todavía existen proyectos bajo este programa), SAVE está dirigida principalmente a la mejora de la eficiencia energética y al uso racional de los recursos en los sectores de la industria, los productos y la construcción.

17 ALTENER financia el aumento de la participación de las energías renovables en la producción de electricidad, calor y refrigeración, y su integración en los sistemas energéticos locales.

18 STEER abarca las iniciativas dirigidas a ahorrar energía en el sector del transporte incluyendo el estímulo de la demanda de combustibles alternativos.

19 Estas iniciativas abarcan varios sectores económicos. Los proyectos que educan a los niños, los ahorradores de energía y los consumidores de energía del futuro, están cubierto por este programa.

la eficiencia energética de los edificios, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como los requisitos ambientales interiores y la relación coste-eficacia. Modificada por la Directiva 2010/31/UE.

- **Directiva 2003/66/CE (3 de Julio de 2003)**
Respecto al etiquetado energético de frigoríficos, congeladores y aparatos combinados electrodomésticos.
- **Directiva 2004/8/CE (11 de Febrero de 2004)**
Relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía y los servicios energéticos. Afecta a la edificación consumidora del 40% de la energía en Europa. Derogada por la Directiva 2012/27/UE.
- **Directiva 2006/32/CEE (5 de Abril de 2006)**
Obliga a mejorar la eficiencia energética con ahorros mensurables y verificables por las autoridades responsables en cada Estado. Se crea la figura de las Energy Service Companies (ESCOs)²⁰. Derogada por la Directiva 2012/27/UE.
- **Directiva 2009/28/CE (23 de Abril de 2009)**
Relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.
- **Directiva 2009/125/CE (21 de Octubre de 2009)**
Por lo que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a productos relacionados con la energía.
- **Directiva 2010/31/UE (19 de Mayo de 2010)**
Refunda la Directiva 2002/91/CE. Determina que los Estados miembros deben garantizar que se establezcan unos requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios o unidades de este con el fin de alcanzar niveles óptimos de rentabilidad. Y que las autoridades públicas deben dar ejemplo y aplicar las recomendaciones contenidas en los certificados de eficiencia energética. Los Estados velarán por que se expida un certificado de eficiencia energética y que a más tardar el 31 de Diciembre de 2020 todos los edificios de nueva planta sean edificios de consumo de energía casi nulo²¹, y de que después del 31 de Diciembre de 2018 los edificios ocupados o en propiedad de autoridades públicas sean edificios de consumo de energía casi nulo.

20 [17] Empresas de Servicios Energéticos (ESEs), empresas que ofrecen la mejora de la eficiencia energética en instalaciones o locales, su labor integra el diseño, financiamiento, instalación y operación del proyecto.

21 Según Directiva 2010/31/EU, Artículo 2: edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno.

- **Directiva 2012/27/UE (25 de Octubre de 2012)**
Relativa a la eficiencia energética. Establece un conjunto de medidas para asegurar la consecución del objetivo principal de eficiencia energética de la Unión de un 20% de ahorro para 2020. Y que las Administraciones centrales adquieran solamente productos, servicios y edificios que tengan un alto rendimiento energético.

En Octubre de 2014 el Consejo Europeo acordó para las políticas en materia de clima y energía de la Unión Europea un objetivo común de reducir en al menos un 40% las emisiones de gases de efecto invernadero.

El 12 de Diciembre de 2015 tuvo lugar el Acuerdo de París, firmado por 195 países. Se fijó el objetivo de limitar el calentamiento global por debajo de los 2 grados Celsius.

[18] El 30 de noviembre de 2016, la Comisión propuso, bajo el lema "Energía limpia para todos los Europeos", una actualización de la Directiva sobre eficiencia energética, que incluía un nuevo objetivo de 30% de eficiencia energética para 2030, y medidas para actualizar la Directiva para garantizar que se cumpla el nuevo objetivo.

Medidas y políticas específicas propuesta en el ámbito del presente trabajo:

- Los países de la UE pueden optar por obtener el mismo nivel de ahorro por otros medios, como mejorar la eficiencia de los sistemas de calefacción, instalar ventanas de doble acristalamiento o techos aislantes
- El sector público en los países de la UE debe comprar edificios, productos y servicios eficientes en energía.
- Cada año, los gobiernos de los países de la UE deben llevar a cabo renovaciones energéticamente eficientes en al menos el 3% (por superficie de planta) de los edificios que poseen y ocupan.
- La calefacción y la refrigeración representan la mitad del consumo total de energía de la UE. Estos deben reducir drásticamente su consumo de energía así como su utilización de combustible fósiles.

3.1.4 Eficiencia energética, entre Europa y España

[14] [19] Toda normativa española referente a la eficiencia energética tiene su base en la derogada NBE-GT-79. Las Normas Básicas de la Edificación (NBE), vigentes en las décadas de los 80 y 90, se enfocaban más en la producción que en el ahorro energético.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) acercó las instalaciones de ACS²² y climatización a la eficiencia energética. Fue incluido en el Código Técnico de la Edificación (CTE) como

HE-2 Rendimiento de instalaciones térmicas dentro de DB-HE Ahorro de energía, reglamento de eficiencia energética en España.

El primer Real Decreto sobre eficiencia energética fue el Real Decreto 47/2007, resultado de transponer la Directiva 2002/91/CE a la Normativa Española vigente, el R.D disponía que se debía informar a los usuarios y compradores de la huella y consumo energético mediante una etiqueta energética. Fue derogado por el Real Decreto 253/2013 como resultado de transponer la Directiva 2010/31/UE. Esta Normativa supuso un cambio sustancial en el mercado inmobiliario pues exigía que al construir, vender o alquilar un inmueble se debía mostrar al comprador o arrendatario un Certificado de Eficiencia Energética.

Los Certificados de Eficiencia Energética (EPC: Energy Performance Certificate) deben incluir valores de referencia, como la normativa vigente, para que los consumidores puedan comparar y evaluar el rendimiento energético. También deben ir acompañadas de recomendaciones económicamente rentables para elevar el rendimiento y la calificación del edificio. El suministro de información clara y fiable a un costo asequible y en el momento oportuno a los posibles inquilinos y compradores es crucial para hacer más atractivas las inversiones en eficiencia energética. El EPC proporciona un incentivo para que los constructores y propietarios inviertan en mejorar la eficiencia energética, ya que la mejora del rendimiento energético de un edificio conduce a mayores precios de venta y rentas en el mercado.

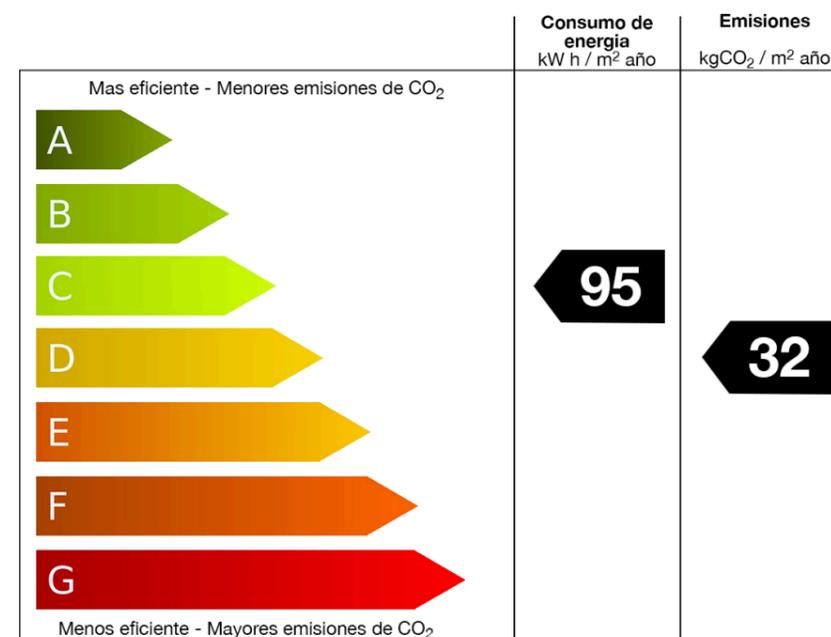


Figura 20 | Calificación de eficiencia energética y de emisiones de CO₂
Fuente: elaboración propia.

Con el Real Decreto 163/2014 se crea el registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de CO₂.

El Real Decreto 56/2016, transposición de la Directiva 2012/27/UE, obliga a presentar auditorías²³ a las ya citadas Empresas de Servicios energéticos, fundamentales para competitividad de España en el mercado global.

El Real Decreto 564/2017, último en materia de eficiencia energética, modifica el Real Decreto 235/2013 para ajustarse más a la Directiva 2010/31/UE, principalmente en las cuestiones de los edificios de consumo casi nulo y en las exclusiones de aplicación.

3.2 Los estímulos y las reacciones

La fachada inteligente actuará cumpliendo normativa y para alcanzar unas condiciones de confort exigidas por el usuario. La estrategia que la fachada utilice para alcanzar dichas condiciones variará en función de los parámetros que reciba del exterior y del espacio interior, los estímulos.

Estos estímulos serán captados mediante sondas dispuestas en el interior y exterior del inmueble o serán introducidos directamente en el ordenador de la fachada como es el caso de los valores personales de los usuarios. Los parámetros que la fachada captará tanto en el interior del inmueble como en el exterior, son los siguientes:

- **Temperatura del aire**
Esta es la temperatura del aire que rodea al cuerpo. Por lo general se da en grados Celsius (° C).
- **Velocidad del aire**
Esto describe la velocidad del aire que se mueve alrededor del usuario y puede ayudar a enfriarlo si el aire es más frío que el ambiente. La velocidad del aire es un factor importante en el confort térmico, por ejemplo:
 - El aire retenido en ambientes interiores que se calientan de forma artificial puede hacer que la gente se sienta congestionada y también puede conducir a una acumulación de olor.
 - Mover el aire en condiciones cálidas o húmedas puede aumentar la pérdida de calor a través de la convección²⁴ sin ningún cambio en la temperatura del aire.
 - La actividad física también aumenta el movimiento del aire, por lo que la velocidad del aire puede ser corregida para tener

²³ Según R.D 56/2016, las auditorías energéticas son herramientas que permiten a las organizaciones conocer su situación respecto al uso de energía. Con ella se pretende detectar todos los procesos que permiten reducir el consumo energético.

²⁴ Intercambio térmico debido al movimiento de las partes calientes de un líquido o gas.

en cuenta el nivel de actividad física de una persona.

- Los pequeños movimientos de aire en ambientes fríos pueden ser percibidos como una corriente de aire, ya que las personas son particularmente sensibles a estos movimientos.

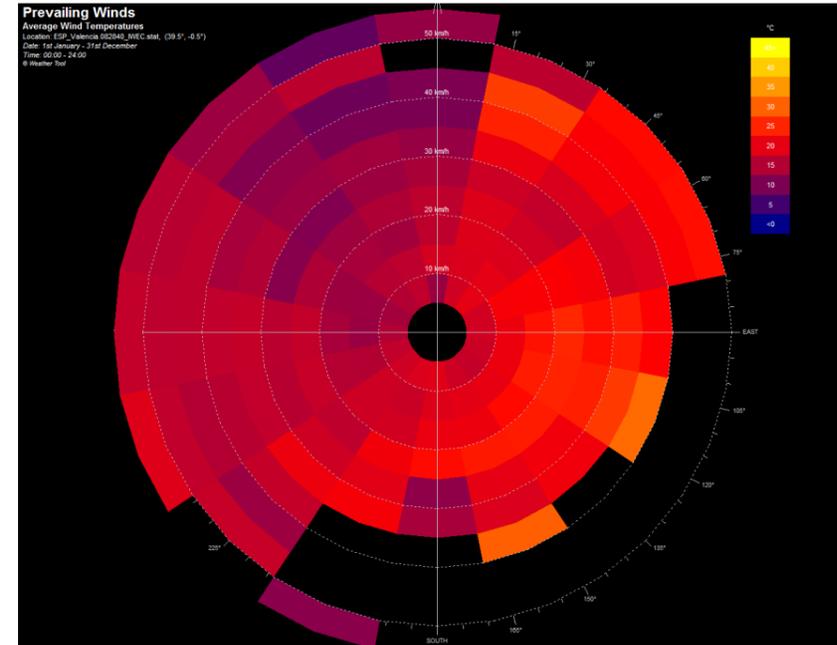


Figura 21 | Temperatura de los Vientos Predominantes de Valencia desde 01/01 hasta el 31/12. Fuente: elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Autodesk.

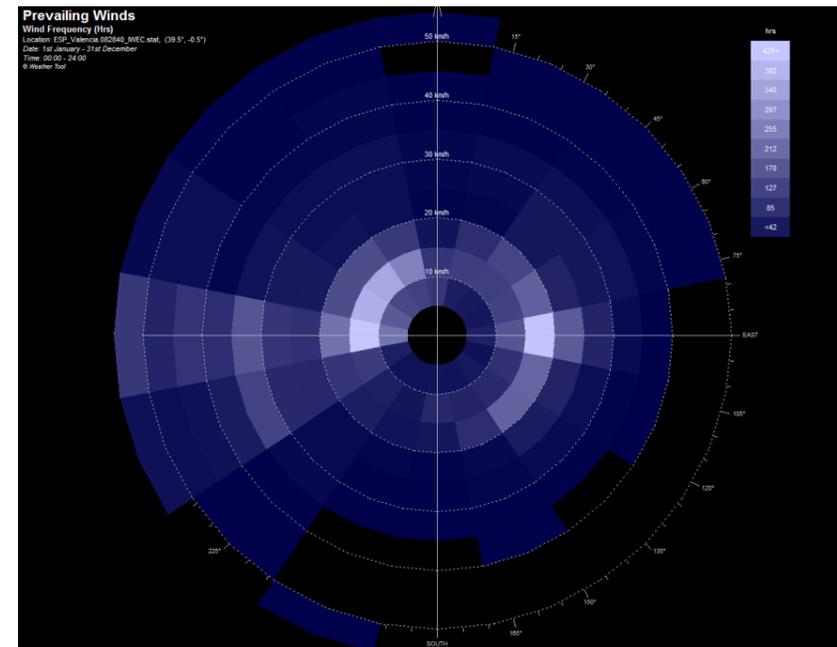


Figura 22 | Velocidad de los Vientos Predominantes de Valencia desde 01/01 hasta el 31/12. Fuente: elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Autodesk.

- **Humedad del aire**

Si el agua se calienta y se evapora al ambiente circundante, la cantidad resultante de agua en el aire proporcionará humedad. La humedad relativa es la relación entre la cantidad real de vapor de agua en el aire y la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener a esa temperatura del aire. La humedad relativa entre 40% y 70% no tiene un gran impacto en el confort térmico. En lugares de trabajo que no tienen aire acondicionado o donde las condiciones climáticas en el exterior pueden influir en el ambiente térmico de interiores, la humedad relativa puede ser superior al 70%.

La humedad en ambientes interiores puede variar mucho, y puede depender de si hay procesos de secado (molinos de papel, lavandería, etc.) donde se desprende vapor.

Entornos de alta humedad tienen una gran cantidad de vapor en el aire, lo que evita la evaporación del sudor de la piel. En ambientes calientes, la humedad es importante porque cuando la humedad es alta (80% +) menos sudor se evapora y este es el principal método de reducción de calor del cuerpo humano.

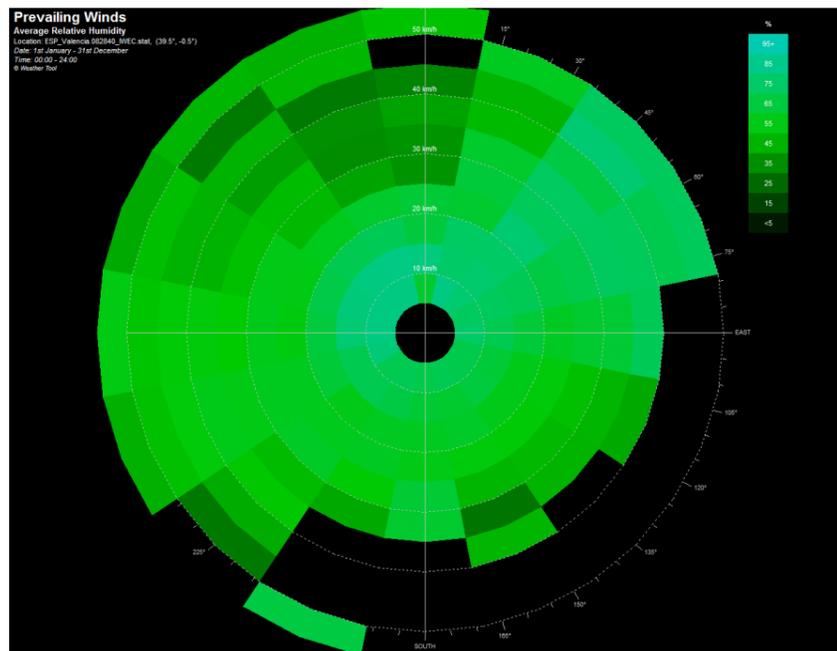


Figura 23 | Humedad de los Vientos Predominantes de Valencia desde 01/01 hasta el 31/12. Fuente: elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Autodesk.

- **Tasa de trabajo / calor metabólico**

Cuanto más trabajo físico hace una persona, más calor produce y cuanto más calor produce, más calor tiene que perder para que no se sobrecaliente. El impacto de la tasa metabólica sobre el confort térmico es crítico.

Las características físicas de una persona siempre deben tener en cuenta al considerar su comodidad térmica, ya que factores tales como su tamaño y peso, edad, nivel de condición física y sexo pueden tener un impacto en cómo se sienten, incluso si otros factores como la temperatura del aire, La humedad y la velocidad del aire son constantes.

- **Radiación térmica**

La radiación térmica es el calor emitido por un objeto caliente. La radiación calorífica puede estar presente si hay fuentes de calor en un ambiente. La radiación térmica tiene una influencia mayor que la temperatura del aire en cómo perdemos o ganamos calor al ambiente. Ejemplos de fuentes de calor radiante incluyen: el sol, el fuego, la vitrocerámica, los hornos, los secadores, las superficies calientes y la maquinaria, los metales fundidos, etc.

Para conocer la trayectoria del sol durante todo el año podemos hacer uso de los diagramas estereográficos. Con ellos podemos leer el acimut²⁵ solar y la altitud durante el día y el año para una posición dada en la tierra. Las trayectorias del sol en diversas épocas del año se proyectan sobre este “hemisferio aplastado” para cualquier localización en la tierra. Estos diagramas se realizan desde el punto de vista del cielo mirando hacia abajo en el suelo.

- Los ángulos acimutales corren alrededor del borde del diagrama en incrementos de 15°. El acimut de un punto desde la posición de referencia se mide en sentido horario desde el norte verdadero en el plano horizontal. El norte verdadero en el diagrama estereográfico es el eje Y positivo (hacia arriba) y está marcado con una N.
- La altura solar se representan como círculos concéntricos punteados que se extienden desde el centro del diagrama hacia fuera, en incrementos de 10° de 90 a 0.
- Las líneas de la fecha representan la trayectoria del sol a través del cielo en un día particular del año. Van desde el lado este del gráfico y hacia el lado oeste. Existen doce de estas líneas y representan el primer día de cada mes. Los primeros seis meses se muestran como líneas sólidas (Enero-Junio), mientras que los últimos seis meses se muestran como punteados (Julio-Diciembre).
- Las líneas horarias representan el analema²⁶. Los puntos de intersección entre las líneas de fecha y hora dan la posición del sol.

25 La dirección de un objeto celeste desde el observador, expresada como la distancia angular desde el punto norte o sur del horizonte hasta el punto en el cual un círculo vertical que atraviesa el objeto intersecta con el horizonte.

26 Trayectoria que describe el Sol al ser observado todos los días del año a la misma hora.

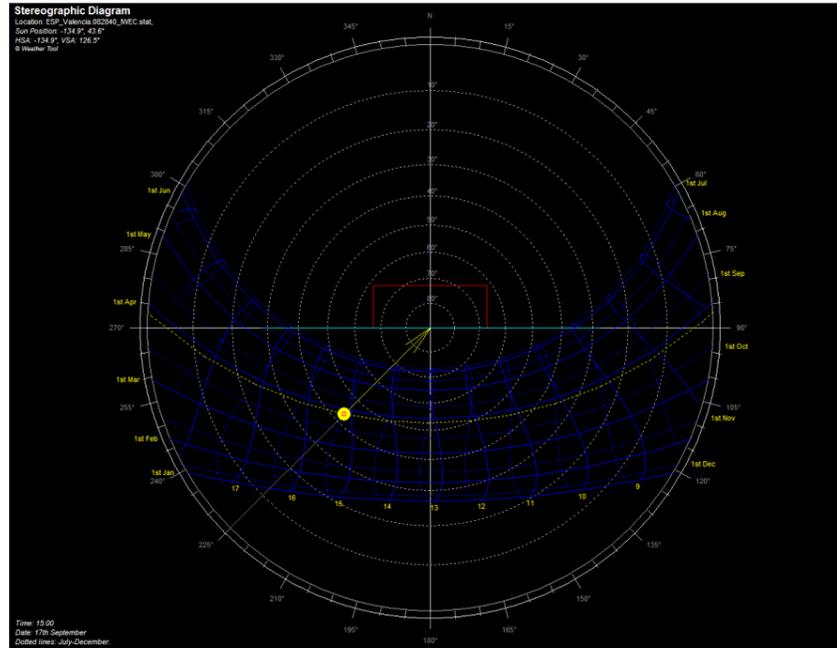


Figura 24 | Diagrama estereográfico de la ciudad de Valencia (39°28'11"N).
 Fuente: elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Autodesk.

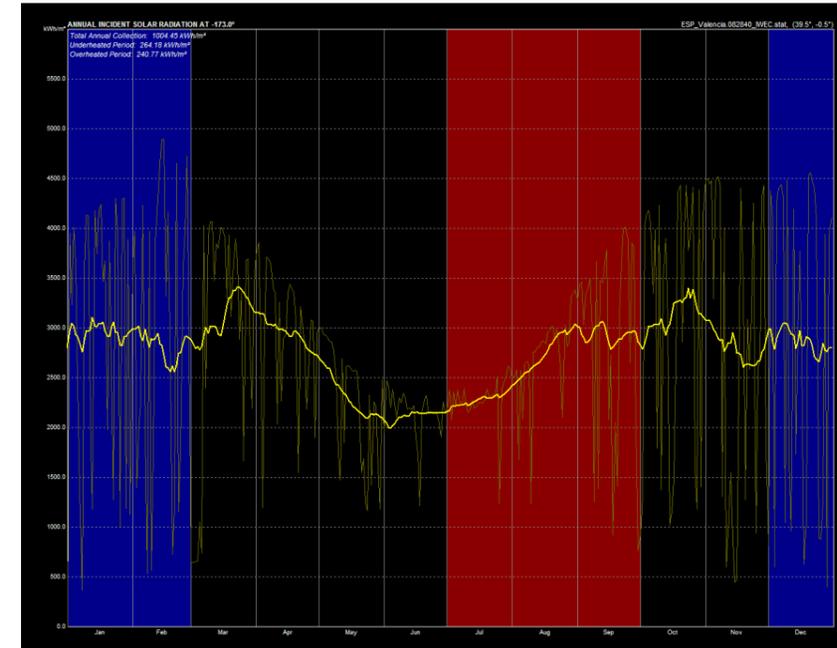


Figura 26 | Radiación incidente anual para la orientación óptima de la ciudad de Valencia (39°28'11"N).
 Fuente: elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Autodesk.

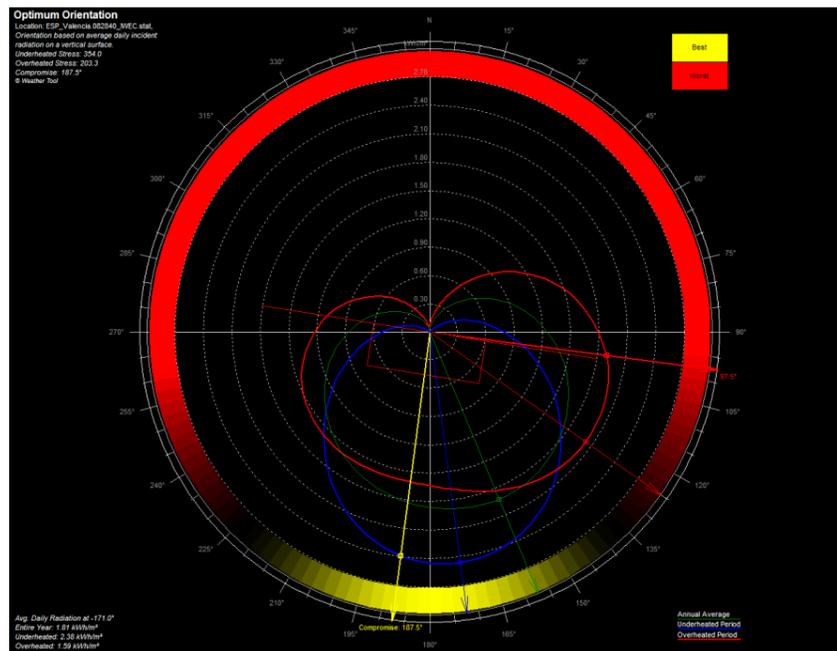


Figura 25 | Orientación óptima (amarillo), orientación de infracalentamiento (azul) y orientación de sobrecalentamiento (rojo) de la ciudad de Valencia (Latitud 39°28'N).
 Fuente: elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Autodesk.

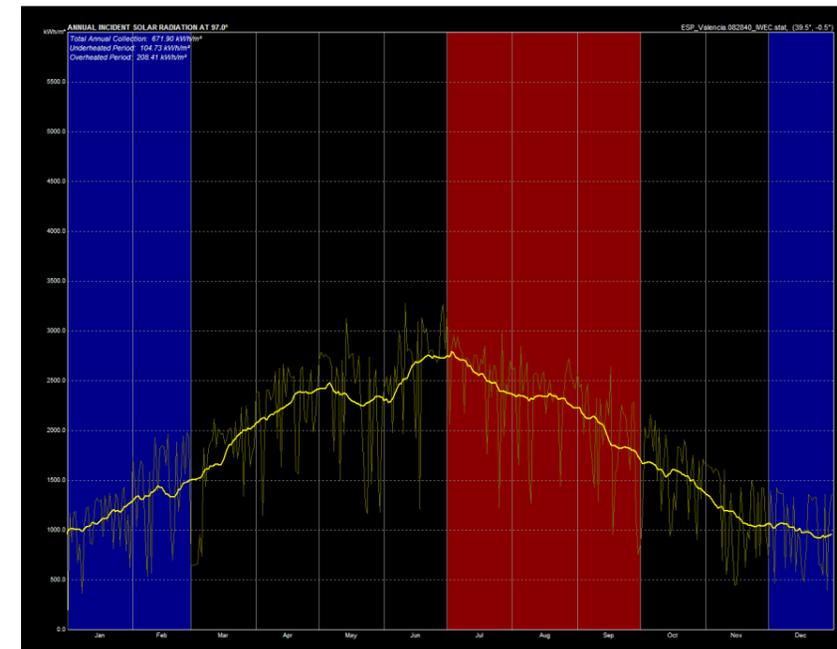


Figura 27 | Radiación incidente anual para la orientación de sobrecalentamiento de la ciudad de Valencia (39°28'11"N).
 Fuente: elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Autodesk.

3.3 Una Fachada Integrada Avanzada (FIA)

[20] Un requisito previo para que la fachada dinámica reduzca las pérdidas de transmisión y aumente el uso de la energía solar y la luz del día es que la fachada se adapte a las necesidades cambiantes. La fachada debe ser interactiva y responder de manera inteligente y fiable a las condiciones cambiantes del aire libre y las necesidades de los ocupantes. Observando las numerosas funciones de la fachada dinámica y el gran número de parámetros que en todo momento deben adaptarse a las necesidades actuales, la tarea de optimización puede parecer muy compleja.

Para un edificio dado en una ubicación específica, los gradientes entre “estaciones” como la temperatura media diaria y la intensidad solar, deberán definirse. También se debe definir la frontera entre ‘día soleado’ y ‘día nublado’. Las estrategias óptimas en verano e invierno son bastante sencillas, mientras que la estrategia en los períodos de transición puede causar algunos desafíos, especialmente en períodos en los que existe un delicado equilibrio entre el aumento del uso de la calefacción solar y la reducción de la transmisión.

En cualquier situación el sistema operativo debe “saber”, si hay usuarios en el edificio/espacio o no. Cuando hay usuarios en el espacio, el sistema de control entra en modo de confort y prioriza las necesidades de los usuarios sobre la eficiencia energética. Un tiempo (minutos) después de que los usuarios dejan el espacio, el sistema cambia al modo de energía priorizando la eficiencia energética. En “modo confort” la fachada dinámica se ajusta a todos los criterios de confort. En este modo, las preferencias de los usuarios a menudo estarán bien correlacionadas con la estrategia óptima de energía. Pero hay conflictos potenciales, por ejemplo en momentos en que los ocupantes prefieren tener las persianas abiertas y una vista libre, mientras que la mejor estrategia energética sería minimizar la ganancia solar y la necesidad de enfriamiento.

Es necesario aceptar este tipo de compensaciones, ya que hay evidencia creciente de que los ocupantes prefieren fuertemente tener cierto nivel de control personal de su ambiente interior local, lo que puede resultar en una mejor satisfacción general en el trabajo y tal vez un mejor rendimiento y productividad a un costo extra muy pequeño para la energía.

[2] La clasificación de las FIA no es una tarea sencilla debido al número de aspectos diferentes y acumulativos que deben considerarse. Sin embargo. Las catalogaciones más comunes consideran el tipo de ventilación, el recorrido del flujo de aire y la configuración del sistema como elementos principales. La clasificación de las fachadas se basa en la clasificación del Belgium Building Research Institute's (BBRI) para las fachadas de doble piel. En la cual, Annex 44 [2] realizó modificaciones para tener en cuenta las principales características de cada FIA. Esta clasificación, representada esque-

máticamente en la Figura 28, divide las FIAs en fachadas ventiladas transparentes (TVF) y otros conceptos incluyendo fachadas ventiladas opacas (OVF) y sistemas de ventanas avanzadas (por ejemplo, Swindow). Estas clases se caracterizan por una serie de tecnologías diferentes.

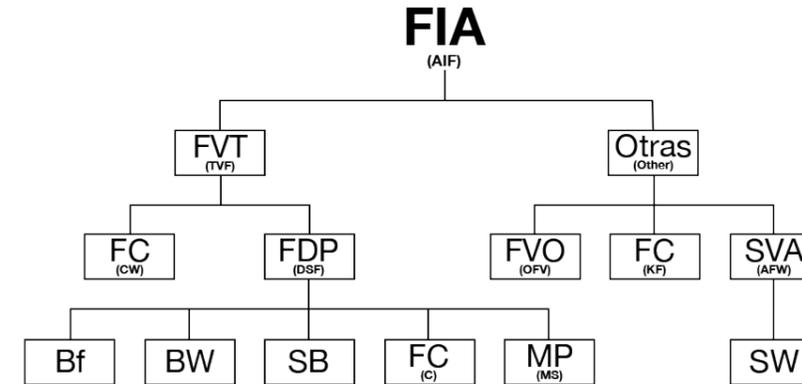


Figura 28 | Propuesta clasificación de las FIA (AIF) de Annex 44 traducida y con la adición de las Fachadas Cinéticas (FC) y la familia Sistemas de Ventanas Avanzadas (SVA). Fuente: elaboración propia, basada en la clasificación de Annex 44 [2].

La fuerza motriz del flujo de aire dentro de la cavidad define el tipo de ventilación. Los tipos a considerar son:

- Ventilación Natural (NV - Natural Ventilation), siendo la fuerza motriz la distribución de presión inducida por el viento o el efecto de la chimenea.
- Ventilación mecánica (MV - Mechanical Ventilation), con la fuerza motriz suministrada por un ventilador.
- Ventilación híbrida (HV - Hybrid Ventilation), que utiliza las dos anteriores en función de las necesidades de ventilación y de las condiciones exteriores.

La trayectoria del flujo de aire es una cuestión muy importante que está fuertemente asociada con la forma en que las FIA se integran en los sistemas de energía y control del edificio. Las estrategias posibles son:

- Aire de escape AE (EA - Exhaust Air): la FIA actúa para eliminar el aire del interior (Fig. 29a).
- Aire de suministro AS (SA - Supply Air): la FIA actúa para suministrar aire al interior (Fig. 29b).
- Flujo de aire reversible FAR (RAF - Reversible Air Flow): la FIA actúa como las anteriores dependiendo de las condiciones interiores/exteriores y de los dispositivos de control local (Fig. 29c).
- Cortina de aire exterior CAE (OAC - Outdoor Air Curtain): la cavidad de la FIA está ventilada por aire exterior pero sin conexión al aire interior (Fig. 29d).
- Cortina de aire interior CAI (IAC - Indoor Air Curtain): la cavidad de la FIA está ventilada por aire interior pero sin conexión al aire exterior (Fig. 29e).

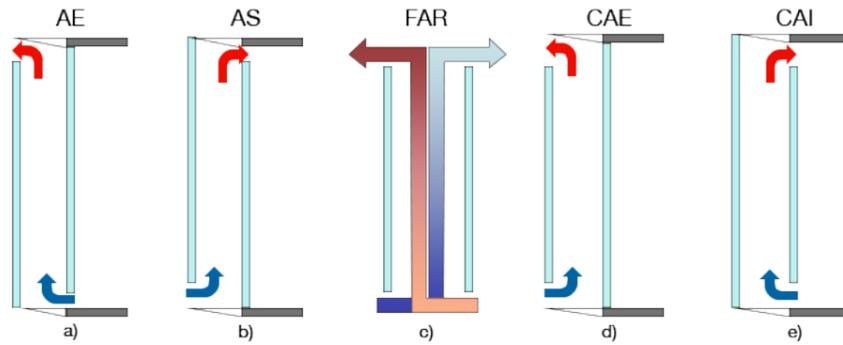


Figura 29 | Trayectorias del flujo de aire en las FIAs.
Fuente: elaboración propia, mejora de calidad de imagen de Annex 44 [2].

3.3.1 Transparent Ventilated Façades (TVF)

Fachadas Ventiladas Transparentes (FVT)

El principio de funcionamiento de una fachada ventilada transparente es utilizar la cámara de aire entre dos capas de vidrio para reducir el impacto térmico del ambiente exterior en el interior. La cámara de aire puede utilizar sistemas de ventilación naturales, mecánicos o híbridos, o simplemente actuar como un amortiguador de aire recluso.

Las principales funciones de fachada ventilada transparente (TVF) son:

- Recuperar calor durante las estaciones frías y/o para precalentar el aire de ventilación.
- Mejorar el aislamiento térmico del sistema acristalado durante las temporadas calientes y frías.
- Reducir las cargas solares y mejorar el control de iluminación natural sin el inconveniente de aumentar las ganancias de calor.
- Extender el uso de sistemas de ventilación natural, especialmente en el caso de edificios de gran altura.

3.3.1.1 Climate Wall (CW)

Fachada Climática (FC)

Fusiona los conceptos de fachada climática/ventana climática, siendo la diferencia entre ellos la existencia o ausencia de una división de ventanas. Una CW se caracteriza por un panel exterior de doble acristalamiento, un panel individual de vidrio o cortina, una conexión al sistema de ventilación del edificio (VM) y un pequeño espacio (más o menos 10 mm) debajo del panel interior que permite que el aire fluya hacia la cavidad. Esta disposición es similar a una Box-Window que se describe en la página siguiente.

3.3.1.2 Double Skin Façade (DSF)

Fachada de Doble Piel (FDP)

[2] El término fachada de doble piel se refiere a la disposición de una piel esmaltada en el exterior de la fachada principal acristalada, formando una cavidad entre las capas. Los dispositivos de control solar se colocan dentro de la cavidad, donde están protegidos de la con-

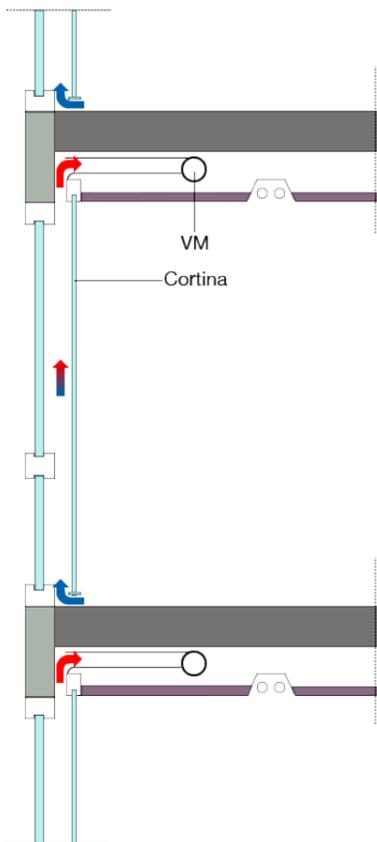


Figura 30 | Esquema de la Fachada Climática.
Fuente: elaboración propia, mejora calidad autor anónimo.

taminación del tiempo y el aire. No tomó mucho tiempo demostrar las ventajas que resultaron de permitir que el aire fluya en la cavidad. Por esta razón las fachadas de doble piel son a menudo designadas como fachadas ventiladas. Otras ventajas se derivan de la piel extra que introduce el control de presión del viento en la fachada interior.

Para algunas de las configuraciones de fachadas de doble piel, la ventilación natural es incluso posible en edificios de gran altura. El flujo de aire es impulsado por el viento y el efecto chimenea generado dentro de la cavidad. Este efecto se debe al comportamiento del colector solar de la cavidad. Gran parte del calor que se elimina por el flujo de aire ascendente puede recuperarse y usarse para precalentar aire de acondicionamiento de los espacios interiores.

La fachada de doble piel también actúa como un amortiguador térmico entre los espacios exteriores e interiores, manteniendo la superficie más interior acristalada a una temperatura que está más cerca de la temperatura interior incluso en los meses de verano y de invierno. Como resultado del aumento de las condiciones de confort térmico, áreas más cercanas a las ventanas se pueden utilizar mejor.

El concepto de "inteligencia" asociado a la fachada de doble piel representa un cambio de una envolvente estática a una con un comportamiento dinámico. La fachada es capaz de adaptarse a los cambios en las condiciones exteriores para lograr los requisitos de confort interior y reducir el consumo de energía.

En climas calurosos, el calor en el interior de un edificio se produce principalmente por la penetración del sol a través de la superficie transparente, sin embargo en las fachadas de doble piel cuando la radiación solar es alta, los dispositivos dentro de la cavidad proporcionan un excelente control solar que protege el aire del interior de la cavidad de las condiciones ambientales exteriores. Así se consigue que la cámara de aire esté a varios grados por debajo de la temperatura exterior. Este proceso exige una buena ventilación de la cavidad ya que de no ser así, podría recalentarse y perder su función. En climas fríos ocurre el proceso contrario, permitiendo que el calor solar entre en el edificio y permanezca dentro. Cuando se cierran las aberturas exteriores, el aire situado entre las dos pieles de vidrio es calentado por rayos solares para luego entrar en los espacios interiores.

- Buffer (Bf)

El aire recluso dentro de la cavidad actúa como un amortiguador térmico incluso si la cavidad está conectada al aire exterior para el equilibrio de presión.

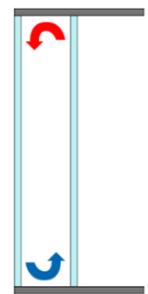


Figura 31 | Esquema de una fachada tipo buffer.
Fuente: elaboración propia, mejora calidad autor anónimo.

- **Box-Window (BW)**
El DSF se divide vertical y horizontalmente, formando una caja. Las paredes Trombe se pueden incluir en la clasificación de BW.

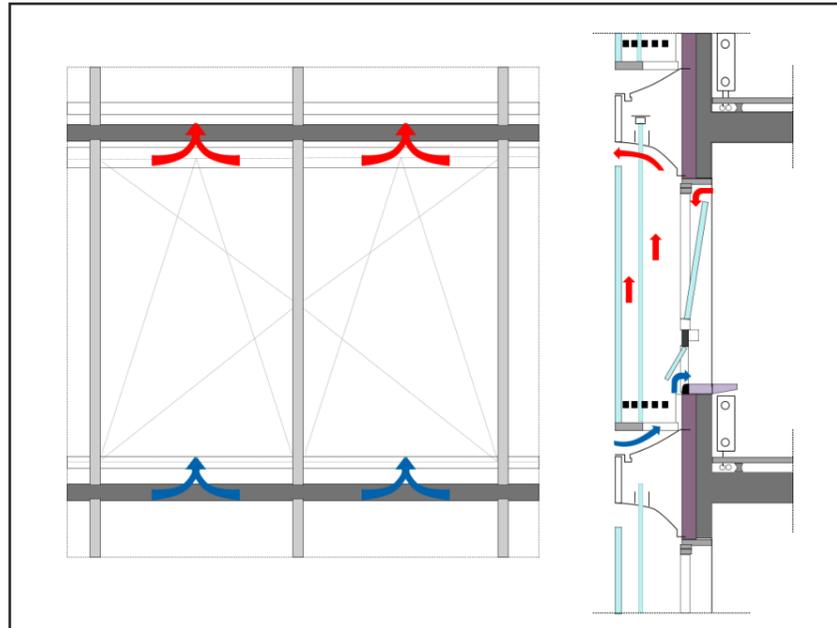


Figura 32 | Esquema de una Box-window, izquierda: alzado, derecha: sección.
Fuente: elaboración propia, mejora calidad de imagen de autor anónimo.

- **Shaft-Box (SB)**
La SB tiene una configuración similar a la BW, pero la caja descarga el aire de escape a una cavidad lateral de construcción.

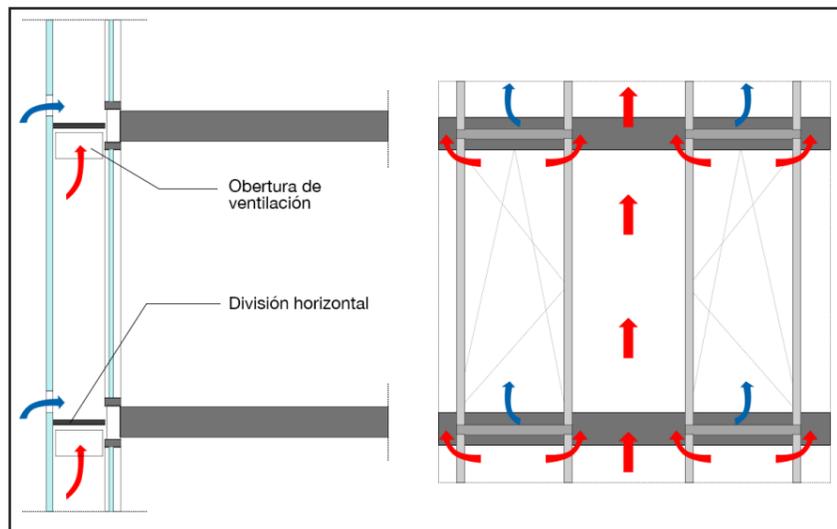


Figura 33 | Esquema de una Shaft-box, izquierda: alzado, derecha: sección.
Fuente: elaboración propia, mejora calidad de imagen de autor anónimo.

- **Fachada Corredor (FC)**
Este tipo de DSF está dividido horizontalmente, formando un corredor a nivel de planta. Las aberturas de entrada y salida se colocan de tal manera que se evita la mezcla del aire de escape y el aire de suministro al nivel anterior.

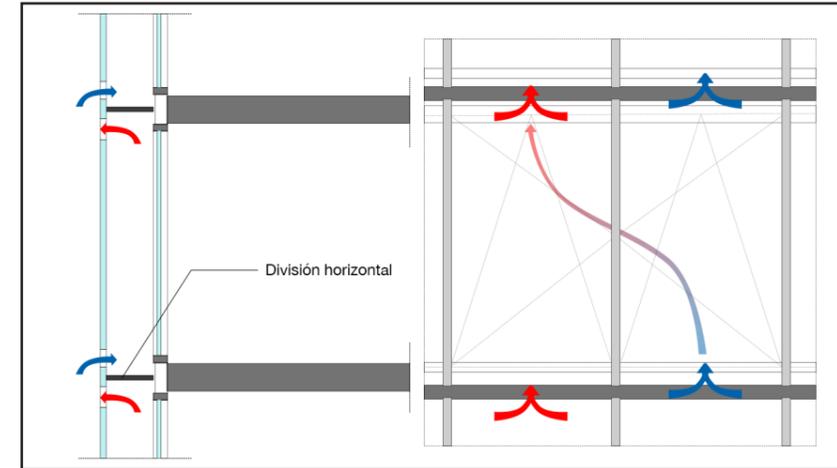


Figura 34 | Esquema de una Fachada Corredor, izquierda: sección, derecha: alzado.
Fuente: elaboración propia, mejora calidad de imagen de autor anónimo.

- **Multi-Storey (MS)**
Fachada tipo múltiples plantas (MP)
Un sistema de MS es un DSF sin particiones de cavidad. Las fachadas con persianas son un caso particular de MS, en el que la piel externa está compuesta por persianas que se mueven de una posición cerrada a una posición abierta. En la posición abierta, ya no actúan como una segunda piel. La designación de Estados Unidos para Twin Façades encaja dentro de este grupo

3.3.3 Opaque Ventilated Façades (OVF)

Fachadas Ventiladas Opacas (FVO)

Se refieren esencialmente a dos configuraciones diferentes: dos capas opacas separadas por una cámara de aire, o una capa transparente y una capa opaca (generalmente masiva) separadas por una cámara de aire. La primera estructura es bastante similar a una fachada ventilada totalmente transparente, y el principio de trabajo es el mismo con la única diferencia significativa de que, a través de la fachada, no hay ganancias de calor de onda corta procedente del Sol. La segunda configuración se llama muro Trombe y actúa como un colector solar de aire grande durante el invierno. En los muros Trombe modernos, hay respiraderos de aire en la parte superior e inferior de la cámara de aire, entre el acristalamiento y la capa opaca, la cual que tiene una masa térmica relevante para capturar o moderar las ganancias de energía solar.

- Durante la estación de calentamiento, el sistema está configurado para dirigir el aire calentado al interior edificio. De esta manera, se

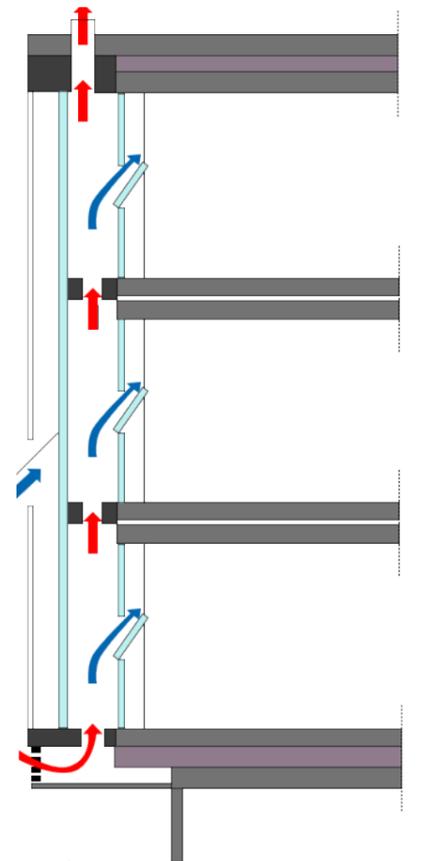


Figura 35 | Esquema de una fachada Multy-storey.
Fuente: elaboración propia, mejora calidad autor anónimo

reducen las pérdidas térmicas y se mejoran las ganancias libres totales. Los respiraderos tienen persianas de un solo sentido que evitan la convección por la noche y, por lo tanto, hacen que el flujo de calor sea fuertemente direccional.

- Durante la estación de enfriamiento, en cambio, las aberturas están configuradas para eliminar parte de la ganancia solar de la fachada, es decir, las aberturas orientadas hacia el interior están cerradas y el aire caliente que fluye en la cámara de aire es rechazado hacia el exterior.

3.3.4 Advanced Fenestration Windows (AFW)

Sistemas de Ventanas Avanzadas (SVA)

Los sistemas de ventanas avanzadas consisten en ventanas capaces de proporcionar zonas de apertura y/o ventanas autoajustables que actúan como una fachada ventilada transparente a pequeña escala, es decir, como “ventanas ventiladas”.

Un ejemplo de una ventana con un ángulo de apertura autoajutable es el llamado Swindow.

- Swindow (SW)

Se trata de una ventana de funcionamiento automático, desarrollada para fines de ventilación natural (VN) con la capacidad de integrarse con los sistemas HVAC (VM). La configuración básica consiste en una ventana pivotada horizontalmente que se articula justo por encima de la altura media. Cuando se abre, el peso de la ventana se equi-

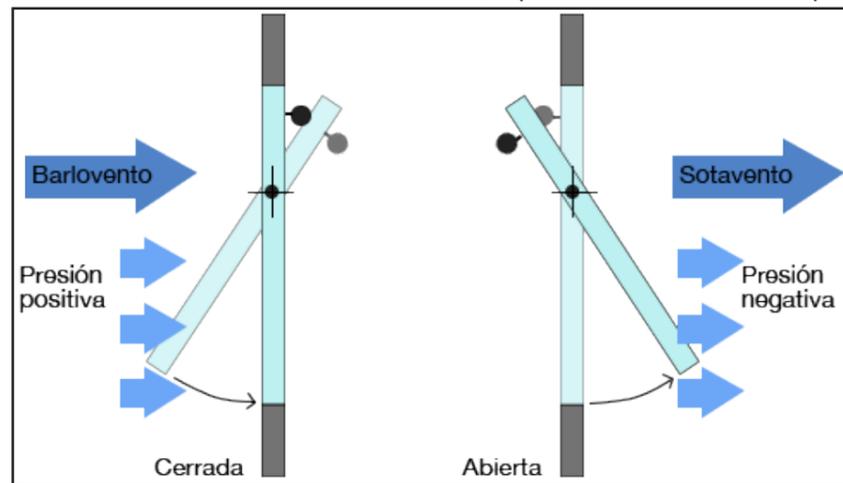


Figura 36 | Esquema de una Swindow.
Fuente: elaboración propia, mejora de calidad de imagen de Annex 44 [2].

libra con un contrapeso situado en la parte superior de la ventana.

Hay dos tipos de Swindows: suministro de aire y escape. El Swindow está a 45 ° de vertical en la posición abierta cuando el viento es tranquilo. Entonces comienza a moverse cuando el viento sopla. Los Swindows situados en el lado de barlovento reaccionan automática-

mente a la velocidad del viento, disminuyendo el ángulo de apertura; Mientras que los Swindows situados en el lado de sotavento, debido a la presión negativa, tienden a aumentar el ángulo de apertura (ver Figura 3-4). El Swindow funciona incluso con vientos débiles y proporciona flujo de aire unidireccional en la dirección de suministro o escape, limitando al mismo tiempo el caudal de aire sobrante.

3.3.5 Kinetic Façade (KF)

Fachada Cinética (FC)

[21] Una fachada cinética es aquella que cambia dinámicamente en vez de estar estática o fija, permitiendo que hay movimiento en la superficie de un edificio. Es una extensión de la idea de que la envolvente de un edificio es un sistema activo en vez solo un contenedor.

Una fachada cinética se puede utilizar para manejar la luz, el aire, la energía, e incluso la información. Pueden actuar para reducir la ganancia solar así como permitir el paso del aire fresco en el edificio, ayudando a alterar el ambiente interior. Los elementos móviles de la fachada pueden ser programados para responder a factores climáticos u otros factores ambientales, tiempo, niveles y tipo de ocupación y así sucesivamente para mejorar el rendimiento y la eficiencia.

Estas describen los movimientos a través de transformaciones geométrica en el espacio que afectan a las propiedades materiales o la estructura física de las fachadas del edificio sin comprometer la integridad estructural total. Las aplicaciones de las fachadas cinéticas son para mejorar las cualidades estéticas, responder al cambio de las condiciones ambientales y realizar funciones que serían imposibles para las fachadas estáticas.

En contraste con las fachadas estáticas, las aplicaciones principales de las fachadas cinéticas implican el elemento del patrón cinético que crea el movimiento de las fachadas para responder a las condiciones ambientales ya sea en un nivel intrínseco o extrínseco. El diseño del patrón cinético afecta siempre a las formas en que están diseñadas las fachadas sensibles, lo que finalmente afecta su rendimiento ya que todos los componentes de la fachada cinética deben funcionar eficientemente al crear el movimiento.

Basándose en esta perspectiva, los diseños que incorporan patrones cinéticos que realzan las fachadas cinéticas proporcionan un mayor compromiso con el diseñador en la etapa de diseño inicial. Se deben conocer las cualidades específicas de los patrones cinéticos que pueden incorporarse en el diseño de la fachada en relación con las condiciones ambientales y su potencial para responder de forma adecuada.

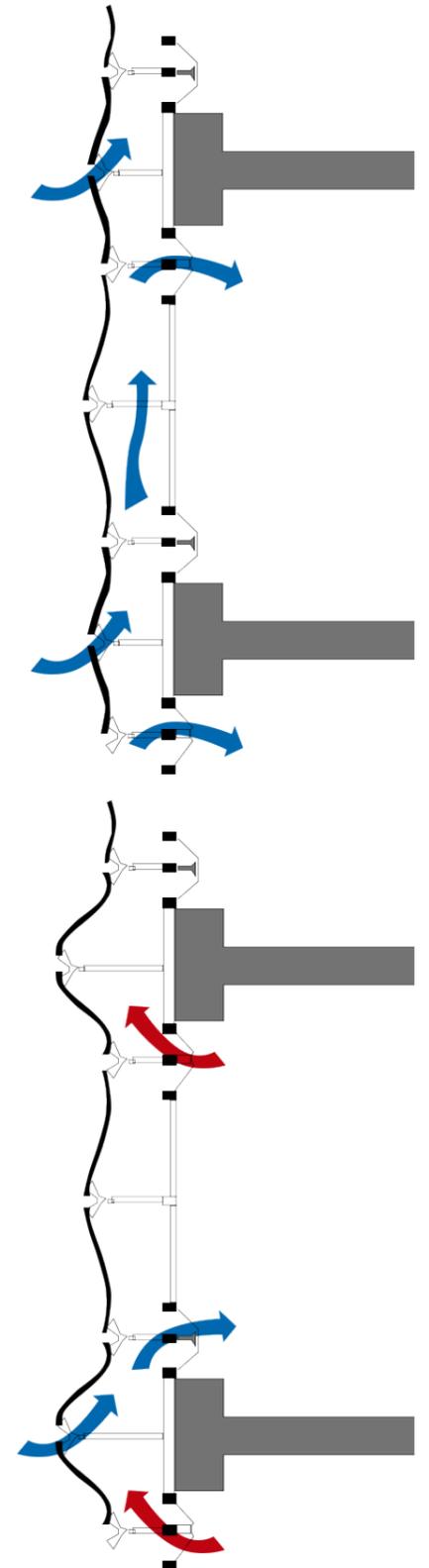
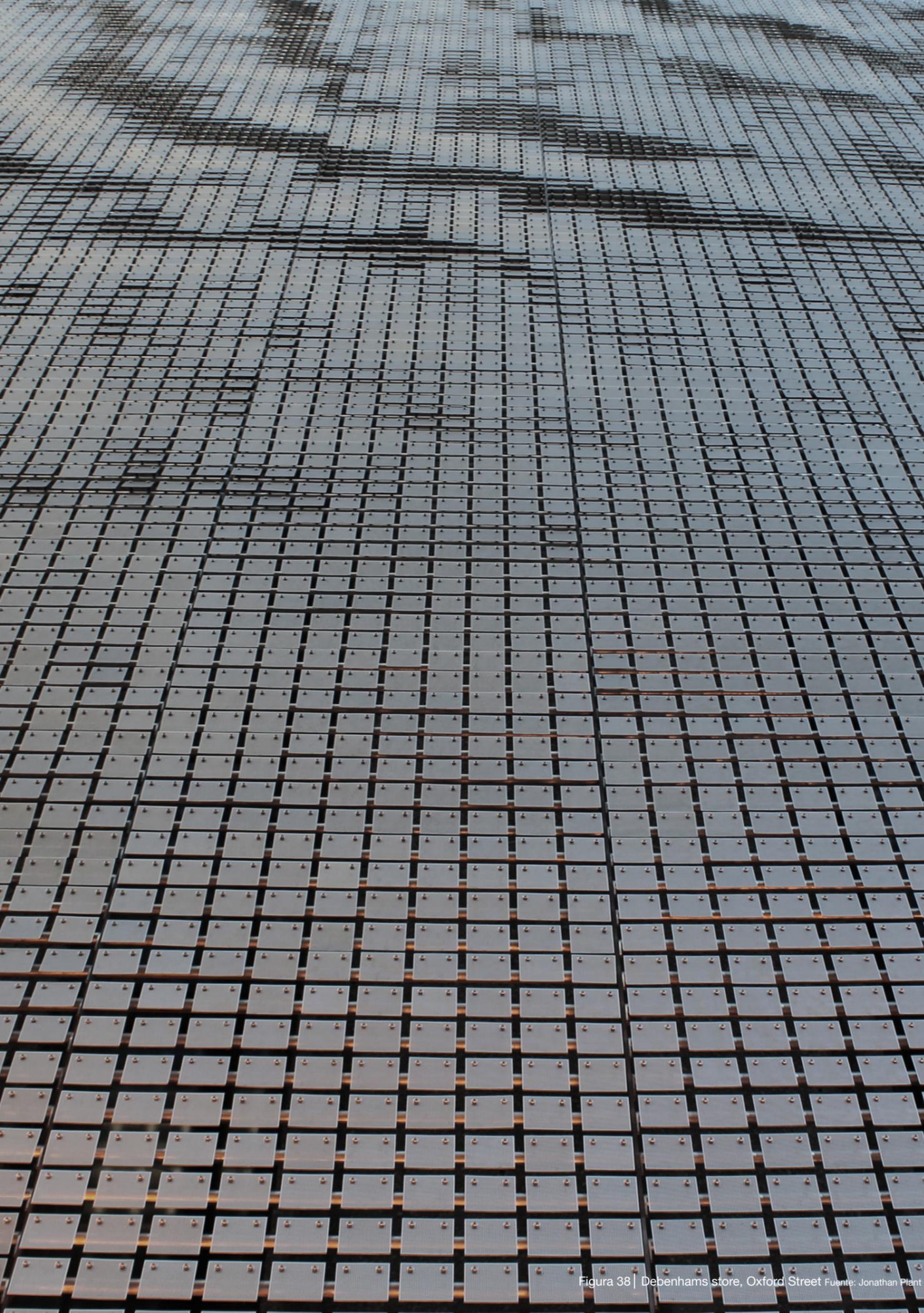


Figura 37 | Esquema fachada cinética.
Fuente: elaboración propia, mejora calidad autor anónimo.

00 Bibliografía Capítulo 3

- [6] FANGER, P.O. (1970). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill
- [7] ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook Fundamentals*. Atlanta, GA: ASHRAE.
- [8] AL-AZRI, Y. ZURIGAT & N. AL-RAWAHI. (2009). *Development of Bioclimatic Chart for Passive Building Design in Muscat-Oman*. Sultan Qaboos University. Oman: Department of Mechanical and Industrial Engineering.
- [9] MARTINEZ SANZ, MA. (2014). *Bioclimatismo y su aplicación en Fachadas*. Trabajo Final de Grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/43639>> [Consulta: 1 de Agosto de 2017]
- [10] PEGV. *Portal Estadístico de la Comunidad Valenciana*. [en línea] <<http://www.pegv.gva.es/>> [Consulta: 2 de Agosto de 2017]
- [11] CTE CÓDIGO TÉCNICO. *¿Qué es el CTE?* [en línea] <<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte.html>> [Consulta: 5 de Agosto de 2017]
- [13] CTE CÓDIGO TÉCNICO. *Documentos CTE* [en línea] <<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte.html>> [Consulta: 5 de Agosto de 2017]
- [13] CYPE. *Normativa Técnica* [en línea] <http://normativaconstruccion.cype.info/Fachadas_y_particiones.html> [Consulta: 5 de Agosto de 2017]
- [14] EFENERGIA. *Directivas de eficiencia energética en Europa*. [en línea] <<http://www.efenergia.com/legislacion-eficiencia-energetica/europa/>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]
- [15] EUR-LEX. *Directivas Europeas*. [en línea] <<http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]
- [16] EUROPEAN COMMISSION. *EASME Executive Agency for SMEs, Intelligent Energy Europe*. [en línea] <<https://ec.europa.eu/easme/en>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]
- [17] EUROPEAN COMMISSION. *EU SCIENCE HUB, The European Commission's science and knowledge service, Energy Service Companies*. [en línea] <<https://ec.europa.eu/jrc/en/energy-efficiency/eed-support/energy-service-companies>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]
- [18] EUROPEAN COMMISSION. *ENERGY, Energy Efficiency Directive*. [en línea] <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]
- [19] BOE. *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado* [en línea] <https://www.boe.es/diario_boe/> [Consulta: 8 de Agosto de 2017]
- [20] JOHNSEN, K. & WINTHER, F.V. (2014). *Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements*. Denmark: Aalborg University. Energy Procedia.
- [2] PERINO, MARCO. (2008). *State of the Art Review. Volume 2A Responsive Building Elements*. Aalborg University (Denmark): IEA-ECBCS Annex 44
- [21] SHARAIDIN, KAMIL. (2013). *Kinetic Façades: Towards design for Environmental Performance*. RMIT University (Melbourne): Spatial Information Architecture Laboratory (SIAL)



04

Estudio de casos

La fachada inteligente en acción

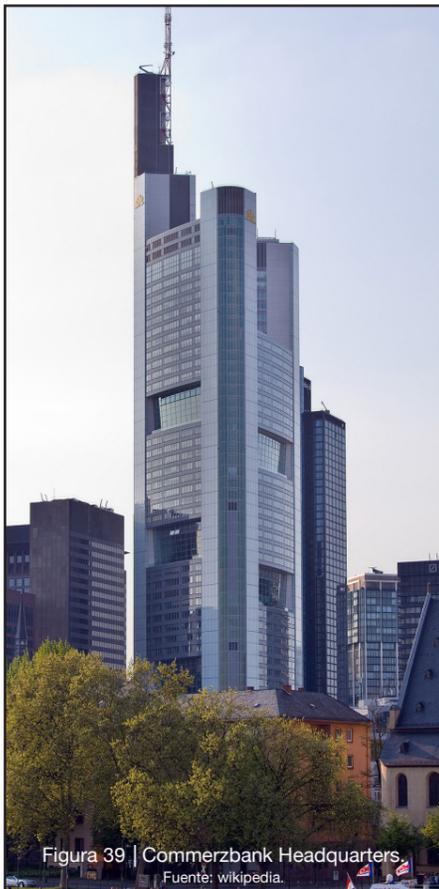


Figura 39 | Commerzbank Headquarters. Fuente: wikipedia.

EDIFICIO

- **Emplazamiento:** Fráncfort am Main, Alemania
- **Contexto:** urbano
- **Año Construcción:** 1997
- **Programa:** oficinas
- **Plantas:** 53 + 2 (bajo rasante)
- **Tamaño:** 120.700 m²
- **Eficiencia energética:** 60%
- **Coste total:** 306.700.000 €
- **Coste fachada:**

AGENTES

- **Promotor:** Commerzbank
- **Arquitecto:** Foster + Partners
- **Ingenieros:** Ove Arup & Partners
- **Ingenieros fachada:** Ingenieur-Büro Schalm
- **Fabricante fachada:** Permasteelisa S.p.A.

ENTORNO

- **Clima:** templado-frío
- **HR media:** 62.5%
- **T. Max. media:** 14.5 °C
- **T. Min. media:** 6.4 °C

4.1 Commerzbank Headquarters

[22] [23] [24] [25] El arquitecto integró completamente una fachada dinámica que sigue sentando un precedente para la construcción de alto rendimiento energético. Desde el principio, los arquitectos de Foster estaban interesados en diseñar un rascacielos de baja energía, dependiendo de la ventilación natural tanto como fuera posible. El edificio está situado en el centro de la ciudad de Fráncfort am Main en un área urbana de alta densidad con altos niveles de ruido y contaminación del aire por el tráfico. La planta consiste en tres “pétalos” -las oficinas- y un “tallo” formado por un atrio central de altura completa. Los pares de mástiles verticales, situados en los vértices, incluyen servicios y núcleos de circulación y soportan las vigas Viendeel²⁷ de ocho alturas, que a su vez soportan pisos de oficinas. A cada lado de la torre y a diferentes niveles, se establecen jardines de cuatro alturas, formando una espiral de jardinería alrededor del edificio. Los elementos de construcción que se han aplicado son: la fachada ventilada de doble piel, sombreado, vegetación, atrio, ventilación híbrida, luz solar y calor solar pasivo.

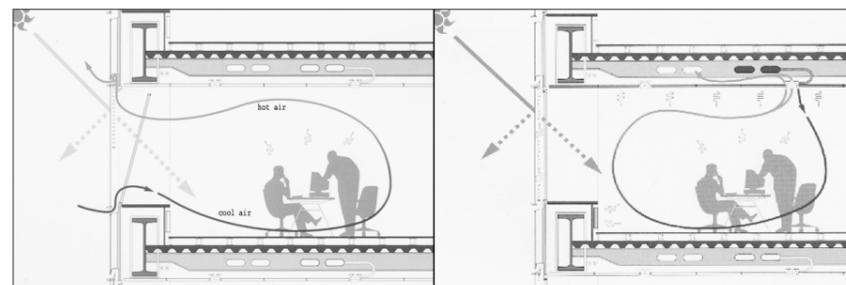


Figura 40 | Sección fachada Commerzbank. Izq ventana abierta, der. ventana cerrada. Fuente: Foster + Partners.

La fachada climática en las ventanas exteriores de las oficinas ayuda a protegerlas de la lluvia y de los fuertes vientos que vienen con un edificio tan alto. Esta fachada incluye un panel de vidrio fijo exterior con una cámara de aire de 18 cm, y un marco interior de doble vidrio, basculante móvil que se inclina hacia adentro hacia la parte superior para aprovechar el ángulo del sol. Los ocupantes pueden controlar la ventilación mediante el uso de ranuras de ventilación motorizadas por encima o por debajo del cristal fijo externo. Un sistema de gestión de edificios (BMS - Building Management System) puede tomar el control, sin embargo, cuando sea necesario, especialmente durante las duras condiciones de invierno o verano, también permite a los ocupantes saber cuándo las condiciones son favorables para abrir las ventanas. Por ejemplo, a altas temperaturas, las ranuras están inclinadas para rechazar el sol, y en el invierno, la luz del sol se refleja en el techo para calentar toda la habitación.

²⁷ [26] Viga de alma abierta formada por una serie de cordones horizontales y barras verticales rígidas, a modo de celosía, que conecta los cordones superiores con los inferiores sin barras diagonales.

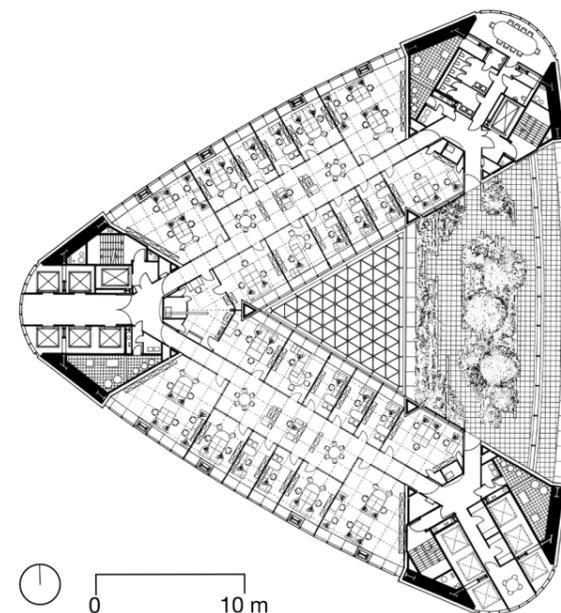


Figura 41 | Planta tipo Commerzbank. Fuente: Foster + Partners.

La única vez que se utiliza un sistema mecánico es para suministrar aire fresco cuando el aire natural está demasiado contaminado o durante tormentas cuando las ventanas no pueden abrirse. Los usuarios pueden abrir de forma automática los paneles oscilantes interiores. La cámara se ventila por los travesaños de aluminio en la parte superior e inferior del panel fijo externo del vidrio, cuando los paneles internos se abren, el aire caliente de la cámara sale por convección. En el interior de las unidades se disponen persianas venecianas de aluminio anodizado de 50mm de espesor controladas por motores que las bajan automáticamente para reducir la ganancia de calor solar en verano o para redirigir la radiación diurna durante el invierno.

Los jardines están revestidos con ventanas totalmente acristaladas de funcionamiento automático que permiten la ventilación natural, mejorada aún más por un camino de escape a través de el atrio central, en el cual existe una presión negativa debido a la forma triangular de la planta.

- Sistema de calefacción

El aire de ventilación se precalienta en la fachada de doble piel y en los jardines. En las estaciones en que la ventilación natural resulte en un mayor consumo de energía, las oficinas se ventilan mecánicamente con aire precalentado proporcionado por los techos radiantes.

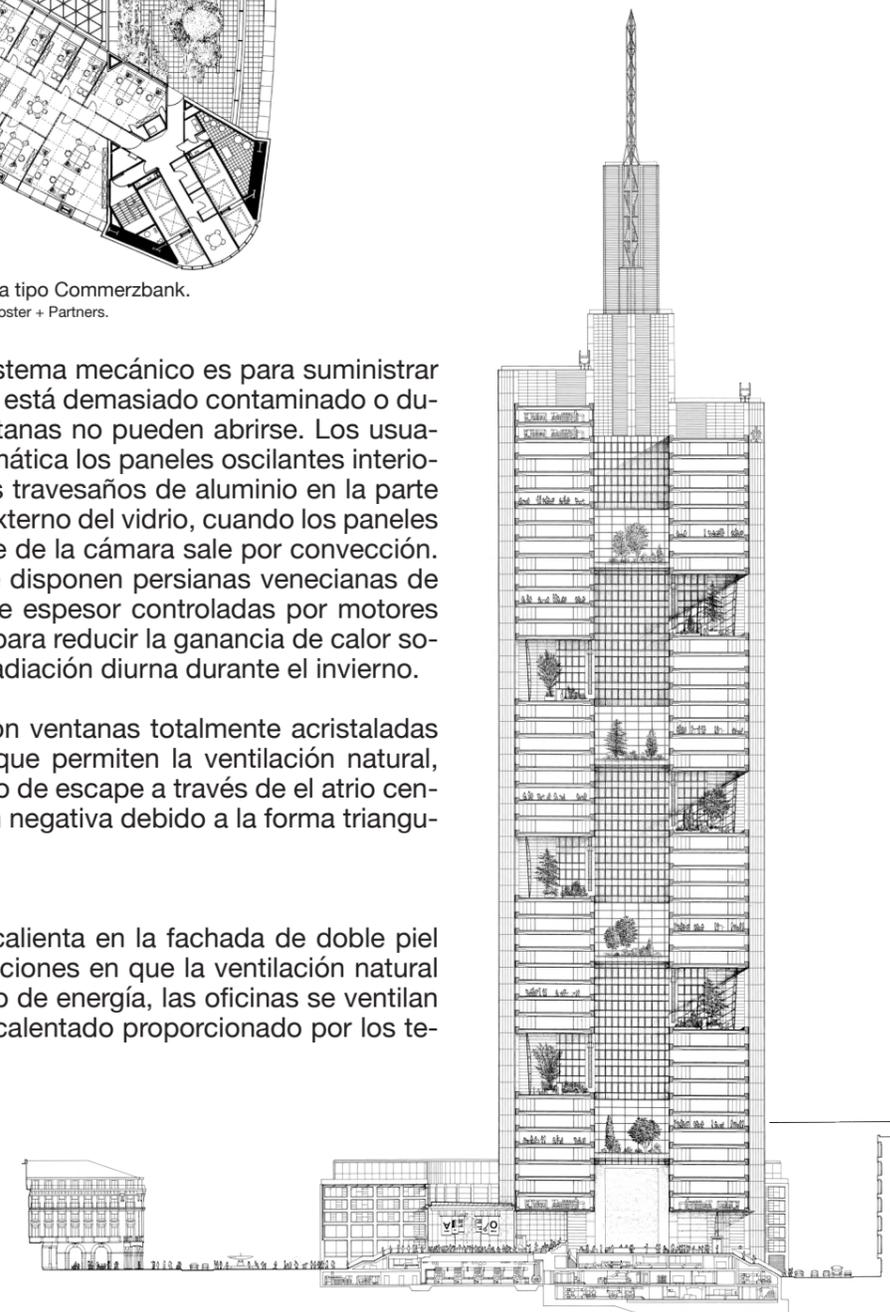


Figura 42 | Sección torre Commerzbank. Fuente: Foster + Partners.

- **Sistema de refrigeración**
El enfriamiento nocturno y la evaporación a través de los jardines de invierno ayudan a mantener bajas las temperaturas en verano. Si esto es insuficiente, el edificio se enfría mediante ventilación mecánica.

- **Sistema de ventilación**
Las zonas interiores del edificio están ventiladas mecánicamente con las mínimas tasas de cambio de aire requeridas para la higiene, mientras que una instalación de calefacción perimetral y techos fríos regulan la temperatura ambiente. La ventilación mecánica se apoya en la ventilación natural, y el usuario de las diferentes oficinas puede regular el grado de ventilación mecánica presionando un botón o abriendo una ventana. La ventilación mecánica se utiliza si hace demasiado viento, o es este está demasiado caliente o demasiado frío (es demasiado frío cuando las temperaturas caen por debajo de 15°C). El edificio es ventilado naturalmente 70% del tiempo, mientras que el último 30% del tiempo es ventilado mecánicamente.

- **Sistema de control**
El edificio está controlado por un sistema inteligente de automatización de edificios, donde se controla la correlación entre calefacción, ventilación, saneamiento, seguridad y comunicación. La iluminación, sombreado, ventanas y calefacción y refrigeración son controlados por sensores, que pueden ser rechazados por el usuario. Después de un tiempo, el sistema se restablece a un ajuste estándar.

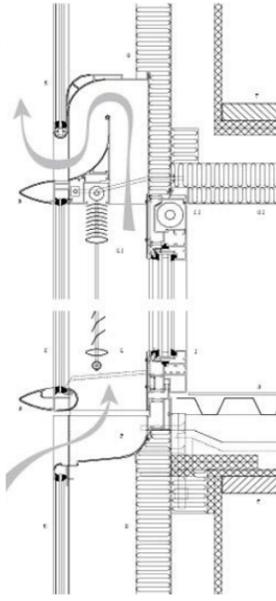


Figura 44 | Sección fachada Commerzbank.
Fuente: Foster + Partners.

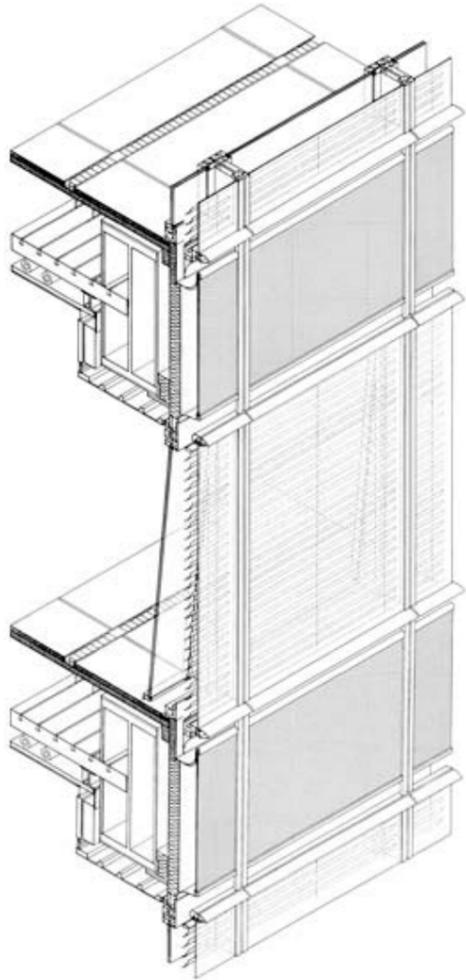


Figura 43 | Axonométrica fachada Commerzbank.
Fuente: Foster + Partners.

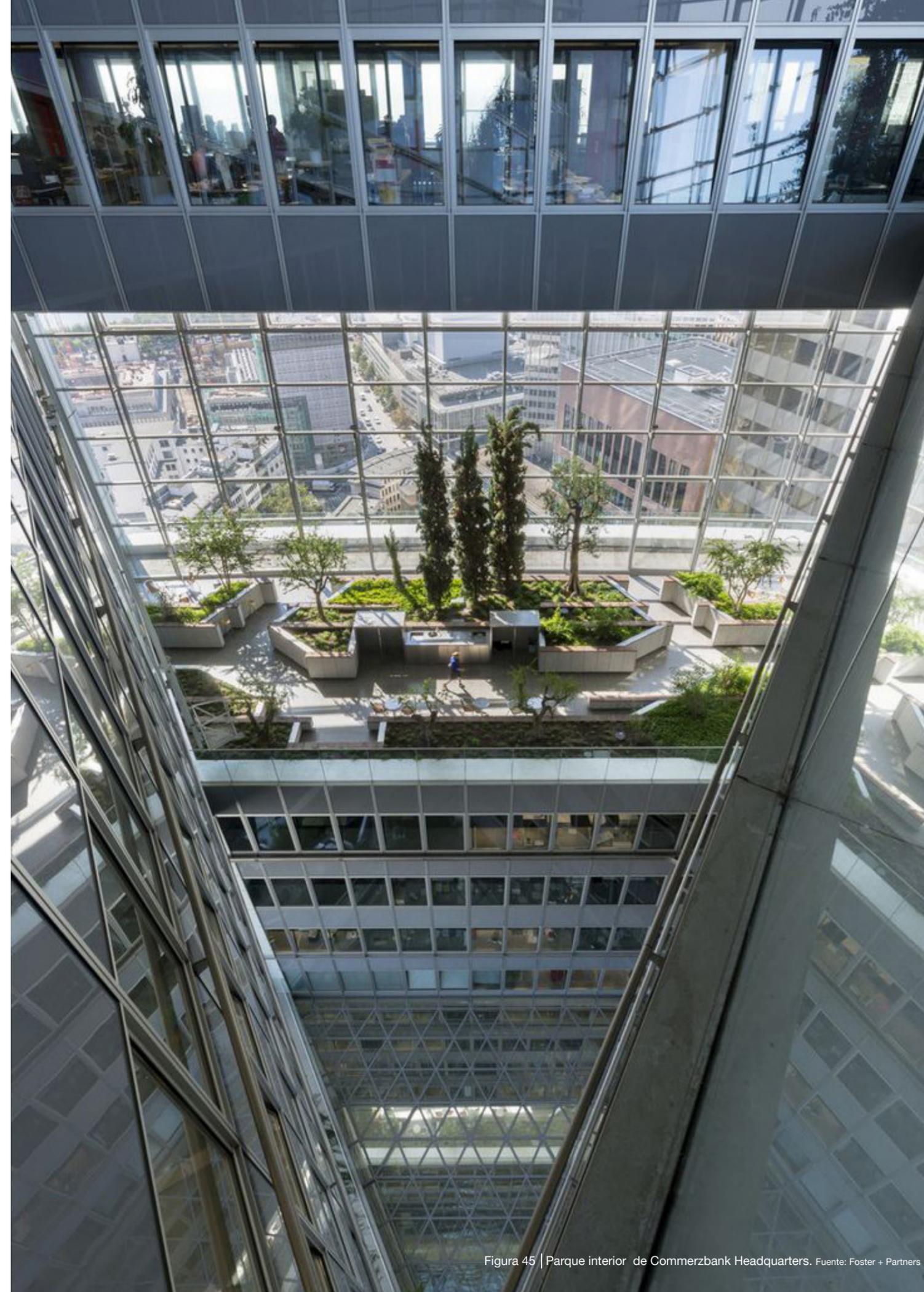


Figura 45 | Parque interior de Commerzbank Headquarters. Fuente: Foster + Partners.



Figura 46 | Council House 2.
Fuente: David Hannah.

4.2 Council House 2

[27] [23] [25] Melbourne's Council House 2 adopta un conjunto radical de tecnologías unidas el sentido común de las técnicas de diseño pasivo para lograr lo que es ahora es considerado, el edificio más sostenible de Australia. Concebido como un llamado "proyecto de faro" para el futuro de Melbourne, el Council House 2, o CH2, como es comúnmente conocido, tenía por objeto demostrar a los arquitectos, ingenieros, desarrolladores y propietarios que los edificios con bajo coste energético podrían ser comercialmente viables en el denso núcleo urbano de la ciudad.

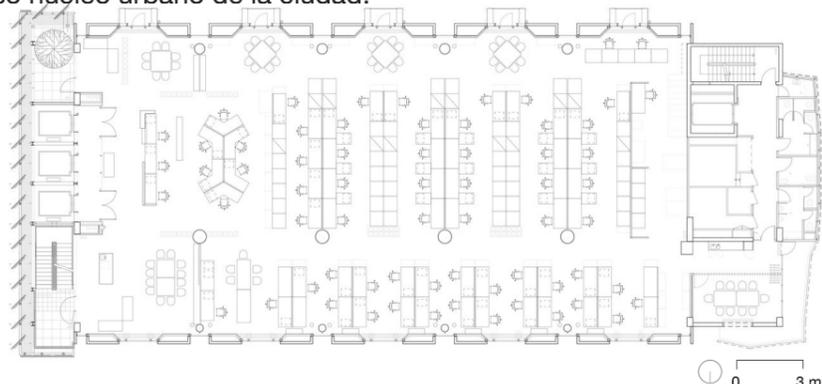


Figura 47 | Planta tipo de Council House 2.
Fuente: Designinc.

Los desarrolladores fueron: Rob Adams, Director de diseño y urbanismo de la ciudad, ingenieros de Lincolne Scott y su equipo Advanced Environmental Concepts, y el estudio de arquitectura Designinc, entre ellos el arquitecto Zimbabuense, Mick Pearce. Pearce diseñó el proyecto Eastgate en Harare, desde 1996, una master class de principios biomiméticos aplicados a la arquitectura con estrategias de diseño pasivo basadas en el sol, ventilación natural y chimeneas solares para proporcionar un ambiente interior confortable.

Con CH2, Pearce se centró en cómo el edificio de oficinas de 11 plantas desarrollado para albergar a los empleados de la ciudad podría mediar entre el medio ambiente y los ocupantes. Esto se expresa directamente en cada fachada. El este es encerrado por un centro de servicio, el oeste se abre y se cierra detrás de persianas operables de madera reciclada, y el norte y el sur incluyen ventanas y balcones operables por un lado. Los puestos de trabajo ocupan las zonas centrales, dejando las zonas iluminadas por el día para reuniones y espacios de separación. El aire acondicionado exterior se suministra a través de un sistema de ventilación bajo el suelo, con difusores "twist" controlables, complementados con paneles refrigerados integrados en módulos prefabricados de hormigón en el techo que también ocultan la iluminación y el cableado. Las ventanas de CH2 se abren automáticamente para permitir que el aire nocturno enfríe las

EDIFICIO

- **Emplazamiento:** Melbourne, Australia
- **Contexto:** urbano
- **Año Construcción:** 2006
- **Programa:** ayuntamiento
- **Plantas:** 11 + 1 (bajo rasante)
- **Tamaño:** 12.500 m²
- **Eficiencia energética:** 85%
- **Coste total:**
- **Coste fachada:**

AGENTES

- **Promotor:** Melbourne
- **Arquitecto:** Joint Venture, Ayuntamiento de Melbourne y Design Inc
- **Ingenieros:** Bonaci Group
- **Ingenieros fachada:** Advanced Environmental Concepts
- **Fabricante fachada:** Hansen Yuncken

ENTORNO

- **Clima:** oceánico moderado
- **HR media:** 68%
- **T. Max. media:** 19.8 °C
- **T. Min. media:** 10.2 °C

superficies de hormigón expuestas. Esta energía almacenada se disipa a través de las horas de la mañana y ayuda a reducir la demanda de refrigeración en aproximadamente un 20%.

La fachada oeste operable consiste en dos capas, un sistema de cortina de vidrio y una piel externa de paneles de madera reciclada montados en una estructura de acero secundaria, los paneles se montan y accionan individualmente basados en la posición del sol, así que el edificio se abre a la concurrida Swanston Street durante las horas de la mañana y luego se cierra lentamente mientras el sol se desplaza después del mediodía.

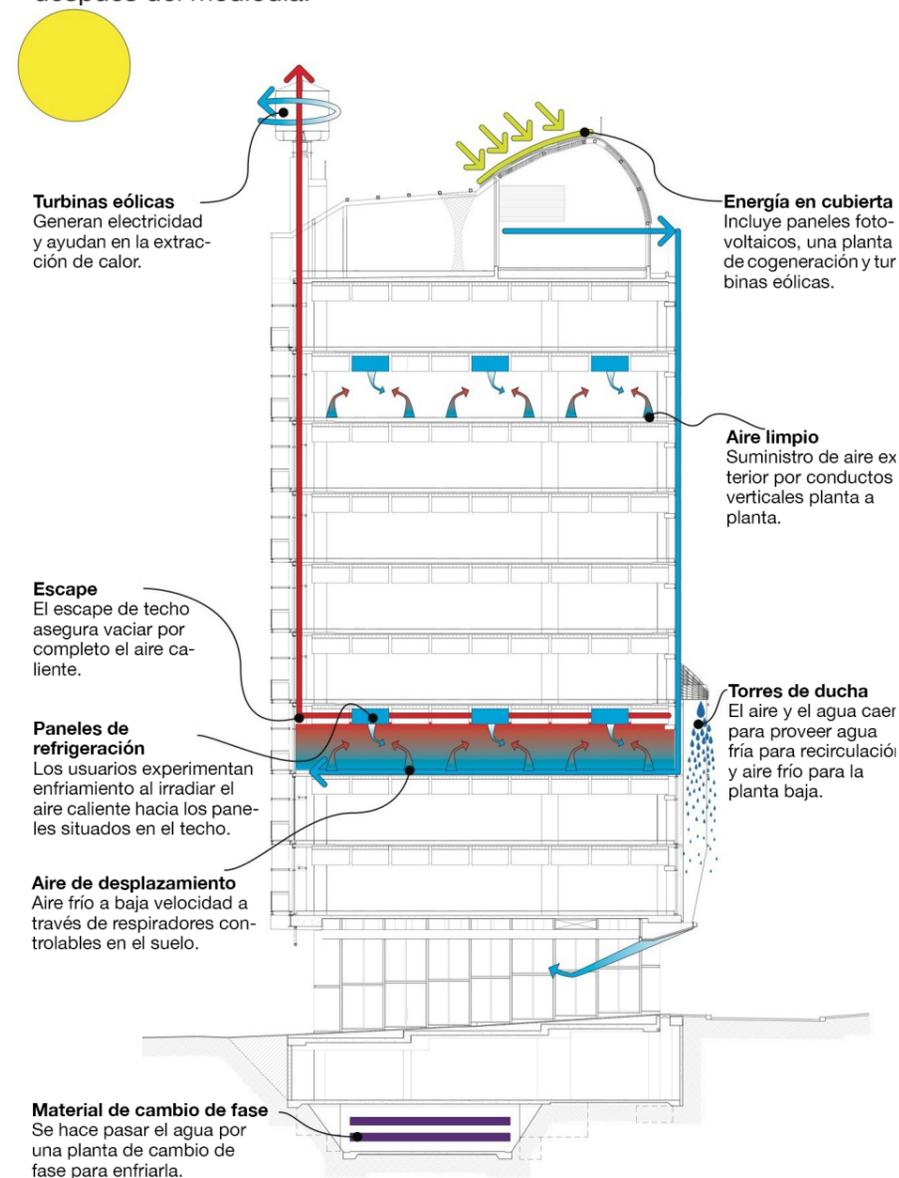


Figura 48 | Sección bioclimática de Council House 2 en modo día.
Fuente: Designinc.

Es una estrategia simple para reducir la ganancia de calor solar, al tiempo que proporciona una fachada más ricamente texturada a lo largo de una de las principales vías de la ciudad. Las plantaciones incorporadas en la fachada norte, que incluye balcones, fueron previstas para proporcionar sombra en verano.

Todas estas estrategias de fachada se combinan para reducir significativamente el aumento de calor interno, haciendo posible el sistema de techo refrigerado que enfría y minimiza la cantidad de aire proporcionada por el sistema de ventilación debajo del suelo. El efecto, algo imprevisto, fue cómo las aberturas de las ventanas más pequeñas limitaban la entrada de luz pero esto fue compensado marginalmente por el aumento de la reflexividad en las superficies interiores.

Otras tecnologías adoptadas en el edificio incluyen una planta de tratamiento de aguas negras para producir más agua tratada de la que el edificio consume cada año, una planta de trigeneración²⁹ que produce electricidad, calefacción y enfriamiento, sistemas de control de luz, almacenamiento térmico con materiales de cambio de fase y turbinas de viento en la azotea. Las turbinas, por ejemplo, rara vez se han movido desde que fueron instaladas, pero el proyecto debe entenderse como una demostración.

Una de las tecnologías más simples son las denominadas “torres de ducha” en el lado sur del edificio, donde el agua es rociada a través de tubos translúcidos instalados a lo largo de la altura del edificio y luego recogidos en el fondo y utilizados para proporcionar un cierto efecto de enfriamiento marginal al suministro de aire. Las torres son una rareza arquitectónica, sobre todo porque la colección de agua en el fondo se produce a través de paneles de vidrio inclinado.

Aunque CH2 envejezca y los edificios australianos más nuevos han aumentado su compromiso con la sostenibilidad, sigue siendo un punto de referencia para el rendimiento sostenible. La ciudad ha ayudado a asegurar su relevancia mediante la realización de estudios posteriores a la ocupación y hacer públicos los resultados, lo que demuestra que un edificio tan sintonizable como CH2 puede hacer avances en la satisfacción de los ocupantes. Una encuesta de 2008 reveló un aumento del 10% en la productividad de los trabajadores en comparación con el edificio de oficinas anterior de la Ciudad.

²⁹ Proceso similar a la cogeneración en el que se consigue energía eléctrica, calor y frío a partir de una misma fuente de energía.



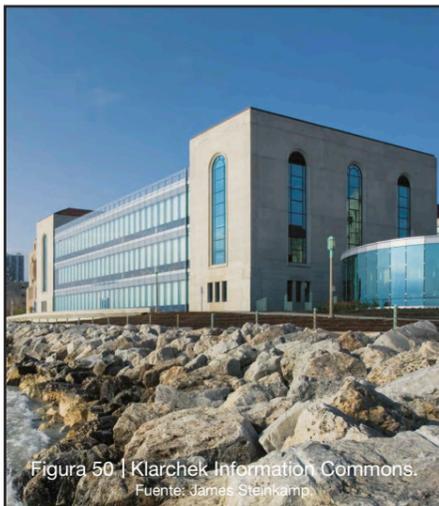


Figura 50 | Klarchek Information Commons. Fuente: James Steinhamp.

EDIFICIO

- Emplazamiento: Chicago, USA.
- Contexto: suburbano
- Año Construcción: 2007
- Programa: biblioteca
- Plantas: 4
- Tamaño: 6500 m²
- Eficiencia energética: 52%
- Coste total: 23.700.000 €
- Coste fachada:

AGENTES

- Promotor: Loyola University Chicago
- Arquitecto: Solomon Cordwell Buenz
- Ingenieros: Halvorson and Partners
- Ingenieros fachada: Enclos
- Fabricante fachada: Enclos

ENTORNO

- Clima: húmedo-continental
- HR media: 68%
- T. Max. media: 28.9 °C
- T. Min. media: -8.6 °C

4.3 Richard J. Klarchek Information Commons

[28] [29] [23] [25] Loyola University Lake Shore Campus de Chicago está tan cerca del lago Michigan que en días tranquilos se puede oír el oleaje rompiendo sobre las rocas que protegen los jardines del borde oriental. Para un campus universitario urbano que ha existido por casi un siglo, éste sufre de pocos errores de planificación, sin embargo, los lugares donde poder levantar nuevos edificios sin sacrificar espacios son escasos.

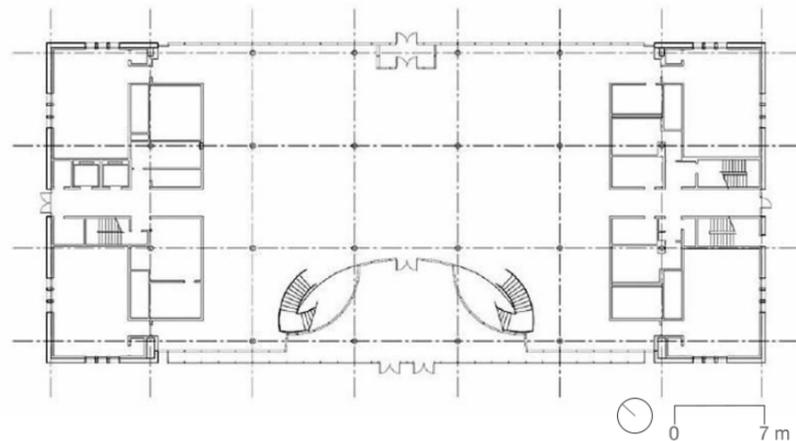


Figura 51 | Plano de Klarchek Information Commons. Fuente: greenscale.org.

Los administradores habían estado observando el terreno ahora ocupado por Richard J. Klarchek Commons por décadas. Una franja estrecha de tierra. Pero estaba entre el patio del campus y la orilla del lago. La vista está enmarcada por la Biblioteca Cudahy y la Capilla de Madonna Della Strada, un conjunto de edificios Art Deco. El sitio era tan espectacular que cualquier edificio que se construyó aquí tendría que ser extraordinario.

Debido a la cercanía del campus al segundo lago de agua dulce mas grande de América del Norte se produce un microclima a considerar para el diseño del edificio. El lago es un sumidero termal enorme. Cuando se calienta en verano, mantiene el calor con la caída de la temperatura y en la primavera permanece frío. Por supuesto, es una fuente obvia de humedad.

La estrategia obvia para preservar la conexión visual del patio al lago era hacer el edificio altamente transparente. Desde el interior del edificio la vista a través de la fachada tendría que estar lo menos ininterrumpida posible, y libre de corrientes de aire.

Los arquitectos de Solomon Cordwell Buenz (SBC) se asociaron con Transsolar KlimaEngineering para crear el edificio de 6.500 m² de cuatro pisos. Hicieron una investigación extensa del clima para en-

tender qué temperatura, viento, y condiciones de la humedad ocurrirían aquí. Este análisis sugirió que debido a que las fachadas se enfrentarían casi al este y al oeste, las fachadas de vidrio necesitarían tener alguna forma de ventilación para hacer frente a los inevitables cambios de temperatura.

Las fachadas de 45.72 m de ancho y 15.24 m de alto son completamente acristaladas. Están dispuestas al norte y al sur por las salas de seminarios y los núcleos de servicio, cuyo revestimiento de piedra caliza y ventanas arqueadas hacen referencia a la biblioteca existente al norte y la capilla al sur.

Aunque las fachadas acristaladas son extremadamente importantes para el rendimiento energético y la comodidad, son componentes de un sistema mixto altamente integrado. Incluye pisos radiantes y ventilación bajo el suelo. Las estructuras de suelo y techo de hormigón tienen huecos profundos equipados con fluorescentes colgados de alto rendimiento. Estos se apagan cuando hay una cantidad suficiente de luz del día.

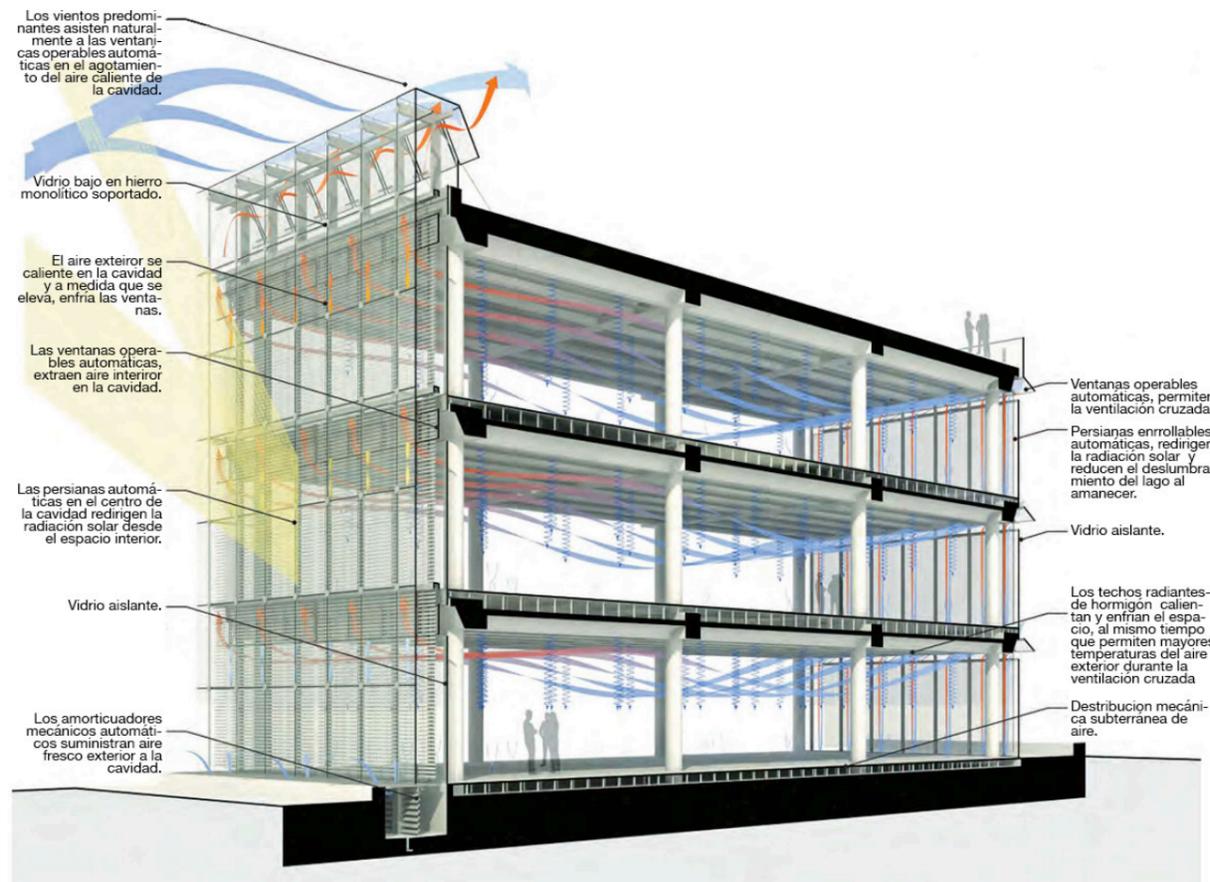


Figura 52 | Esquema del funcionamiento de Klarchek Information Commons en modo ventilación. Fuente: Solomon Cordwell Buenz.

Los alzados del este y del oeste son a la vez activos pero considerablemente diferentes el uno del otro. El lado este es un muro de paneles de vidrio aislante (IGU - Insulated Glass Unit). Los IGUs tienen un recubrimiento de baja emisividad, y están sujetos en las esquinas por un sistema de montantes patentado que permite montar paneles de vidrio extremadamente altos sin utilizar travesaños. La fachada tiene persianas automáticas que bloquean cerca del 92% de la luz visible cuando el sol directo provoca deslumbramiento. El patrón abierto permite que la radiación solar se refleje sin bloquear completamente la vista. Dos hileras de respiraderos de 76,2 cm de alto se abren automáticamente al aire fresco cuando es requerido por el sistema de administración del edificio.

La fachada acristalada en el lado oeste del edificio es de doble piel. Excepto por el vestíbulo, que se introduce en el edificio para abrazar escaleras circulares, las dos capas de vidrio tienen una cámara de aire de 91,5 cm. La capa interna es un IGU, y la capa exterior es vidrio transparente templado soportado por un complejo sistema de red de cables pretensados. Alberga una persiana veneciana de 10,1 cm de ancho que se despliega cuando el sol está bajo en el oeste.

La parte superior de la pared tiene un parapeto de cristal único, que ayuda a mantener la transparencia. Cuando la cámara de aire se agota, las rejillas de vidrio situadas en el techo se abren. Esto permite que el aire aspirado a través de rejillas horizontales que están fuera a nivel del suelo sea expulsado hacia arriba. Cuando los respiraderos de la fachada este y la capa interior del cámara están abiertos, se produce ventilación cruzada a través del edificio. Las brisas del exterior del edificio mejoran el efecto. En invierno la fachada está cerrada y puede utilizarse como amortiguador térmico.

En materia de eficiencia energética, el modo de funcionamiento más eficaz se produce cuando la temperatura ambiente y la humedad exteriores permiten que el edificio esté ventilado de forma cruzada. La tremenda masa de hormigón del suelo y del techo, almacena tanta energía térmica que la temperatura dentro del edificio oscila muy lentamente. Esto mejora la comodidad en el edificio, y utiliza una veintava parte de la energía necesaria para un sistema de aire forzado. Según los arquitectos, el edificio Information Commons alcanza una reducción del consumo energético entorno al 52% muy por debajo de los requisitos mínimos de ASHRAE 90.1-1999.

Una de las razones por las que el Klarchek Information Commons es tan apropiado, a pesar de su complejidad, es que fue diseñado y construido usando un enfoque de entrega de proyecto integrado en el que puso a los constructores, propietarios y equipo de consultoría en el proceso temprano de diseño para que fueran capaces de trabajar juntos desde el principio. Los constructores de la fachada oeste utilizaron el método de diseño asistido. Eso les permitió crear detalles personalizados y determinar un proceso para la construcción de las paredes, mientras que el edificio estaba todavía en el diseño.





EDIFICIO

- Emplazamiento: Troy, NY, USA
- Contexto: suburbano
- Año Construcción: 2008
- Programa: cultural/teatro
- Plantas: 4
- Tamaño: 20.000 m²
- Eficiencia energética: 15 %
- Coste total: 141.000.000 €
- Coste fachada:

AGENTES

- Promotor: Rensselaer Polytechnic University
- Arquitecto: Grimshaw y Davis Brody Bond Aedas
- Ingenieros: Buro Happold
- Ingenieros fachada: División Josef Gartner & Co. del Grupo Permasteelisa
- Fabricante fachada: División Josef Gartner & Co. del Grupo Permasteelisa

ENTORNO

- Clima: húmedo-continental
- HR media: 72%
- T. Max. media: 27 °C
- T. Min. media: -6.8 °C

4.4 Experimental Media and Performing Arts Center

[30] [31] [23] [25] EMPAC es una de las instalaciones más ambiciosas para las formas emergentes de teatro, danza y música que se han construido en los Estados Unidos. Cuenta con cuatro salas de espectáculos, incluyendo una sala de conciertos de 1.200 asientos, estudios de ensayo, estudios de artistas en residencia, oficinas y espacios de apovo.

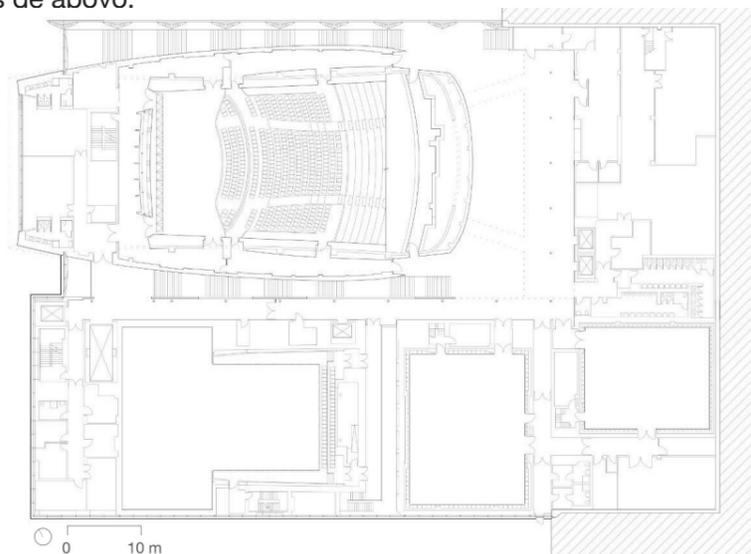


Figura 55 | Planta Segunda EMPAC. Fuente: Grimshaw.

La fachada dinámica de este edificio es única pues no tiene partes móviles, aparte del fluido usado para la calefacción. EMPAC está construido en el lado de una colina empinada, la entrada principal y el vestíbulo que conduce al hall se encuentra en el lado este del edificio, en la parte superior de la colina inclinada. La sala de conciertos se sitúa en un eje este-oeste, y un impresionante atrio corre paralelo a él. El atrio está separado del exterior por una pared de vidrio que mira hacia el norte. Tiene más de 75 m de largo, doble altura en el vestíbulo y escaleras en el extremo oeste del edificio.

La inmensa extensión de vidrio del atrio permite que el vestíbulo único en forma de huevo sea visible desde el exterior del edificio. Desde el interior, los visitantes de EMPAC y los espectadores son tratados con espectaculares vistas al noroeste de la ciudad de Troy y el valle del río Hudson.

La gran altura del atrio hace que la calefacción del espacio sea desafiante. En invierno, Troy puede estar sujeto a temperaturas muy frías y a vientos fuertes del norte. La sala de conciertos también se humidifica durante la temporada de calefacción, por lo que el aire cargado de humedad pasa a la pared y se condensa en la superficie interior del vidrio.

Varias soluciones convencionales a estos problemas fueron consideradas y rechazadas. Uno habría sido bombear grandes cantidades de aire caliente a lo largo de la superficie del vidrio, pero ello habría requerido enormes conductos alrededor del perímetro del espacio y ocultar estos podría haber requerido un falso techo que hubiera restado valor a las vistas interior-exterior. Los radiadores de tubo de aleta también podrían haber sido instalados horizontalmente encima del muro cortina (otra solución poco elegante y discutiblemente eficiente). Buro Happold también consideró un suelo radiante. Hubiera calentado el espacio, pero no habría resuelto los problemas de la corriente descendente ni de la condensación.

Grimshaw es conocido por su detalle minimalista, y quería un perfil de forjado delgado. Querían que el muro fuera lo más plano posible, con las juntas entre los paneles de vidrio exterior de 2,13 x 3,66 m lo más estrechos posible.

Buro Happold creó un sistema de dos partes para tratar el problema. Una ranura en el suelo junto al vidrio, en el perímetro del atrio, que proporciona ventilación. Aire de baja presión viene a través de tubo debajo de la ranura para proporcionar un poco de calor, así como refrigeración en verano. Los ingenieros comenzaron entonces a examinar la emisión de condensación. La condensación se forma en el punto más frío del vidrio, donde las unidades de vidrio aislado se unen con los montantes, donde hay un puente térmico.

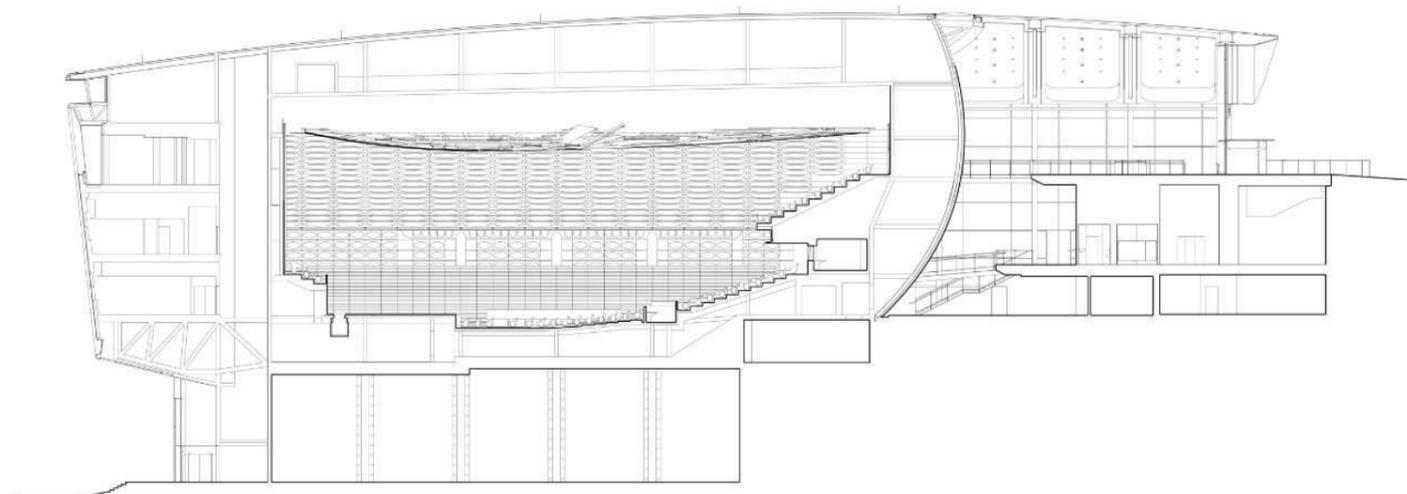


Figura 56 | Sección longitudinal EMPAC. Fuente: Grimshaw.

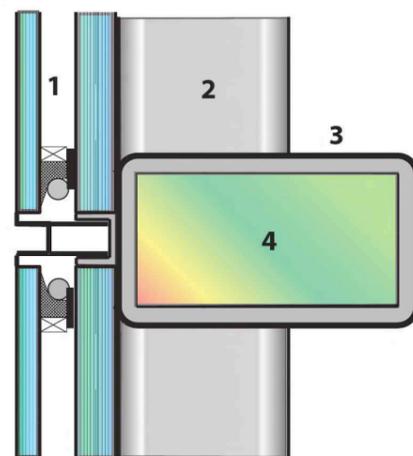
Finalmente, Buro Happold comenzó a considerar seriamente el uso de un sistema que bombeara agua caliente a la parte superior de la rejilla de tubos estructurales que soportan el muro cortina, convirtiendo la pared en un radiador. Usando simulaciones de dinámica de

fluidos fueron capaces de predecir que eliminaría el riesgo de condensación. El sistema ya se ha utilizado en Europa, pero es la primera vez que se ha utilizado en los EE.UU. En climas donde la humedad es muy baja, se utiliza agua fría para enfriar este tipo de muros.

Una mezcla de agua y glycol³⁰ se bombea a través de los montantes hasta la parte superior del muro cortina. Fluye en un camino serpenteante, calentando el vidrio. Hay seis Zonas. El equilibrio de presión en los tubos es difícil, por lo que el diseñador y proveedor del muro cortina, Josef Gartner & Co., diseñó una serie de placas de metal con orificios de diferentes tamaños insertados dentro de los montantes dirigiendo el flujo del fluido.

La temperatura del agua caliente suministrada al muro es 55 °C y una vez que ha transmitido su calor vuelve a 45 °C, una temperatura menor a la utilizada por el sistema por lo que los intercambiadores de calor se utilizan para subir la temperatura del líquido bombeado a través de los montantes.

El sistema de montantes de calefacción de este muro cortina precisa muy poco mantenimiento. Una vez se llena, se sella y nunca se drena, aunque hay válvulas de alivio en las parte más alta de los montantes, diseñados para abrirse si la presión supera un nivel seguro.



- 1. Panel de vidrio aislante
- 2. Travesaño
- 3. Montante
- 4. Solución de agua y glycol

Figura 57 | Sección detalle de un montante. Fuente: Charles Linn.

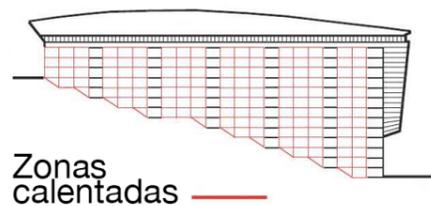


Figura 58 | Zonas calentadas fachada EMPAC. Fuente: Charles Linn.

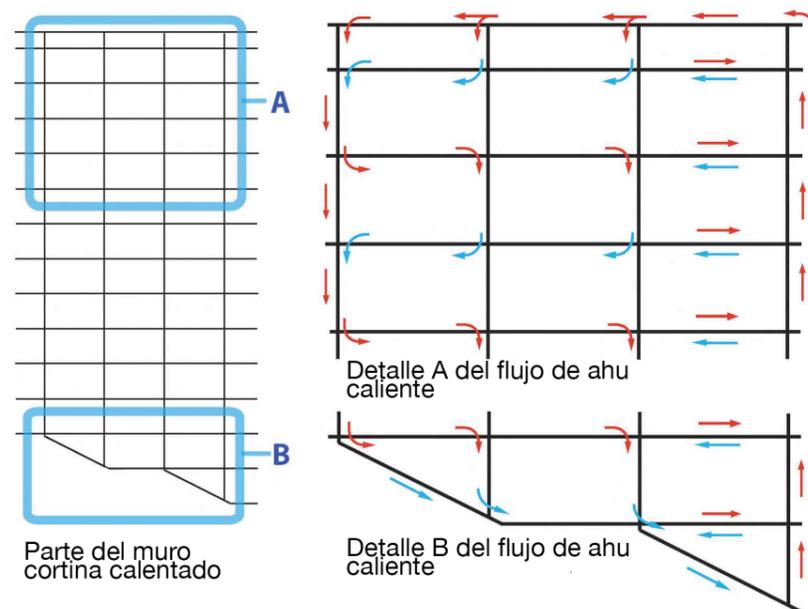


Figura 59 | Recorrido del agua en la fachada EMPAC. Fuente: Charles Linn.

³⁰ Compuesto químico, ligeramnete espeso, transparente e incoloro que se utiliza como anticongelante en circuitos de refrigeración.



Figura 60 | Fachada EMPAC. Fuente: Damien James.



Figura 61 | Surry Hills.
Fuente: David Hannah.

EDIFICIO

- Emplazamiento: Sydney, Australia
- Contexto: urbano
- Año Construcción: 2009
- Programa: biblioteca
- Plantas: 3 + 1 (bajo rasante)
- Tamaño: 2.500 m²
- Eficiencia energética: 50%
- Coste total:
- Coste fachada:

AGENTES

- Promotor: Ciudad de Sydney
- Arquitecto: Francis-Jones Morehen Thorp (FJMT)
- Ingenieros: Taylor Thomson Whitting
- Ingenieros fachada: Taylor Thomson Whitting
- Fabricante fachada: Prodema

ENTORNO

- Clima: oceánico moderado
- HR media: 50%
- T. Max. media: 22 °C
- T. Min. media: 14 °C

4.5 Surry Hills Library and Community Center

[32] [23] [25] La arquitectura pública ambiciosa es una comodidad rara en Australia, lo que hace a la biblioteca Surry Hills y el Community Center un edificio excepcional por su programa híbrido y su uso radical de la tecnología arquitectónica. El edificio de tres pisos más sótano, incluye una biblioteca, espacio comunitario público y un centro de cuidado de niños que sirve a uno de los barrios más diversos de Sydney. El edificio presenta dos condiciones dinámicas de fachada, ajustadas a su orientación particular: el alzado este, que cuenta con persianas operables colocadas verticalmente a lo largo de una fachada acristalada, y alzado sur, que consta de una doble cámara de aire vidriada en cuyo interior hay plantas de bambú que filtran el aire de ventilación del suministro.

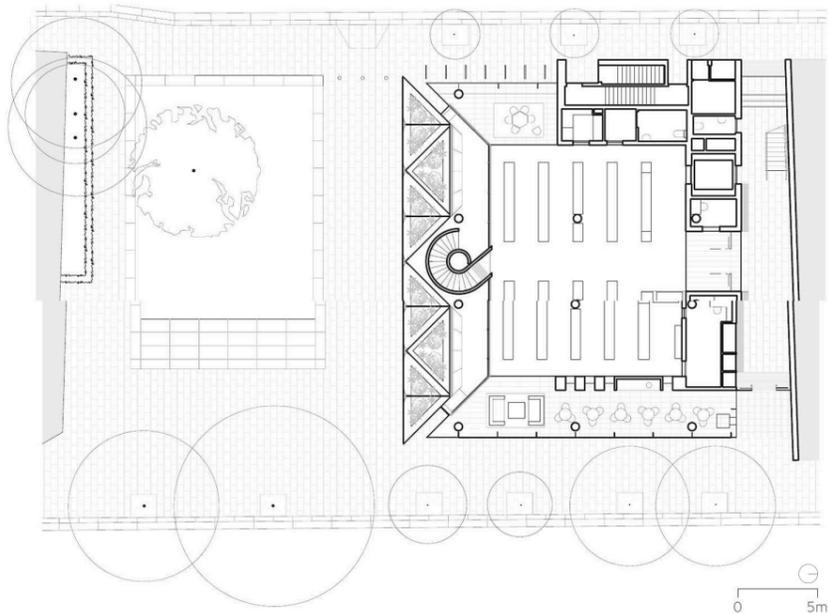


Figura 62 | Planta Baja de Surry Hills Library.
Fuente: FJMT.

La biblioteca abarca la planta baja, que los arquitectos de Francis-Jones Morehen Thorp (FJMT) han tratado con una fachada de vidrio sin marco para permitir una vista completa desde la entrada principal de la calle y a través del edificio hacia pequeñas áreas vidriadas que revelan la calle residencial en la lado oeste del edificio. Esta fachada acristalada se extiende hasta la altura del edificio, con las persianas de madera al este que cubren los niveles segundo y tercero controlados con activadores e indicadores del sistema de control de gestión de edificios (ECS), estas persianas giran en respuesta a la posición del sol, activando el frente de calle y alterando la ganancia solar en el interior.

FJMT compara los listones a la forma en que los árboles en el parque al otro lado de la calle generan un moteado de luz en el suelo. Haciendo las persianas operables, los arquitectos esperaban dar a los visitantes de la biblioteca y del Community Center la oportunidad de ver un cambio ambiental similar al modo en que la calidad de la luz cambia bajo la copa de un árbol. Las láminas de madera fueron fabricadas por Prodema, un fabricante italiano, que ha trabajado con FJMT en varios de sus proyectos, entre ellos la Facultad de Derecho de la Universidad de Sydney.

De lejos, el gesto más radical en todo el edificio es la fachada sur frente a la cual hay un espacio verde público que oculta un tanque subterráneo utilizado para almacenar el agua de lluvia recogida encubierta. Esta fachada presenta una fachada de vidrio de doble piel con una serie de cavidades internas trianguladas que sirven para diferentes propósitos. El diagrama original del edificio preveía esta fachada como un elemento de diseño central, envuelto por las persianas de madera y el revestimiento.

Cuatro de las cavidades extraen el aire exterior desde la cubierta, haciéndolo pasar por bobinas suministradas con agua fría o caliente de los intercambiadores de calor geotérmicos situados bajo el edificio. El aire es entonces filtrado a través de plantas de bambú que crecen de los plantadores instalados en el fondo de las cavidades, antes de hacer pasar el aire por un muro de gaviones de roca que rodea la cimentación. Durante los meses de verano, el muro enfría el aire varios grados, se recarga con una estrategia de descarga nocturna. Las otras dos cavidades de vidrio actúan como conductos que alimentan cada nivel de edificio y las cavidades del techo, donde sistemas refrigerantes proporcionan el acondicionamiento adicional. Tomadas en conjunto con otras estrategias de eficiencia energética, las innovadoras fachadas han llevado a una reducción del 50% en la demanda de energía de refrigeración en comparación con un diseño de edificio típico de Sydney. La pared acristalada de doble piel presenta dos tipos diferentes de acristalamiento un acristalamiento laminado de 25,6 mm con fritas de cerámica reflectante en el interior y un vidrio laminado de 26 mm reforzado térmicamente en la capa exterior.

La estrategia general es como una versión transpa-

1. Plénium mecánico con reguladores acústicos.
2. Entrada de aire.
3. Persiana enrollable operada eléctricamente "Silent Gliss Tess 100".
4. Silicona estructural negra.
5. Vidrio templado laminado de 26 mm.
6. Vidrio laminado y endurecido impregnado con frita cerámica entre capas.
7. Plantación del atrio.
8. Maceta de hormigón reforzado con fibra de vidrio.
9. Estancia de la planta mecánica.
10. Conducto mecánico rígido.
11. Revestimiento de madera.
12. Conducto de suministro de aire desde el laberinto de gaviones.
13. Pozo de agua de lluvia con bombeo.

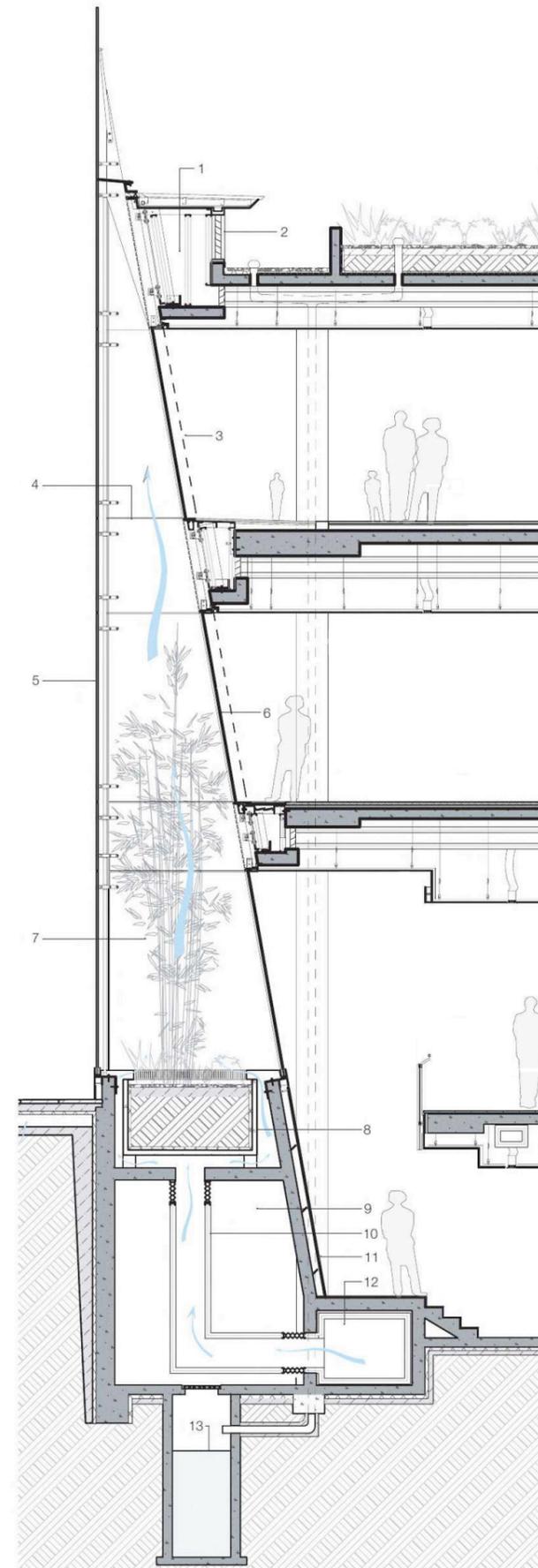


Figura 63 | Detalle sección fachada sur.
Fuente: FJMT.

rente del Centro Pompidou en París, donde los conductos de aire de ventilación se instalan a lo largo del perímetro del edificio. También expone la función del edificio al parque y a la calle, extendiendo la cara pública del edificio. Además, las plantas en las cavidades de vidrio se seleccionaron por su potencial de bio-filtración, ya que la calidad del aire era una preocupación clave de la ciudad y el equipo de diseño. La Ciudad tiene la intención de cuantificar los beneficios de filtración de las plantas, ya que hay poca orientación disponible para los diseñadores.

Desde que abrió el centro, el consultor de servicios y sostenibilidad, Steensen Warming, ha realizado una evaluación que compara la biblioteca al activo inmobiliario de mejor rendimiento de la ciudad. Para noviembre de 2009, la biblioteca tuvo mejores resultados que las existencias de la ciudad en términos de consumo de electricidad, agua y gas. La concentración de oxígeno del aire interior se ha aproximado al 22% (el aire exterior contiene una concentración de oxígeno del 20%, en ciudades la concentración es mucho más baja).

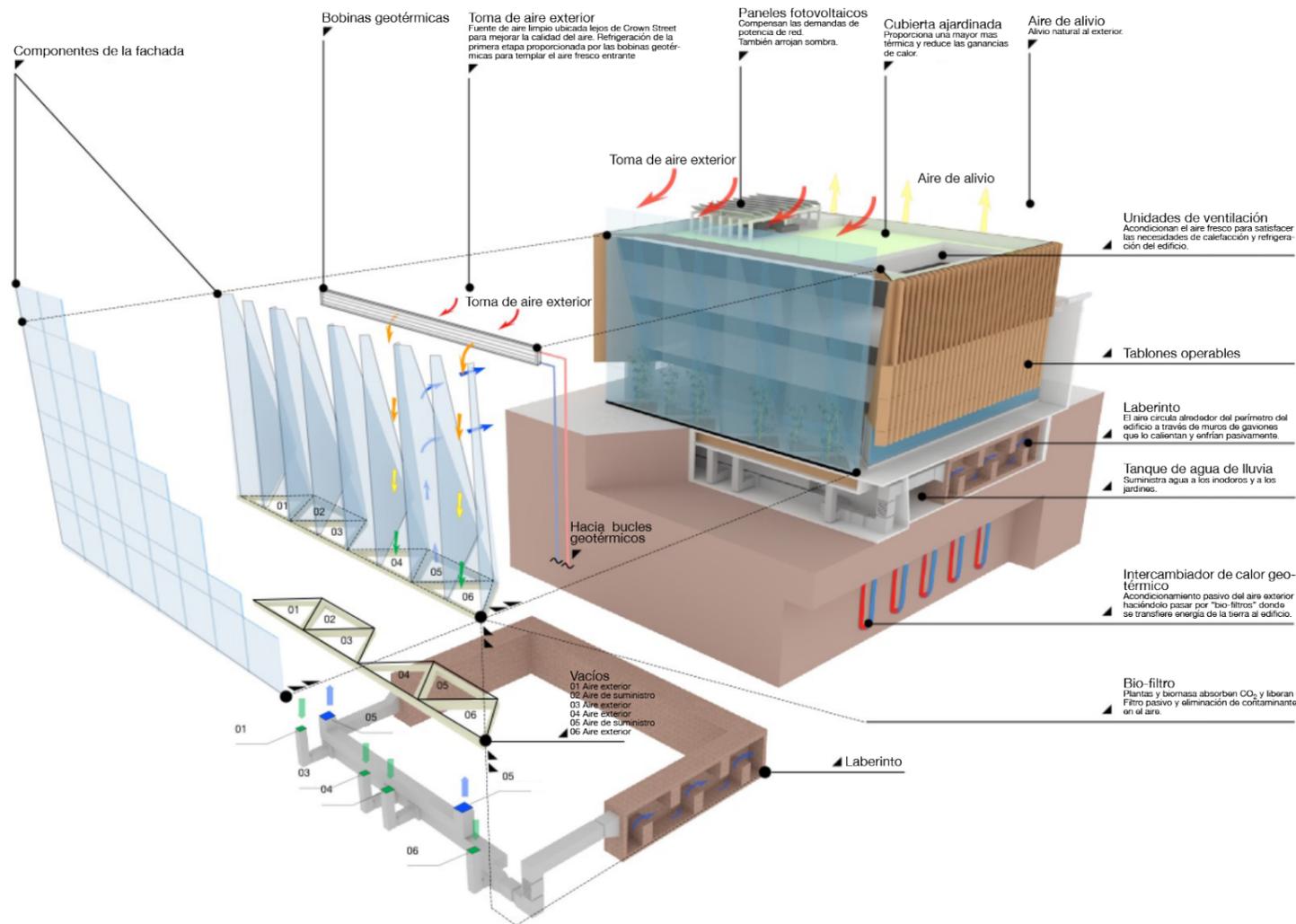


Figura 64 | Esquema 3D de los sistemas desplegados en todo el edificio. Fuente: FJMT.

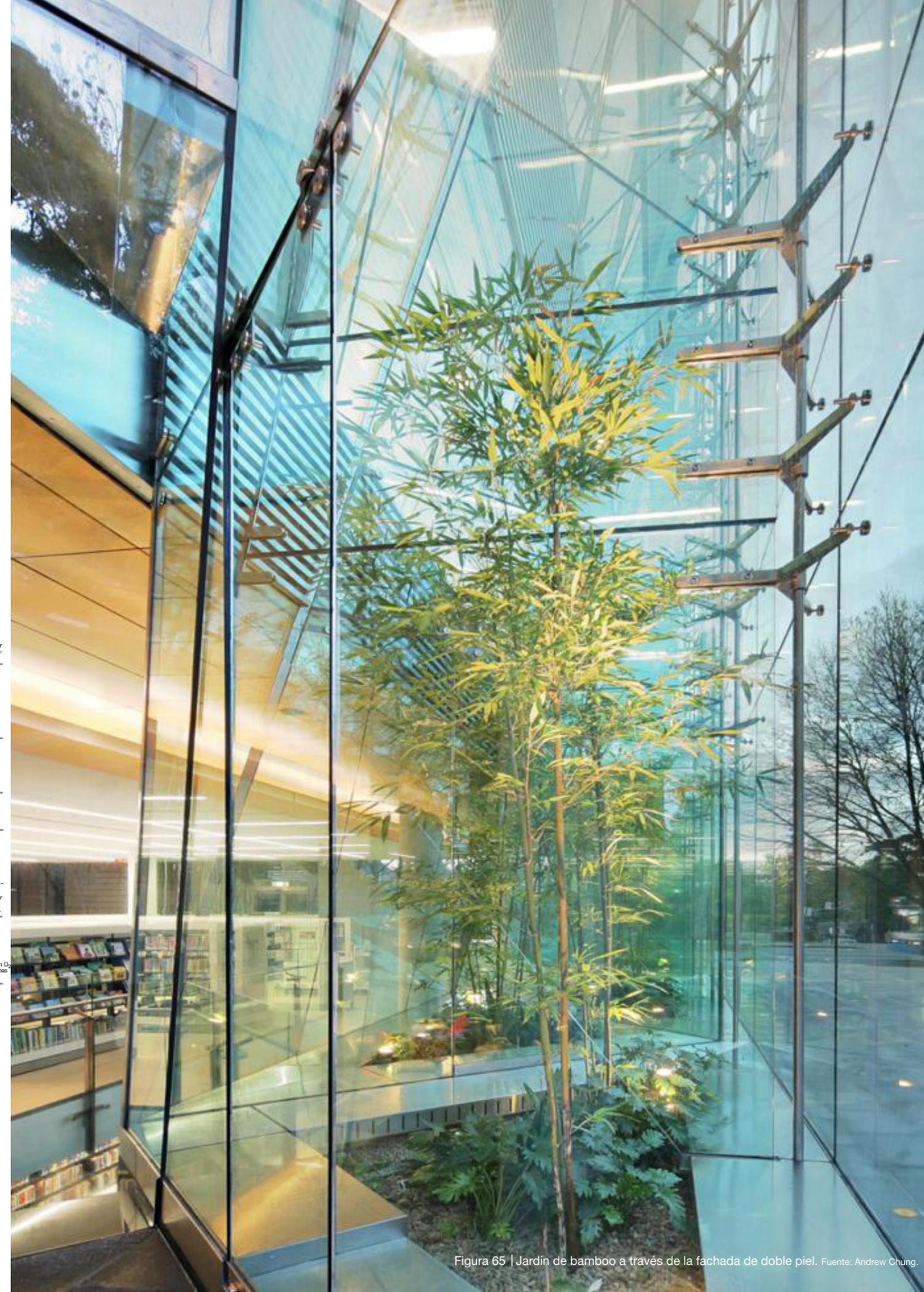


Figura 65 | Jardín de bambú a través de la fachada de doble piel. Fuente: Andrew Chung.

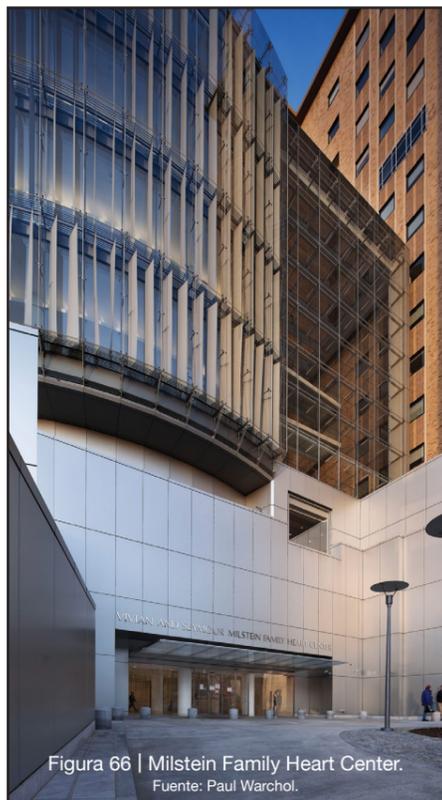


Figura 66 | Milstein Family Heart Center. Fuente: Paul Warchol.

EDIFICIO

- **Emplazamiento:** Nueva York, USA.
- **Contexto:** urbano
- **Año Construcción:** 2010
- **Programa:** hospital
- **Plantas:** 5
- **Tamaño:** 14000 m²
- **Eficiencia energética:** 30%
- **Coste total:** 106.000.000 €
- **Coste fachada:**

AGENTES

- **Promotor:** New York- Prebysterian Hospital
- **Arquitecto:** Pei Cobb Freed & Partners
- **Ingenieros:** Thorton-Tomasetti
- **Ingenieros fachada:** R.A. Heintges & Associates
- **Fabricante fachada:** W&W Glass

ENTORNO

- **Clima:** húmedo-continental
- **HR media:** 63%
- **T. Max. media:** 25.5 °C
- **T. Min. media:** -0.5 °C

4.6 Vivian and Seymour Milstein Family Heart Center

[33] [23] [25] Al igual que la mayoría de los centros médicos que han existido durante casi un siglo, el Hospital Presbyterian de Nueva York creció orgánicamente en los últimos años. El complejo está construido sobre el legendario y denso Manhattan Schist, y se inclina hacia el río Hudson en su borde occidental. A mediados de los años 2000 se contrató a Pei Cobb Freed & Partners Architects para diseñar el nuevo centro Milstein Family Heart. La pequeña pero complicada adición de una torre del hospital con un edificio de oficinas para médicos, y fue acuñada en una esquina estrecha entre los dos.

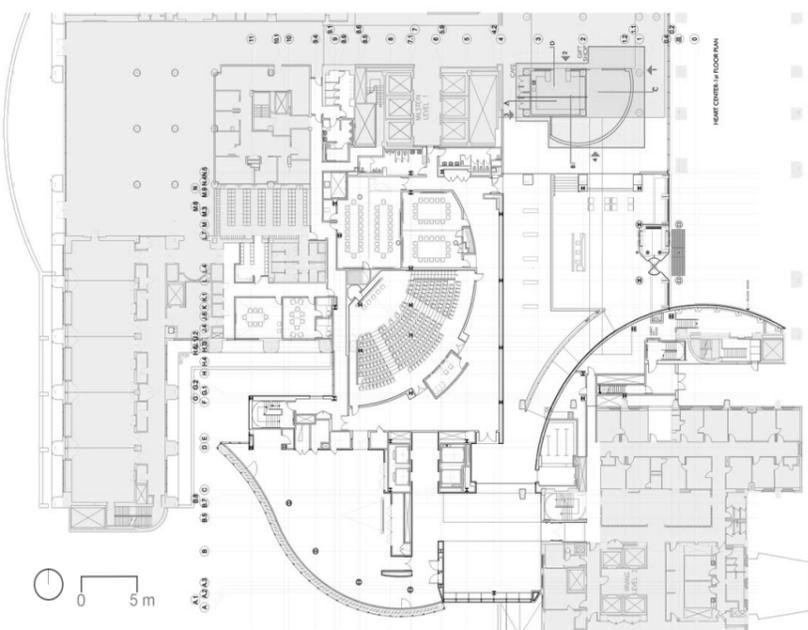


Figura 67 | Planta de Milstein Family Heart Center. Fuente: Katarin Larrauri.

Los arquitectos se aprovecharon de las vistas del Sur (hacia el río Hudson y el River Side Park) apilando cuatro pisos de salas de espera uno encima del otro, y los colocó en un amplio arco que sigue el camino del sol. Lo más destacado en su lista de prioridades era hacer que el alzado del sur fuera lo más ligero posible. En el interior, las familias y los amigos de los pacientes y los propios pacientes experimentan un ambiente calmante y luminoso conectado con la belleza natural de los árboles del parque y el propio río.

Los visitantes de la sala de espera no pueden dejar de apreciar el muro climático diseñado por Pei Cobb Freed & Partners. Se compone de 28 paneles de vidrio de suelo a techo. Cada uno es de aproximadamente 1,52 x 4,88 m, aunque algunos son ligeramente más

altos dependiendo de las alturas entreplantas. Cada panel está compuesto por una estructura de hierro bajo de vidrio laminado completamente templado, reforzado con varillas de acero inoxidable en "X", y un paño interior de vidrio aislante de doble acristalamiento. No hay montantes ni travesaños.

Los paneles exteriores se mantienen a 76,2 cm del lado interior de la unidad de vidrio aislante y separados por puntales de acero inoxidable de 5,1 cm de diámetro cuyos extremos exteriores terminan con una araña de cuatro patas. Una de las patas de cada herraje de araña sujeta una esquina de un panel exterior.

Esta disposición permite que el aire fluya entre los paneles sin obstrucción, excepto por las pasarelas en cada piso, que son simplemente rejillas de acero abiertas. El aire puede fluir verticalmente a través de un espacio continuo de aproximadamente 42,6 m de ancho y 21,3 m de alto, creando las condiciones perfectas para la ventilación pasiva.

El aire de retorno es conducido hasta el fondo de la cámara de aire entre los paneles de vidrio interno y externo. A medida que el Sol se calienta durante el verano, fluye hacia la parte superior del muro climático, hacia un registro en la azotea donde es expulsado. Raras veces se utilizan los ventiladores para ayudar al aire a elevarse. Cuando el sol está brillando se permite calentar el aire de la cavidad proporcionando un amortiguador contra el frío.

A veces, la ganancia directa de calor solar y el brillo necesitan ser controlados. La mayoría de las fachadas activas utilizan persianas horizontales o persianas enrollables para reflejar la luz hacia fuera. Pero por una serie de razones estas no funcionarían bien aquí. Las personas que se preocupan por los problemas de salud graves son muy diferentes de los trabajadores de oficina, y el movimiento constante hacia arriba y hacia abajo de las persianas sería una distracción. Cada vez que las sombras cubrían el cristal, dominarían la arquitectura, cortarían la vista por completo y harían que todo el ejercicio de la pared climática fuese discutible.

En cambio, los arquitectos diseñaron un sistema inteligente de tapices verticales motorizados para hacer el trabajo. Estos están dentro de la cámara de aire, dos por panel. Cuando sale el sol, giran lentamente, bloqueándolo según sea necesario. Debido a que la pared es curva, algunos de los tapices pueden estar ligeramente abiertos preservando la vista.

Los arquitectos eligieron una tela ligera, este tejido está tenso, pero no completamente tenso. No sólo su delgadez y



Figura 68 | Diagrama de la ventilación natural en la pared climática de Milstein Family Heart Center.. Fuente: Charles D. Linn.

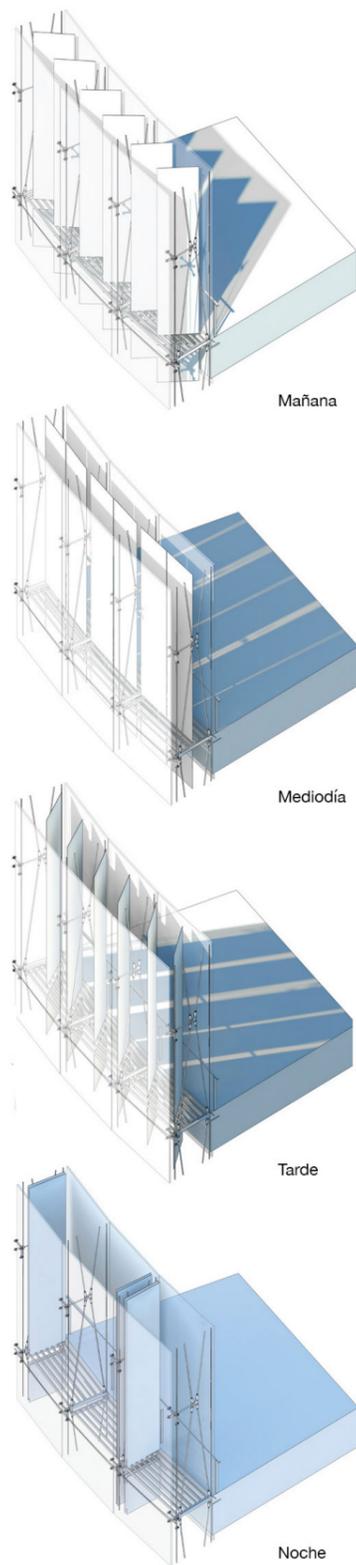


Figura 69 | Sombreado en el interior de la fachada climática de Milstein Family Heart Center.
Fuente: Pei Cobb Freed & Partners.

su orientación vertical alteran mínimamente la vista, sino que de vez en cuando el aire ascendente que fluye hacia arriba a través de la cámara hace que esta configuración se agite ligeramente. La tela es de color claro y algo translúcida, por lo que incluso cuando se despliegan los tapices, sigue llegando una luz difusa a las áreas de espera.

El suave movimiento de los tapices y su lento pero constante seguimiento del sol es fluido y natural, preservando la conexión entre el interior y el mundo natural. Esto es particularmente importante en la arquitectura sanitaria. Presenta lo que el socio de diseño de Pei Cobb Freed para el proyecto, Ian Bader, llama “La arquitectura de la esperanza”.

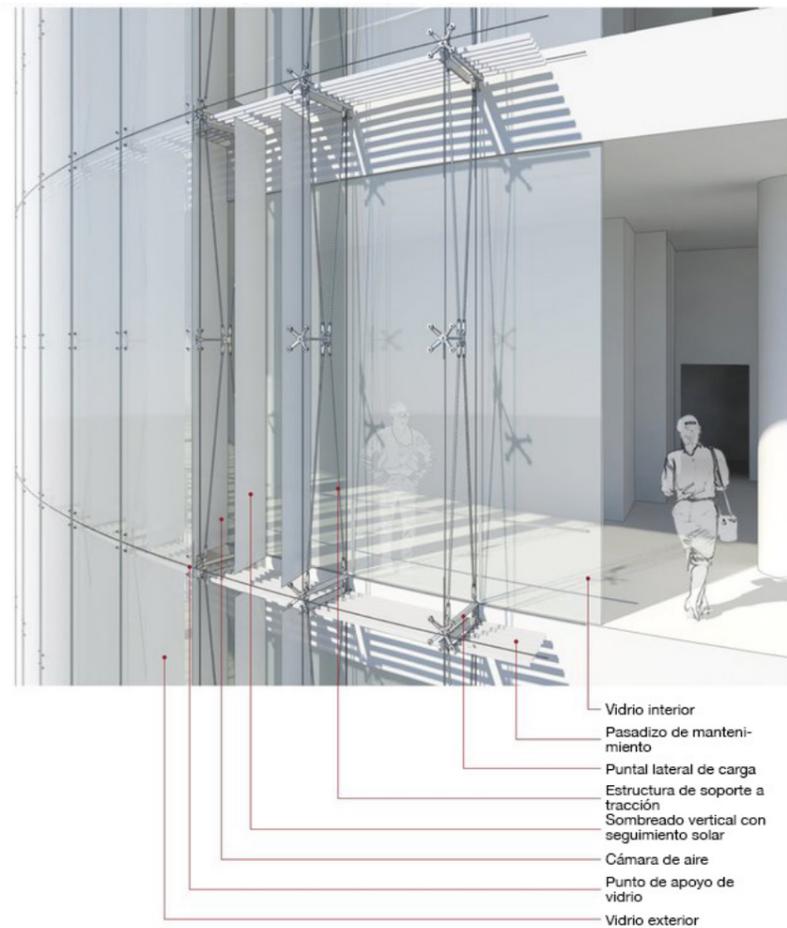


Figura 70 | Composición de la fachada climática de Milstein Family Heart Center.
Fuente: traducción propia, imagen original de Randall Holl.



Figura 71 | Fachada climática de Milstein Family Heart Center. Fuente: Paul Warchol



Figura 72 | 1 Bligh Street.
Fuente: H.G. Esch.

4.7 1 Bligh Street

[34] [35] [23] [25] 1 Bligh Street es una torre de oficinas de 27 pisos en Sydney. Tiene vistas espectaculares del puerto de Sydney y a su famoso puente. Cuando la economía global estaba en auge a mediados de los años 2000, los promotores de la calle Bligh se las arreglaron para juntar varias parcelas adyacentes, cuyo costo de desarrollo sumaba varios cientos de millones de dólares.

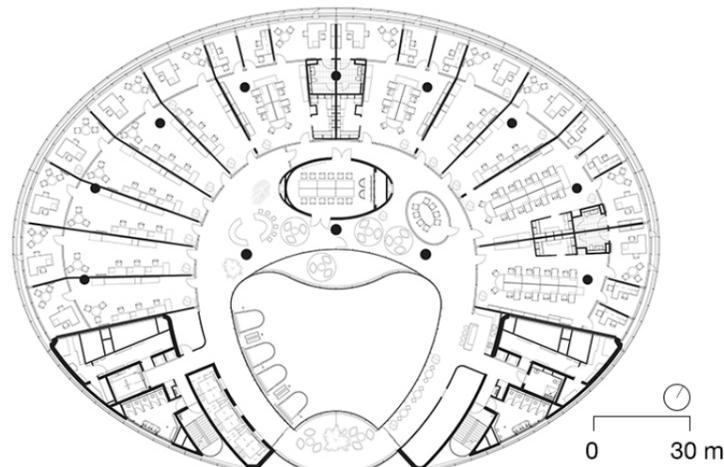


Figura 73 | Planta tipo 1 Bligh Street.
Fuente: Architectus.

Este extraordinario costo exigió un edificio de oficinas de mucha calidad. Capitalizando en el sentido de la sostenibilidad, los desarrolladores decretaron que éste sería el primer edificio sostenible en Australia. Ellos querían que el edificio fuera elegante y equipado con mucho vidrio y metal pulido en contraposición a la estética de las estructuras de madera asociada con edificios sostenibles.

Esto refleja una actitud inusual por parte del desarrollador e inversores que dicen que el edificio estará en su portfolio durante una década y confían en que ahorrará energía y obtendrá rentas más altas. Notablemente diferente al modelo de construcción basado en el uso de la construcción más barata posible para su rentabilidad.

El gobierno de Nueva Gales del Sur requiere que los jurados independientes seleccionen los diseños y diseñadores de los principales edificios comerciales, incluso si la propiedad es privada. El equipo de Architectus e Ingenhoven fue uno de los cinco invitados a elaborar propuestas para el lugar y ganó con este diseño en 2006.

Cada una de las plantas de oficinas tiene un poco más de 1.600 m² de área neta de arrendamiento. Los planos del edificio son ovalados, con el eje longitudinal de suroeste a noreste. Esta orientación coloca los espacios de oficinas en el noroeste y da a las plantas superiores

EDIFICIO

- **Emplazamiento:** Sydney, Australia
- **Contexto:** urbano
- **Año Construcción:** 2011
- **Programa:** oficinas
- **Plantas:** 29 + 2 (bajo rasante)
- **Tamaño:** 42.700 m²
- **Eficiencia energética:** 40%
- **Coste total:** 228.330.000 €
- **Coste fachada:**

AGENTES

- **Promotor:** DEXUS Property Group.
- **Arquitecto:** Architectus + ingenhoven architects
- **Ingenieros:** Arup
- **Ingenieros fachada:** DS Plan AG
- **Fabricante fachada:** G. James

ENTORNO

- **Clima:** oceánico moderado
- **HR media:** 70%
- **T. Max. media:** 22 °C
- **T. Min. media:** 14 °C

vistas espectaculares del puerto de Sydney. Las losas de hormigón están retranqueadas 6 m, de modo que los pilares no interrumpen la vista o la apariencia inconsútil de la fachada del exterior.

La fachada de doble piel de 1 Bligh Street, está ventilada de forma pasiva, trabaja en concierto con otras propiedades sostenibles que hacen uso del clima templado de Sydney. Su inusual atrio de altura total, con su planta en forma de corazón, utiliza el efecto chimenea para lograr la ventilación natural. Esto atrae el aire de las oficinas que están acondicionadas con techo frío en la zona perimetral del edificio. El edificio tiene una planta híbrida de gas natural de trigeneración para calefacción, refrigeración y energía y una planta de tratamiento de aguas negras que produce agua para las torres de lavado.

Pero la principal dificultad que hay que resolver es la ganancia de calor. La orientación del edificio tiene sus oficinas agrupadas a lo largo de los alzados noreste y noroeste y éstas hacen frente al sol por la mañana temprano y por la tarde. La larga parte del edificio enfrenta el sol durante el mediodía ya que es donde las vistas son mejores. .

Los arquitectos e ingenieros eligieron una fachada de doble piel, casi transparente y de ventilación pasiva. Comienza en el segundo piso del edificio y corre hasta el final de la planta 27. Cada cámara de aire tiene una sola altura. Hay una rejilla en el borde de cada uno de los bloques de hormigón armado que ventila cada cavidad. La altura de piso a piso es de 3,85 metros.

La fachada tiene una unidad interior de vidrio aislante (IGU -Insulating-Glass Unit) y una unidad de vidrio exterior de un solo vidrio separadas unos 60 cm entre sí. Uno de los propósitos de la capa exterior de vidrio es proteger las persianas venecianas operadas automáticamente del viento. Estas se encuentran justo en el interior de la capa de vidrio exterior. Las persianas evitan que el sol golpee realmente a la IGU, por lo que su superficie nunca se calienta. El sistema de gestión del edificio (ECS) sigue el sol y eleva, baja e inclina las persianas al ángulo adecuado según sea necesario.

Cuando las persianas están hacia arriba, el sistema de fachada global logra un coeficiente de sombreado de 0.15. El coeficiente de sombreado interno de la IGU sin las persianas es 0.32. La transmisión de luz visible (VLT) de la unidad de doble acristalamiento interior es del 60%.

Para ventilar la cámara de aire, Arup desarrolló rejillas con varias aletas que rompen la continuidad de la piel exterior de vidrio en el borde de cada losa de planta. El aire exterior penetra en el fondo de cada cavidad y es expulsado por la parte superior.

El diseño de las lamas fue modelado por ordenador y luego se com-



Figura 74 | 3D fachada 1 Bligh Street.
Fuente: Architectus.

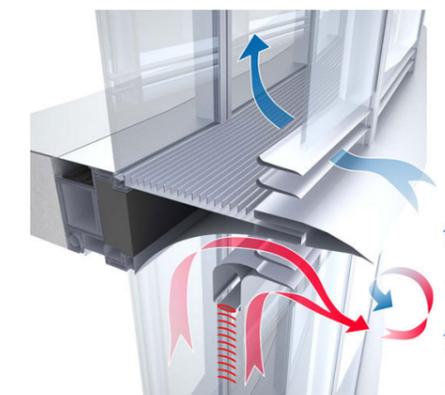


Figura 75 | Función aerodinámica de las aletas.
Fuente: Architectus.

probó físicamente en pruebas de túnel de viento. Esto se hizo para verificar que incluso una brisa muy ligera sería suficiente para mantener el aire moviéndose a través de la cavidad sin alterar las persianas. La geometría aerodinámica de las rejillas también impide que el aire caliente que se ha expulsado por la parte superior de una cavidad sea arrastrado hacia atrás dentro de la cámara. Este es realmente un dispositivo pasivo, las ranuras en la persiana no se puede abrir o cerrar.

Las brisas están casi siempre presentes en el centro de Sydney, y el aire que se mueve alrededor del edificio mejora la eficiencia de las capacidades de ventilación de las persianas. Según los ingenieros, la temperatura dentro de la cámara de aire es generalmente cercana a la temperatura fuera del edificio. El interior de la fachada de doble piel es accesible en varios lugares en cada piso, por lo que el vidrio y las persianas se pueden limpiar y mantener.

Si 1 Street Bligh decepciona, es que los desarrolladores decidieron no poner ninguna ventana operable en la capa interna de la pared doble, por lo que el aire fresco que fluye a través de la cavidad de la pared no puede ser admitido en ninguno de los espacios interiores. Sin embargo, si un inquilino desea pagar por esta mejora, el desarrollador dice que podría ser fácilmente logrado.

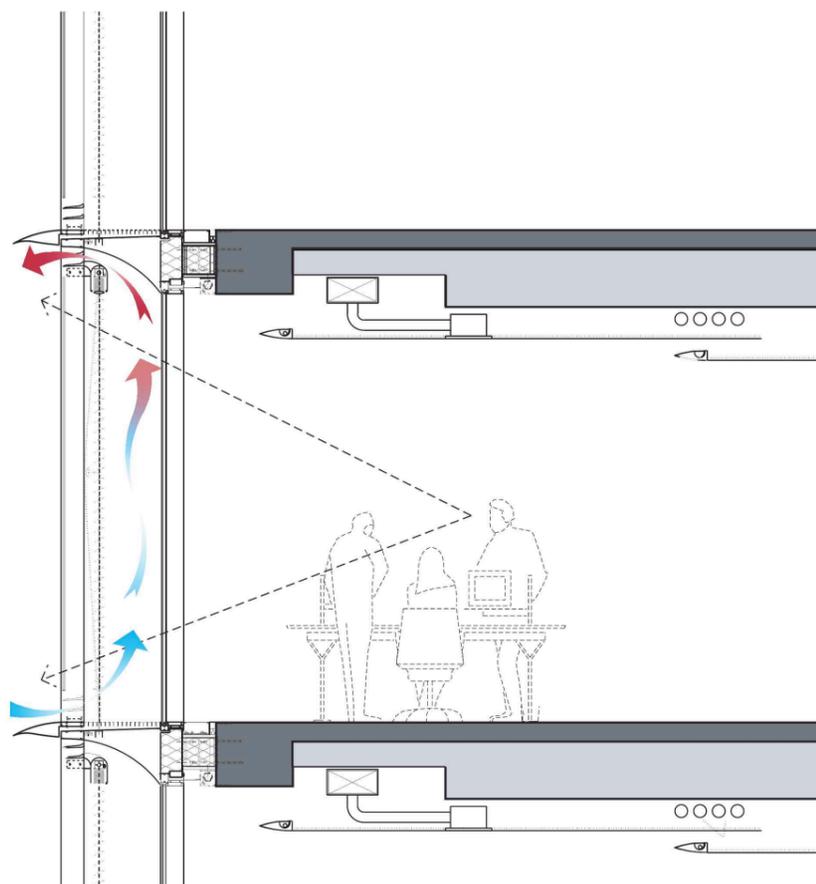


Figura 76 | Detalle fachada 1 Bligh Street.
Fuente: Architectus.



Figura 77 | Fachada 1 Bligh Street. Fuente: H.G. Esch.

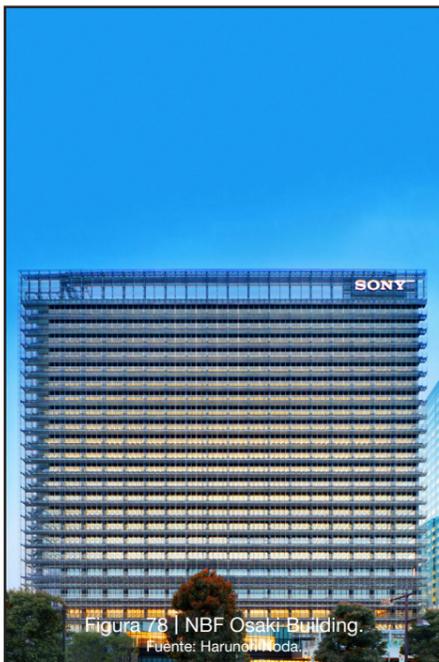


Figura 78 | NBF Osaki Building.
Fuente: Harunori Noda.

4.8 NBF Osaki Building

[36] [23] [25] El edificio NBF Osaki Building comúnmente llamado Sony City Osaki en Tokio representa un enfoque innovador con construcción de pieles secundarias. Los arquitectos e ingenieros de Nikken Sekkei han implementado lo que llaman una “BioSkin”, que actúa como una pantalla de sombreado pasivo y como un conducto activo para un sistema de refrigeración hidrónico exterior.

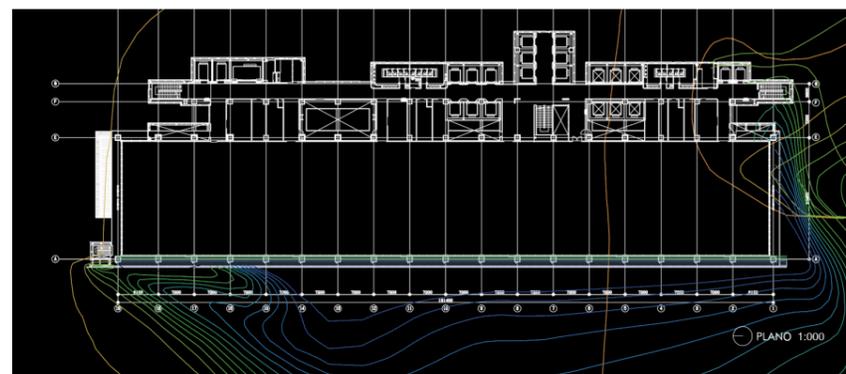


Figura 79 | Planta tipo NBC Osaki Building.
Fuente: Nikken Sekkei Ltd.

EDIFICIO

- **Emplazamiento:** Tokio, Japon
- **Contexto:** urbano
- **Año Construcción:** 2011
- **Programa:** oficinas
- **Plantas:** 25 + 3 (bajo rasante)
- **Tamaño:** 124.000 m²
- **Eficiencia energética:** 35%
- **Coste total:**
- **Coste fachada:**

AGENTES

- **Promotor:** Corporación Sony
- **Arquitecto:** Nikken Sekkei Ltd y Sony Facility Management Corporation
- **Ingenieros:** Nikken Sekkei Ltd
- **Ingenieros fachada:** Nikken Sekkei Ltd
- **Fabricante fachada:** Toto

ENTORNO

- **Clima:** húmedo-subtropical
- **HR media:** 64%
- **T. Max. media:** 19.5 °C
- **T. Min. media:** 12 °C

Construido como un edificio de oficinas para la Corporación Sony, uniéndose a varios otros edificios de Sony en un campus urbano, el edificio Sony City Osaki de 25 pisos fue diseñado para contribuir más a su entorno y poder reducir los efectos de isla de calor urbano³⁰. Así, Nikken Sekkei buscó desarrollar una envoltura del edificio que no sólo pudiera reducir las cargas de enfriamiento dentro del edificio, sino también mejorar el microclima para los peatones en el recinto circundante y restaurar la circulación natural del agua en el lugar.

La BioSkin, que ocurre a lo largo del alzado este del edificio, aproximadamente 1314 m de ancho, fue inspirado por las pantallas japonesas tradicionales. Los servicios y áreas centrales a lo largo de la columna vertebral en el oeste proporcionan un enfoque programático para reducir la ganancia solar en los espacios continuamente ocupados. Las exposiciones norte y sur son mínimas. Las alturas típicas del piso son 4,64 m, generosos para un espacio de oficina comercial.

La fachada consta de dos capas: la cortina acristalada y la BioSkin, que se encuentra a unos 2,22 m de la línea de acristalamiento y se apoya en una extensión de la losa estructural de hormigón. Un sistema de varillas, alambres y soportes de acero inoxidable forma una

30 Fenómeno térmico producido en áreas urbanas de edificación masiva que consiste la acumulación de calor.

rejilla estructural que sostiene una serie de rejillas de cerámica que componen la BioSkin. Las varillas cerámicas porosas, fabricadas por Toto (una empresa más conocida por la fabricación de inodoros y otros accesorios de baño) contienen barras de soporte metálicos en su interior que dejan una cavidad hueca. Las varillas son de aproximadamente 110 x 70 mm. El agua se bombea a través de estas cavidades y carga los poros de las barras cerámicas antes de evaporarse de su superficie y enfriar el aire inmediatamente adyacente a las varillas.

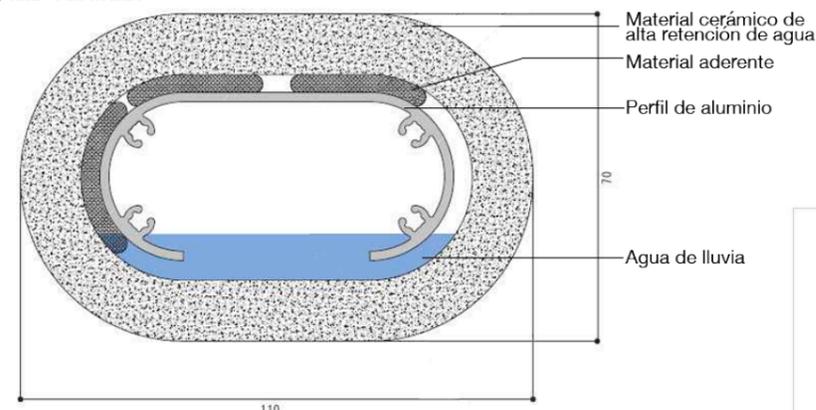


Figura 80 | Detalle de la pieza cerámica.
Fuente: Nikken Sekkei Ltd.

El efecto es algo así como crear una nube alrededor del edificio. Los ingenieros idearon un sistema donde el agua se recoge desde el techo y se almacena en un tanque subterráneo antes de ser tratado y luego bombeado a través de la BioSkin, lo que reduce las salidas al sistema de alcantarillado local. Durante las pruebas preliminares, los ingenieros descubrieron que necesitaban agrietar la superficie de cerámica para evitar que los poros se obstruyan, pero por lo demás, el sistema funcionaba bien en las maquetas.

El uso de un sistema de evaporación en Tokio no tiene sentido intuitivo, dado que la ciudad puede ser notoriamente húmeda. En ambientes similares, el sombreado y el movimiento del aire tienden a ser las mejores estrategias para el enfriamiento. Sin embargo, una amplia investigación de Nikken Sekkei demostró que, de hecho, los niveles de humedad relativa de Tokio disminuían lentamente con el tiempo, mientras que las temperaturas promedio del aire estaban aumentando. Además, la altura de la torre tiende a aumentar las velocidades del viento en su superficie, lo que exagera los efectos de evaporación de la bioskin. La bioskin no funciona durante los meses de invierno.

Los estudios posteriores a la ocupación de Nikken Sekkei sugieren que las temperaturas del aire ambiental pueden dis-



Figura 81 | Sección NBC Osaki Building.
Fuente: Nikken Sekkei Ltd.

minuir hasta 2 °C en las proximidades de la BioSkin, pero sobretudo a lo largo de los caminos peatonales alrededor del edificio. Otros análisis revelaron que las temperaturas radiantes medias, que contribuyen significativamente a la comodidad de los peatones, también se redujeron en la superficie de la BioSkin.

Los sistemas hidrónicos en fachadas se despliegan a menudo en climas fríos donde las grandes extensiones de vidrio pueden necesitar un sistema de calefacción para reducir la condensación en el vidrio durante el invierno (véase el proyecto EMPAC en la página 61). En otros casos, como el Centro Pompidou de París, un sistema hidrónico llena la estructura expuesta de acero como protección contra incendios. El sistema de BioSkin representa el uso más extenso de un sistema hidrónico de evaporación activa para fines de refrigeración.

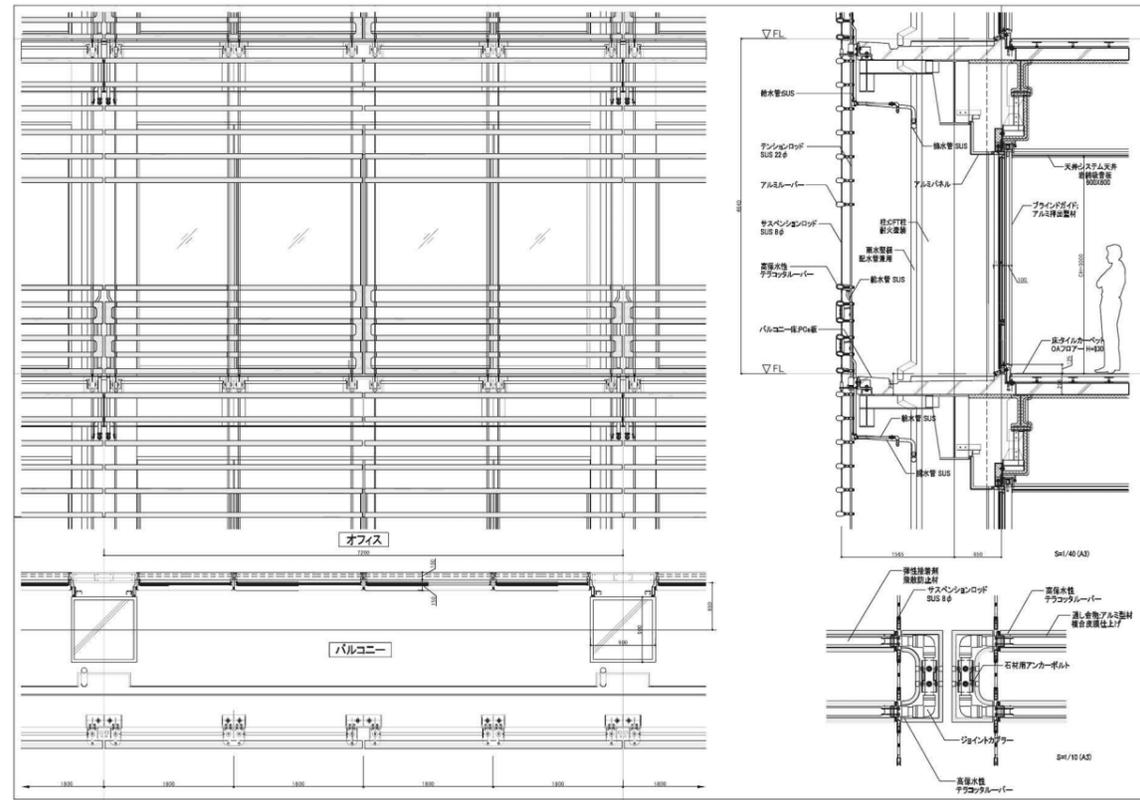


Figura 82 | Detalles fachada de NBC Osaki Building. Fuente: Nikken Sekkei Ltd.

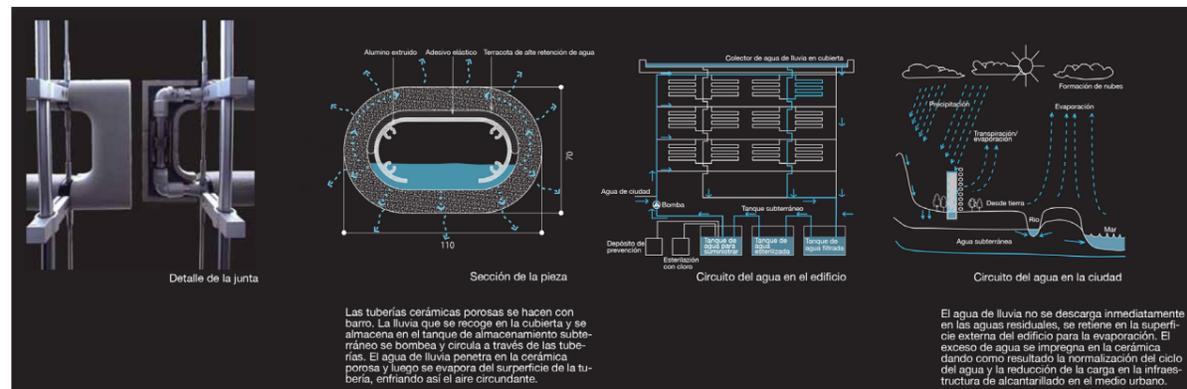


Figura 83 | Diagramas fachada de NBC Osaki Building. Fuente: Nikken Sekkei Ltd.

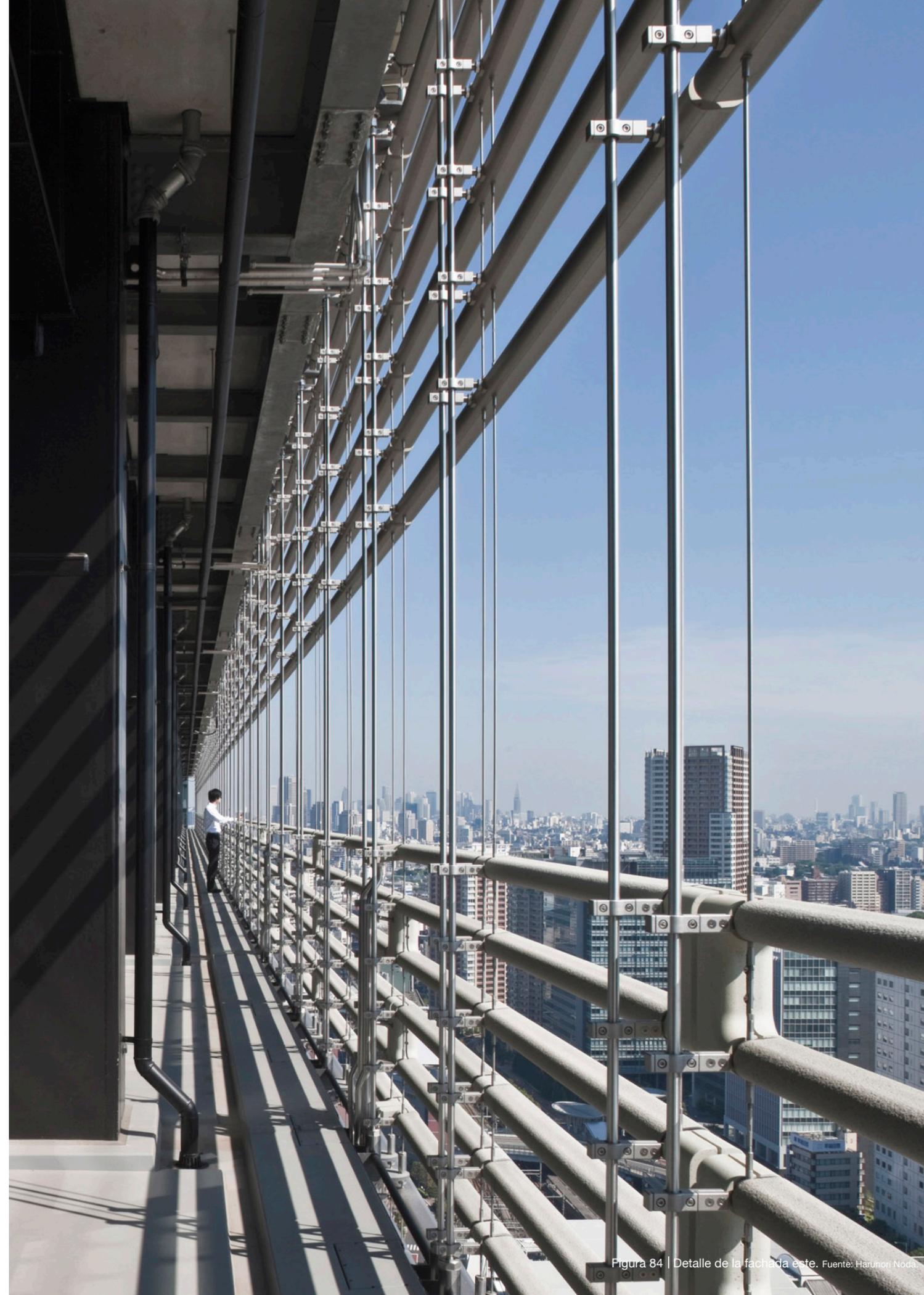


Figura 84 | Detalle de la fachada este. Fuente: Harunori Noda



Figura 85 | Abu Dhabi Investment Council.
Fuente: Arup.

4.9 Abu Dhabi Investment Council

[37] [23] [25] La emblemática sede del Consejo de Inversión de Abu Dhabi (ADIC) consta de dos torres de vidrio de 150 metros de altura (29 plantas) sobre un zócalo común de vidrio. Es el resultado del uso de un innovador sistema dinámico de sombreado de fachadas inspirado en pantallas árabes tradicionales conocidas como mashrabiyas²⁸ y un deseo, en nombre del cliente, de adoptar una agresiva agenda de sostenibilidad ambiental.

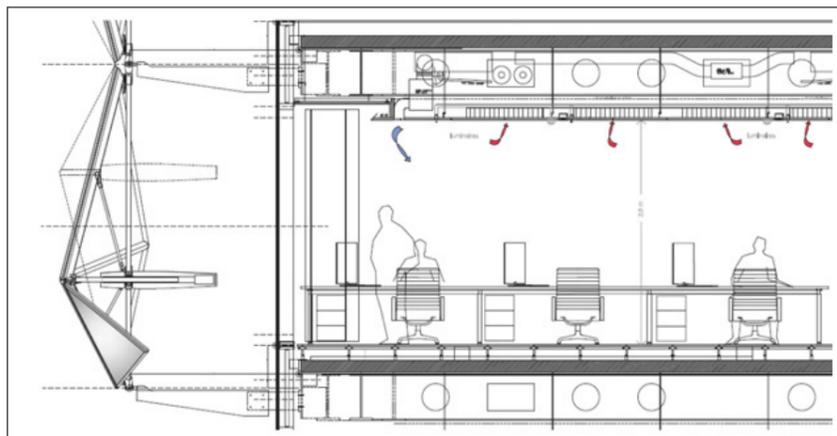


Figura 86 | Sección fachada Abu Dhabi Investmnet Council.
Fuente: Aedas.

El sistema de mashrabiyas consta de casi 1.000 elementos en las dos torres, cada uno instalado a forma de paraguas de tres lados realizados en malla de fibra de vidrio translúcida revestida de PTFE (politetrafluoroetileno, teflón) con una transmitancia de luz visible del 20% y separado de la fachada de vidrio convencional. Los mashrabiyas utilizan actuadores lineales y el sistema de control del edificio para cambiar individualmente a cinco posiciones entre completamente abierto o cerrado a medida que el sol se mueve a través del edificio. Este enfoque minimiza la ganancia de calor solar en el edificio, lo que reduce la demanda de enfriamiento, y también mejora el rendimiento del vidrio con mejor iluminación natural y vistas.

En Aedas querían minimizar los riesgos asociados al calor, el viento y a la arena con el desarrollo de un sistema de fachada personalizado. Tenían algunas preocupaciones, incluyendo cómo un elemento dinámico de fachada afectaría el movimiento de las estructuras de la torre, si alguien podría construir el sistema y si los costos podían ser contenidos dentro del presupuesto.

²⁸ Es un tipo de ventana mirador cerrada con celosía de madera tallada, situada en el segundo piso de un edificio o superior, a menudo revestida con vidrieras.

EDIFICIO

- **Emplazamiento:** Abu Dabi, Emiratos Arabes
- **Contexto:** urbano
- **Año Construcción:** 2012
- **Programa:** oficinas
- **Plantas:** 25 + 2 (bajo rasante)
- **Tamaño:** 75.000 m²
- **Eficiencia energética:** 15%
- **Coste total:**
- **Coste fachada:**

AGENTES

- **Promotor:** Abu Dhabi Investment Council (ADIC)
- **Arquitecto:** Aedas
- **Ingenieros:** Arup
- **Ingenieros fachada:** Aedas
- **Fabricante fachada:** Yuanda

ENTORNO

- **Clima:** árido-caliente
- **HR media:** 48%
- **T. Max. media:** 32.5 °C
- **T. Min. media:** 22 °C

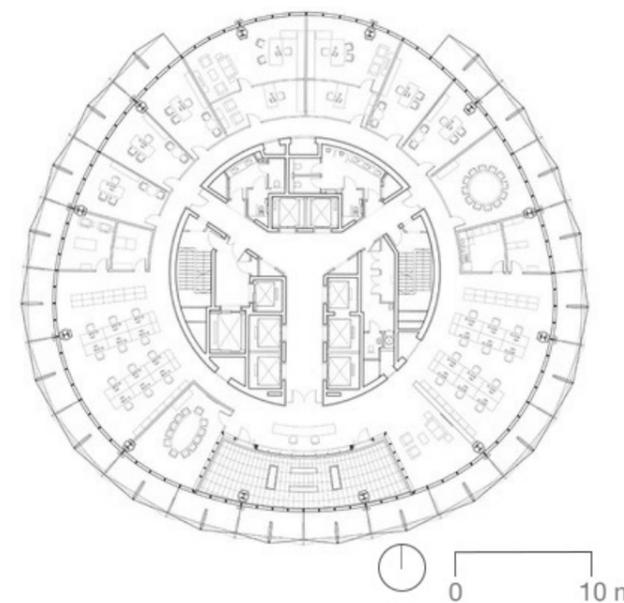


Figura 87 | Planta tipo de Abu Dhabi Investment Council
Fuente: Aedas.

El equipo de estructuras dinámicas de Arup, en Londres, proporcionó asesoramiento sobre los efectos estructurales del sistema y ayudó a optimizar los componentes energéticos, la constructibilidad y las propiedades de los materiales. El fabricante chino de la fachada, Yuanda, construyó una maqueta del sistema como parte de su oferta finalmente aprobada para el proyecto. Las maquetas de Yuanda fueron sometidas, entre otras medidas, a horas de arena, viento, suciedad y agua salada bajo intenso calor para comprobar el adecuado funcionamiento de la fachada una vez instalada en Abu Dhabi. Fabricaron todos los componentes en China, los probaron, los desensamblaron y los enviaron al lugar, donde re-ensamblaron y volvieron a probar antes de la instalación.

El mashrabiya consiste en un trípode central con una punta que vuela a 0.6 metros de la línea del acristalamiento y se conecta a una estructura en "Y" atada al muro cortina a través de ménsulas. Cuando el mashrabiya se cierra, queda separado aproximadamente 2 metros del muro cortina. Esta separación permite que el equipo de limpieza de fachada descienda en la cavidad desde el techo.

El tejido del mashrabiya, con 20% de apertura, da una transmitancia de luz visible (VLT - Visible Light Transmittance) de aproximadamente el 40%, lo que equivale al rendimiento de un muro cortina. Los arquitectos estiman que sin sombrear, el mejor proyecto de VLT que se espera pueda estar entre el 5 y el 13%, lo cual parecerá oscuro desde el interior y afectará las oportunidades de iluminación natural.

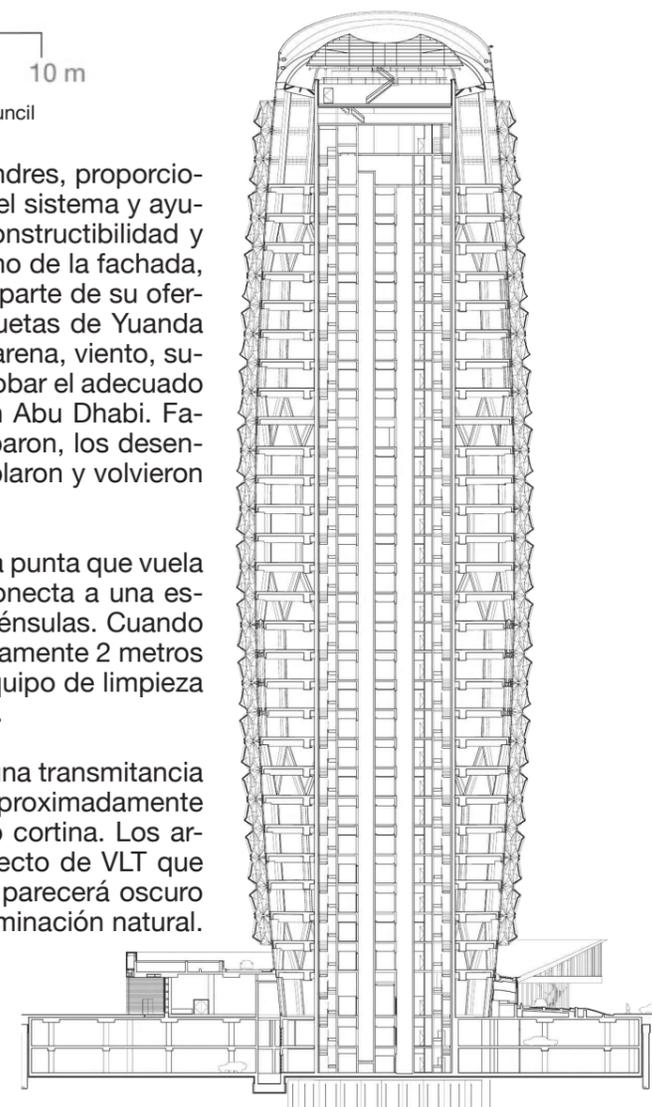


Figura 88 | Sección torre Abu Dhabi Investment Council
Fuente: Aedas.

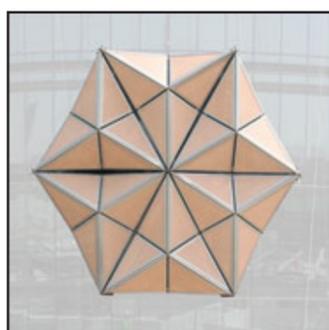
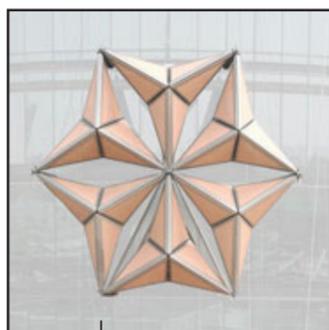
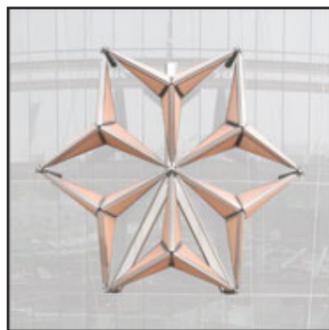


Figura 89 Mashrabiya en posición abierta, intermedia y cerrada. Fuente: Aedas.

Las propiedades dinámicas de los mashrabiya permiten tener entre un 20 y un 60% de reducción de calor solar en comparación con los muros cortina convencionales. Un análisis estudió el sistema de sombreado en las áreas de la fachada que más se beneficiaban del sombreado externo, por lo que otras áreas, como el alzado norte de la torre doblemente curvada, podrían ser tratadas con el muro cortina esmaltado solamente.

En total, la estrategia medioambiental llevó a una reducción del 35 por ciento en las cargas anuales de CO₂ y una reducción general del 15% en la demanda anual de energía en comparación con los edificios convencionales. La sede de ADIC demuestra que los sistemas de sombreado dinámico pueden adoptar muchas formas, incluso las inspiradas en las estrategias tradicionales, para llevar a cabo una ambiciosa agenda ambiental sin sacrificar la innovación del diseño.

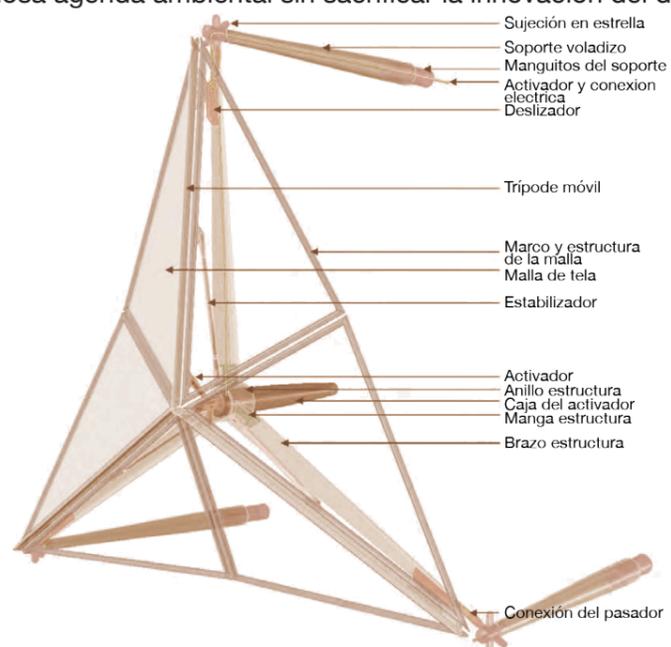


Figura 90 | Detalle mashrabiya fachada Abu Dhabi Investment Council. Fuente: traducción propia, imagen original de Aedas.

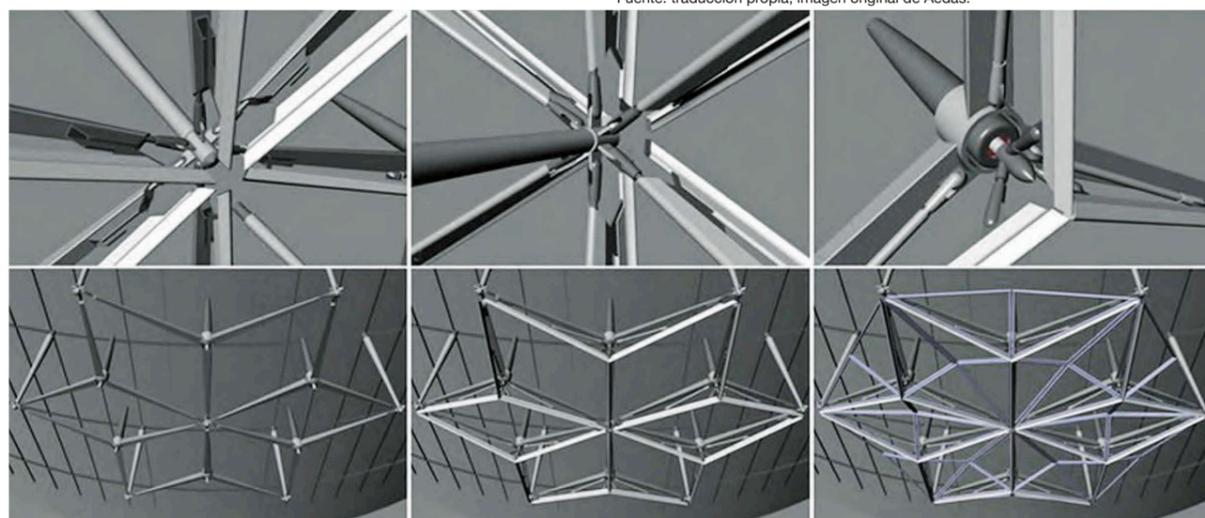


Figura 91 | Construcción mashrabiya fachada Abu Dhabi Investment Council. Fuente: Aedas



Figura 92 | Interior mashrabiya fachada Abu Dhabi Investment Council. Fuente: Ahr-global



Figura 93 | Marcella Niehoff School.
Fuente: AIA Chicago.

4.10 Marcella Niehoff School of Nursing

[38] [39] [23] [25] Dada la complejidad de las fachadas dinámicas, una vez que un equipo de diseño ha dominado su uso, a menudo pueden ampliar su práctica con clientes que encuentran la seguridad y la evidencia de los ahorros de energía y beneficios de comodidad ocupante en los precedentes construidos. Los arquitectos de Chicago Solomon Cordwell Buenz (SCB) han desarrollado una buena reputación para la entrega de fachadas dinámicas desde la construcción del edificio Richard J. Klarchek Information Commons para la Universidad Loyola de Chicago en 2007 (página 77).

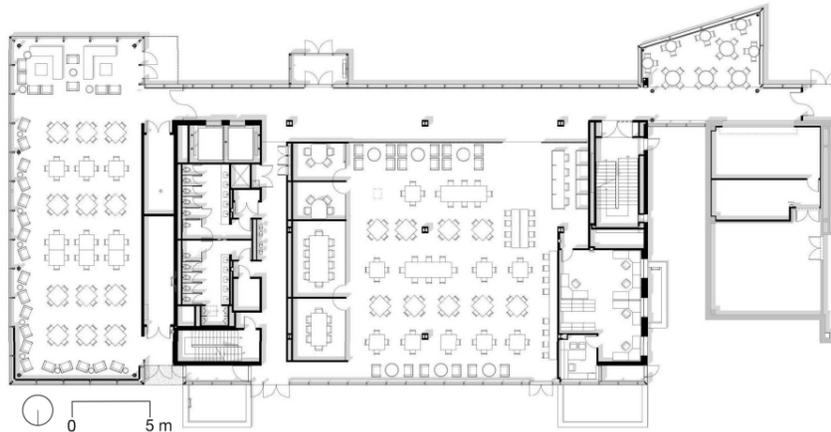


Figura 94 | Planta Baja de Marcella Niehoff School.
Fuente: AIA Chicago.

EDIFICIO

- **Emplazamiento:** Maywood, Illinois, USA
- **Contexto:** suburbano
- **Año Construcción:** 2012
- **Programa:** escuela
- **Plantas:** 5
- **Tamaño:** 5.575 m²
- **Eficiencia energética:** 40%
- **Coste total:**
- **Coste fachada:**

AGENTES

- **Promotor:** Loyola University Chicago
- **Arquitecto:** Solomon Cordwell Buenz.
- **Ingenieros:** KJWW Engineering Consultants
- **Ingenieros fachada:** Kawner
- **Fabricante fachada:** Vitro PPG

ENTORNO

- **Clima:** húmedo-continental
- **HR media:** 57%
- **T. Max. media:** 28.6 °C
- **T. Min. media:** -5,3 °C

El último éxito de SCB con fachadas de doble piel completamente acristaladas, con persianas automáticas y ventanas operables ha sentado las bases de una serie de recientes proyectos para la Universidad que implementan estrategias similares, resultando en ahorros significativos de energía y edificios altamente transparentes y cómodos que han resultado un éxito entre estudiantes y profesores. El trabajo de la firma para la Escuela de Enfermería Marcella Niehoff de Loyola y el Centro de Aprendizaje Colaborativo, un edificio de clases y oficinas de 5.575 m² repartidos en cuatro plantas, se inauguró en Agosto de 2012 en la Facultad de Medicina en la villa de Maywood, Illinois y también empleó una estrategia de ventilación de modo mixto.

Trabajando con KJWW Engineering Consultants y la oficina de la alemana Transsolar en Nueva York, que junto con el contratista Enclos habían consultado a SCB sobre el edificio Commons, los arquitectos implementaron dos chimeneas solares reversibles de vidrio en la fachada sur que se extienden sobre una fachada acristalada con sombreado fijo. Las chimeneas son de doble acristalamiento con vidrio PPGS Sungate, con un recubrimiento de baja emisividad y un

coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC - Solar Heat Gain Coefficient) de 0,62 para permitir la ganancia de calor necesaria para activar la chimenea. El acristalamiento típico de la visión consiste en el más alto rendimiento PPG Solarban, con un SHGC de 0.25 y un valor de aislamiento térmico U de 1.022 W/m²K.

Durante las temporadas templadas, las ventanas operables de la fachada norte se abren para proporcionar ventilación cruzada en los espacios públicos y oficinas del edificio, enfriándolos para después expulsar el aire a través de oberturas operables en las chimeneas solares. La ventilación natural funciona bien en Chicago cuando se puede permitir grandes volúmenes de flujo de aire, por lo que en el campus donde los edificios están apartados de las estructuras circundantes tienden a funcionar bien. Además, en los espacios de ventilación natural de la escuela no hay cargas internas significativas como ordenadores o equipos de laboratorio, por lo que el aire exterior puede abordar la remoción de calor sin la ayuda del enfriamiento.

SCB aprendió en Commons que no todos los activadores de ventanas (los motores que abren las ventanas controlados por el sistema de control de gestión del edificio, BMS) tienen la capacidad de abrir las ventanas lo suficiente para lograr los volúmenes de aire necesarios para una ventilación natural eficaz. En la Escuela de Enfermería los arquitectos especificaron activadores fabricados por la empresa alemana D+H Mechatronic. En la planta baja, la ventilación cruzada se produce sin depender de las chimeneas, debido a unas áreas de estudio más abiertas. Para las tres plantas superiores del edificio de cuatro pisos, el aire de las aberturas de la fachada norte se expulsa a través de la combinación del efecto chimenea y las diferencias de presión externas en las persianas instaladas en la parte superior de las chimeneas. La estrategia se traduce en una mejora del 40% sobre ASHRAE 90.1-2007 y una intensidad de uso de la energía (EUI - Energy Use Intensity) de 135,37 kWh/m²/año, en comparación con edificios académicos típicos que pueden tener EUIs por encima de 160.

Los sistemas de sombreado se incorporan en las fachadas oeste y sur, mientras que la fachada este se apoya en un edificio existente. El equipo del proyecto señala que los sistemas de sombreado son fundamentales para cualquier estrategia de diseño que involucre la ventilación natural. Esto es especialmente cierto para Chicago, donde los veranos pueden ser extremadamente calientes y son necesarios sistemas de deshumidificación. Sin sombreado, un edificio de vidrio puede funcionar de manera ineficiente, dado mayores exigencias de enfriamiento en el sistema mecánico.

Los arquitectos estiman que la ventilación natural en la Escuela de Enfermería funciona bien alrededor de 120 días al año, aunque la mitad de ese tiempo las ventanas deben tener que cerrarse a medida que el día se calienta. Las ventanas

1. Ventana operable
2. Sombreado interno
3. Acristalamiento triple
4. Vidrio aislante
5. Sombreado fijo exterior
6. Losa térmica prefabricada
7. Suelo técnico
8. Simulación
9. Oficina
10. Aulas comunes



Figura 95 | Fachada Sur.
Fuente: Solomon Cordwell Buenz.



Modo refrigeración



Modo calefacción



Modo ventilación natural

Figura 96 | Estrategias en el edificio.
Fuente: Solomon Cordwell Buenz.

automáticas de las oficinas individuales pueden operarse manualmente según preferencias personales, pero los espacios públicos son operados exclusivamente por el sistema de control del edificio. Las oficinas también cuentan con persianas venecianas, que permiten que el aire corra a través de ellos.

Durante el invierno, las chimeneas solares se invierten, con unidades de tratamiento de aire en el sótano que extraen aire fresco de las rejillas en el techo y usando la ganancia solar a lo largo de la chimenea vidriada para precalentar el aire fresco. Los arquitectos estiman que esta estrategia reduce entre el 5 y el 10% del uso de energía durante los meses de invierno. En el lado oeste, la fachada del área de estudio silencioso está compuesta por un sistema de triple vidrio de PPG Solarban (SHGC de 0,23, valor U de 1,022 W/m²K) y cuenta con un sistema de sombreado producido por S_enn, una empresa alemana especializada en persianas de acero inoxidable. Las persianas, cuentan con varillas de 3 mm de espesor separadas entre ellas 1,5, reduce la ganancia de calor radiante en un 90% mientras refleja la luz del día en el edificio. La estrategia es particularmente eficaz para crear un espacio interior lleno de luz natural para un estudio tranquilo.

El tipo de proyecto totalmente integrado que representa la Escuela de Enfermería ha llevado a los arquitectos y al equipo de diseño casi una década de cuidadosa investigación, diseño, educación, pruebas, construcción y operación para establecer tácticas de diseño que apoyen los resultados de baja energía y confort que ahora están logrando rutinariamente en proyectos de construcción para este cliente. La Escuela de Enfermería representa una evolución en el pensamiento de diseño y capacidad tecnológica que demuestra claramente la efectividad de las fachadas dinámicas, incluso en los

1. Ventana operable
2. Sombreado interno
3. Acristalamiento triple
4. Vidrio aislante
5. Persiana enrollable
6. Techo radiante
7. Suelo radiante
8. Área de estudio silencioso

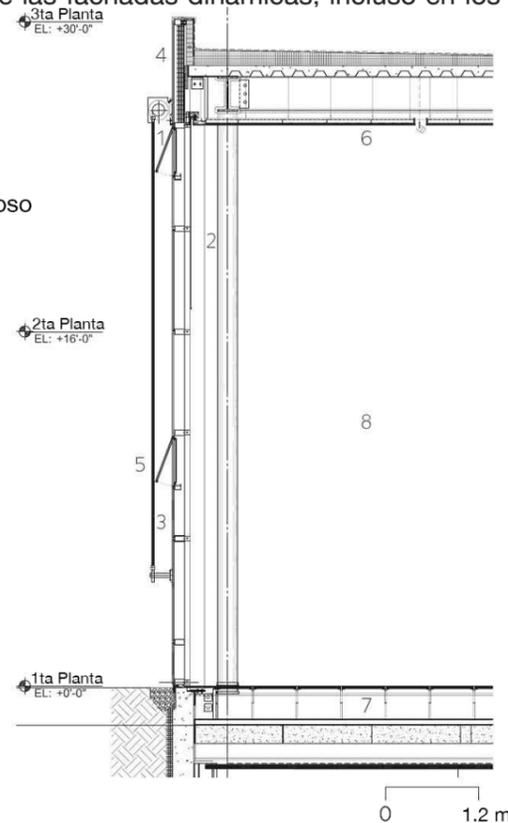


Figura 97 | Fachada oeste
Fuente: Solomon Corwell Buenz.



Figura 98 | Interior de la fachada oeste. Fuente: Dave Burk for Hedrich Blessing

00 Bibliografía Capítulo 4

- [22] ANDRESEN, INGER. (2008). *State of the Art Review. Volume 2B Integrated Building Concepts*. Aalborg University (Denmark): IEA-ECBCS Annex 44
- [23] FORTMEYER, RUSSELL. (2014). *Kinetic architecture: designs for active envelopes*. Mulgrave: Images Publishing Group
- [24] FOSTER + PARTNERS. *Commerzbank Headquarters*. [en línea] <<http://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/>> [Consulta: 15 de Agosto de 2017]
- [25] WORLD WEATHER ONLINE. [en línea] <<https://www.worldweatheronline.com/>> [Consulta: 28 de Agosto de 2017]
- [26] CONSTRUMÁTICA. *Viga Vierendeel*. [en línea] <http://www.construmatica.com/construpedia/Viga_Vierendeel> [Consulta: 15 de Agosto de 2017]
- [27] DESIGNINC. *Council House 2 (CH2)*. [en línea] <<http://www.designinc.com.au/portfolio/commercial-workplace/ch2-melbourne-city-council-house-2>> [Consulta: 17 de Agosto de 2017]
- [28] SCB. *Richard J. Klarchek Information Commons*. [en línea] <<http://www.scb.com/project/richard-j-klarchek-information-commons/>> [Consulta: 17 de Agosto de 2017]
- [29] ENCLOS. *Loyola University Chicago: Richard J. Klarchek Information Commons*. [en línea] <<http://www.enclos.com/projects/loyola-university-chicago-richard-j-klarchek-information-commons>> [Consulta: 18 de Agosto de 2017]
- [30] GRIMSHAW. *EMPAC*. [en línea] <<https://grimshaw.global/projects/empac/>> [Consulta: 18 de Agosto de 2017]
- [31] JOSEFGARTNER. *Experimental Media and Performing Arts Center (EMPAC)*. [en línea] <<http://josef-gartner.permasteelisagroup.com/about-gartner/products-services/integrated-steel-fa%C3%A7ades/>> [Consulta: 18 de Agosto de 2017]
- [32] FJMT. *Surry Hills Library and Community Center*. [en línea] <https://fjmtstudio.com/projects_libraries/> [Consulta: 20 de Agosto de 2017]
- [33] PCF-P. *Milstein Family Heart Center*. [en línea] <<https://www.pcf-p.com/projects/milstein-family-heart-center-nyph-columbia/>> [Consulta: 21 de Agosto de 2017]
- [34] ARCHITECTUS. *1 Bligh*. [en línea] <<http://www.architectus.com.au/en/search/node/1%20bligh>> [Consulta: 23 de Agosto de 2017]
- [35] INGENHOVEN. *1 Bligh*. [en línea] <<http://www.ingenhovenarchitects.com/projects/more-projects/1-bligh-sydney/description>> [Consulta: 23 de Agosto de 2017]
- [36] NIKKEN. *NBF Osaki Building*. [en línea] <<http://www.nikken.jp/en/projects/office/hq/NBF%20Osaki%20Building%20.html>> [Consulta: 25 de Agosto de 2017]
- [37] ARUP. *Abu Dhabi Investment Council*. [en línea] <<https://www.arup.com/en/projects/abu-dhabi-investment-council-headquarters>> [Consulta: 25 de Agosto de 2017]
- [38] SCB. *Niehoff School of Nursing and Center for Collaborative Learning*. [en línea] <<http://www.scb.com/project/marcella-niehoff-school-of-nursing-and-center-for-collaborative-learning/>> [Consulta: 26 de Agosto de 2017]
- [39] KAWNEER. *Loyola University Chicago Marcella Niehoff School of Nursing*. [en línea] <http://www.kawneer.com/kawneer/north_america/en/products/project_detail.asp?project=marcella_niehoff&bus=north_america&pc=Education> [Consulta: 26 de Agosto de 2017]

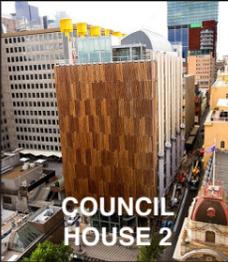
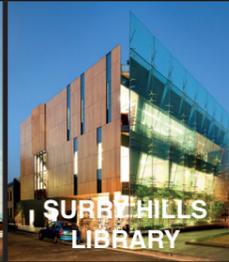


05

Recopilación de estrategias

Clasificación de los instrumentos utilizados en los casos anteriores

05 | Recopilación de estrategias

											
Emplazamiento		Frankfurt Alemania	Melbourne Australia	Chicago USA	Troy, NY USA	Sydney Australia	Nueva York USA	Sydney Australia	Tokio Japón	Abu Dhabi EAU	Maywood USA
Año de construcción		1997	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2011	2012	2012
Entorno	Clima	Templado-frío	Oceánico moderado	Húmedo continental	Húmedo continental	Oceánico moderado	Húmedo continental	Oceánico moderado	Húmedo subtropical	Árido caliente	Húmedo continental
	T Max. media	14.5 °C	19.8 °C	28.9 °C	27 °C	22 °C	14.5 °C	22 °C	19.5 °C	32.5 °C	28.6 °C
	T Min. media	6.4 °C	10.2 °C	-8.6 °C	-6.8 °C	14 °C	6.4 °C	14 °C	12 °C	22 °C	-5.3 °C
	HR media	62.5%	68%	68%	72%	70%	63%	70%	64%	48%	57%
Contexto		Urbano	Urbano	Suburbano	Suburbano	Suburbano	Urbano	Urbano	Suburbano	Suburbano	Suburbano
Programa		Oficinas	Ayuntamiento	Biblioteca	Teatro	Biblioteca	Hospital	Oficinas	Oficinas	Oficinas	Escuela
Tipología		Torre, 53 plantas	Bloque adosado, 11 plantas	Bloque exento, 4 plantas	Bloque exento, 4 plantas	Bloque exento, 3 plantas	Bloque entre medianeras, 3 plantas	Torre, 29 plantas	Bloque exento, 25 plantas	Torre, 25 plantas	Bloque adosado, 5 plantas
Estrategia		Fachada Climática	Fachada Cinética	Fachada tipo Múltiples Plantas	Fachada Radiador	Fachada Climática	Fachada Climática	Fachada Climática	BioSkin	Fachada Cinética	Fachada Chimenea
Rango de transmitancia térmica U (W/m²K) * Sin tener en cuenta carpinterías.		Doble fachada con doble vidrio de cámara aislante ± 0.35	-	Doble fachada con doble vidrio de cámara aislante ± 0.4	Doble vidrio de cámara aislante ± 1.1	Doble fachada con doble vidrio de cámara aislante y fritas cerámicas reflectantes ± 0.3	-	Doble fachada con doble vidrio de cámara aislante ± 0.35	-	-	Triple vidrio de PPG Solarban 1.022
Estanqueidad		Ventilación continua	Completamente estanca	Ventilación continua	Completamente estanca	Ventilación continua	Ventilación continua	Ventilación continua	Completamente estanca	Completamente estanca	Ventilación continua
Espesor fachada (cm)		± 35 cm	± 50 cm	± 100 cm	± 15 cm	Base ± 200 cm Cima ± 30 cm	± 80 cm	± 65 cm	± 220 cm	± 200 cm	± 100 cm
Software (centralizado/individual)		Centralizado	Individual	Centralizado	Centralizado	Centralizado	Centralizado	Centralizado	Centralizado	Individual	Centralizado
Estrategias de eficiencia energética		Garantiza ventilación natural a pesar de fuertes vientos + sombreado automático + amortiguación térmica en cámara	Sombreado automático + reutilización de agua y aire frío + paneles solares + Material de Cambio de Fase.	Ventilación natural cruzada + sombreado automático + amortiguador térmico en cámara	Bombeo de agua y glycol a 55 °C por el interior de los montantes.	Recogida de agua de lluvia + paneles solares + filtrado de aire + amortiguación térmica.	Sombreado automático + amortiguación térmica.	Garantiza ventilación natural a pesar de fuertes vientos + sombreado automático + amortiguación térmica en cámara	Humectación del entorno + sombreado mediante voladizo + ventilación natural.	Sombreado automático individualizado.	Sombreado pasivo + ventilación natural cruzada + acondicionamiento de aire mediante chimeneas
Precio fachada		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rendimiento energético (% ahorro/año)		60% Calculado 80% Real (Fachada + estructura)	85% (Uso de varias estrategias)	52%	15%	50%	30%	40% (Fachada + estructura)	35% (No funciona en invierno)	15%	40%



06

Conclusión

Creo que...

6.1 Entorno a los conceptos

Si bien el objetivo del presente trabajo era el de conocer los conceptos que engloban a las fachadas inteligentes, el análisis de las mismas ha demostrado que no se tratan de conceptos fáciles de definir, llegando incluso a generar nuevas preguntas entorno a estos elementos.

En los primeros apartados del trabajo se habla, precisamente en el Capítulo 01 (Introducción), a cerca de la complejidad de estos elementos. En términos generales se indica que los Elementos Constructivos Reactivos (RBE) son fáciles de clasificar siempre que actúen de forma independiente unos de otros, pero cuando estos elementos trabajaban en sintonía, se tornan RBEs Complejos.

La cuestión ahora es como clasificar a esos RBEs complejos, la solución pasa por establecer una jerarquía donde existan “RBEs primarios” y “RBEs secundarios”. Esta jerarquía dependerá del impacto de cada elemento en el edificio en el que están aplicados.

El caso de Council House 2 en Melbourne (Australia) aclara dudas. En este edificio la fachada inteligente actúa independientemente del material de cambio de fase que existe en planta sótano. Ambos, como todo RBE, tienen como objetivo ayudar a alcanzar el confort interior pero el funcionamiento de la fachada no mejora por la inclusión de materiales de cambio de fase. Se trata pues de RBEs simples (dentro de lo que la complejidad del concepto sugiere). En cambio si existiese material de cambio de fase, en el interior de una fachada climática, que ayudase a mejorar la amortiguación térmica, se trataría de un solo RBE complejo y se seguiría hablando de una fachada inteligente.

En el caso de Commerzbank Headquartes en Fráncfort am Main (Alemania), surge una nueva cuestión. ¿Donde empieza y donde acaba la fachada? ¿Y la estructura?. La enorme eficiencia energética que resulta en este edificio se debe a la conjugación de fachada y estructura capaz de elevar sobremanera las capacidades termodinámicas de la envolvente.

Al tratarse de una sintonía fachada-estructura indisociable, no se pueden analizar los elementos de forma independiente sino considerarlos un único elemento. En tal caso, ¿Debería llamarse a la fachada, estructura? o ¿Debería llamarse a la estructura, fachada?.

Hacer recordar que el presente trabajo habla de fachadas inteligentes, conceptos que, como se ha visto, en ningún caso deberían someterse al mero aspecto formal/visual.

6.2 Entorno a la eficacia (inversión/eficiencia energética)

La aplicación o no de una fachada inteligente en un edificio, ya sea de nueva planta o existente, dependerá en todo caso del cliente. Siendo la relación inversión/ahorro la variable principal a considerar pero no la única. Especialmente en casos como el Investment Council en Abu Dhabi (Emiratos Árabes Unidos) se aprecia como esta relación no es la cuestión fundamental, en primer lugar por el poder adquisitivo del promotor y en segundo lugar porque la función principal de la fachada no es tanto el ahorro energético como el impacto visual. Se aspiraba a una fachada que distinguiese a dos arboles en un frondoso bosque. Así se entiende porque se aplicó una fachada de enorme coste pero de resultados menos eficientes que los obtenidos en otros edificios.

Evidentemente los casos como Abu Dhabi son inusuales por ello debe hablarse de la relación inversión/eficiencia antes que de cualquier otro aspecto. Se puede deducir que a pesar de aplicar fachadas más económicas y eficaces que en el caso anterior, estas siguen precisando de una gran inversión. Por ello se recomienda aplicar estas fachadas en edificios en los que los espacios interiores estén lo más conectados y abiertos posible y, sobre todo, en edificios en los que el gasto energético sea elevado. Inmuebles tales como edificios de oficinas o edificios públicos son ideales para aplicar las fachadas inteligentes.

En edificios residenciales donde las condiciones de confort cambian en cada vivienda sigue siendo factible su utilización pero el rendimiento que se puede alcanzar es mucho menor, sobre todo cuando no existe ventilación cruzada.

De la recopilación de estrategias obtenemos las siguientes conclusiones:

- Tan solo con un sombreado dinámico podemos obtener un 15% de eficiencia energética. Con el bombeo de agua caliente por interior de los montantes también obtenemos ese porcentaje.
- Si a una fachada de doble piel con sombreado dinámico le añadimos ventilación cruzada, este porcentaje de eficiencia energética puede alcanzar el 40% e incluso el 55%.
- Si el proyecto consigue una simbiosis fachada-estructura completamente integrada, la eficiencia energética alcanzara un 60% de cálculo un 80% real como en el caso de Commerzbank.

Así se llega a la conclusión de que la fachada inteligente representa la evolución de la arquitectura actual y del futuro y que el valor de la eficiencia energética es tan dinámico como la propia fachada, dependerá de esta y, sobre todo, de nuestra habilidad como arquitectos.



Figura 101 | Beijing National Aquatics Center. Fuente: See-ming Lee

07

Bibliografía

Recursos utilizados

- [1] CAVA, FELIPE. (2011). *Identifican el mecanismo por el que las bacterias logran adaptarse a los cambios ambientales*. Madrid: Nota de prensa CSIC
- [2] PERINO, MARCO. (2008). *State of the Art Review. Volume 2B Responsive Building Elements*. Aalborg University (Denmark): IEA-ECBCS Annex 44
- [3] AD VAN DER AA. (2011). *Designing with Responsive Building Elements*. Aalborg University (Denmark): IEA-ECBCS Annex 44 Integrating Environmental Responsive Elements in Buildings.
- [4] MOSTAFA M.S. AHMED. (2015). *Development of Intelligent Façade Based on Outdoor Environment and Indoor Thermal Comfort*. Târgu Mures (Romania): 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014.
- [5] T. THUM WILLIAM & BLUMENFELD ANDREW. (2014). *Passive Building Systems vs Active Building Systems and the Return On Investment*. Building Innovation 2014 (Washington D.C.): The National Institute of Building Sciences second anual Conference & Expo.
- [6] FANGER, P.O. (1970). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill
- [7] ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook Fundamentals*. Atlanta, GA: ASHRAE.
- [8] AL-AZRI, Y. ZURIGAT & N. AL-RAWAHI. (2009). *Development of Bioclimatic Chart for Passive Building Design in Muscat-Oman*. Sultan Qaboos University. Oman: Department of Mechanical and Industrial Engineering.
- [9] MARTINEZ SANZ, MA. (2014). *Bioclimatismo y su aplicación en Fachadas*. Trabajo Final de Grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/43639>> [Consulta: 1 de Agosto de 2017]
- [10] PEGV. *Portal Estadístico de la Comunidad Valenciana*. [en línea] <<http://www.pegv.gva.es/>> [Consulta: 2 de Agosto de 2017]
- [11] CTE CÓDIGO TÉCNICO. *¿Qué es el CTE?* [en línea] <<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte.html>> [Consulta: 5 de Agosto de 2017]
- [13] CTE CÓDIGO TÉCNICO. *Documentos CTE* [en línea] <<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte.html>> [Consulta: 5 de Agosto de 2017]
- [13] CYPE. *Normativa Técnica* [en línea] <http://normativaconstruccion.cype.info/Fachadas_y_particiones.html> [Consulta: 5 de Agosto de 2017]
- [14] EFENERGIA. *Directivas de eficiencia energética en Europa*. [en línea] <<http://www.efenergia.com/legislacion-eficiencia-energetica/europa/>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]
- [15] EUR-LEX. *Directivas Europeas*. [en línea] <<http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]
- [16] EUROPEAN COMMISSION. *EASME Executive Agency for SMEs, Intelligent Energy Europe*. [en línea] <<https://ec.europa.eu/easme/en>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]
- [17] EUROPEAN COMMISSION. *EU SCIENCE HUB, The European Commission's science and knowledge service, Energy Service Companies*. [en línea] <<https://ec.europa.eu/jrc/en/energy-efficiency/eed-support/energy-service-companies>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]
- [18] EUROPEAN COMMISSION. *ENERGY, Energy Efficiency Directive*. [en línea] <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]
- [19] BOE. *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado* [en línea] <https://www.boe.es/diario_boe/> [Consulta: 8 de Agosto de 2017]
- [20] JOHNSEN, K. & WINTHER, F.V. (2014). *Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements*. Denmark: Aalborg University. Energy Procedia.
- [21] SHARAIDIN, KAMIL. (2013). *Kinetic Façades: Towards design for Environmental Performance*. RMIT University (Melbourne): Spatial Information Architecture Laboratory (SIAL)
- [22] ANDRESEN, INGER. (2008). *State of the Art Review. Volume 2B Integrated Building Concepts*. Aalborg University (Denmark): IEA-ECBCS Annex 44
- [23] FORTMEYER, RUSSELL. (2014). *Kinetic architecture: designs for active envelopes*. Mulgrave: Images Publishing Group
- [24] FOSTER + PARTNERS. *Commerzbank Headquarters*. [en línea] <<http://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/>> [Consulta: 15 de Agosto de 2017]
- [25] WORLD WEATHER ONLINE. [en línea] <<https://www.worldweatheronline.com/>> [Consulta: 28 de Agosto de 2017]
- [26] CONSTRUMÁTICA. *Viga Vierendeel*. [en línea] <http://www.construmatica.com/construpedia/Viga_Vierendeel> [Consulta: 15 de Agosto de 2017]
- [27] DESIGNINC. *Council House 2 (CH2)*. [en línea] <<http://www.designinc.com.au/portfolio/commercial-workplace/ch2-melbourne-city-council-house-2>> [Consulta: 17 de Agosto de 2017]

- [28] SCB. *Richard J. Klarchek Information Commons*. [en línea] <<http://www.scb.com/project/richard-j-klarchek-information-commons/>> [Consulta: 17 de Agosto de 2017]
- [29] ENCLOS. *Loyola University Chicago: Richard J. Klarchek Information Commons*. [en línea] <<http://www.enclos.com/projects/loyola-university-chicago-richard-j-klarchek-information-commons>> [Consulta: 18 de Agosto de 2017]
- [30] GRIMSHAW. *EMPAC*. [en línea] <<https://grimshaw.global/projects/empac/>> [Consulta: 18 de Agosto de 2017]
- [31] JOSEFGARTNER. *Experimental Media and Performing Arts Center (EMPAC)*. [en línea] <<http://josef-gartner.permasteelisagroup.com/about-gartner/products-services/integrated-steel-fa%C3%A7ades/>> [Consulta: 18 de Agosto de 2017]
- [32] FJMT. *Surry Hills Library and Community Center*. [en línea] <https://fjmtstudio.com/projects_libraries/> [Consulta: 20 de Agosto de 2017]
- [33] PCF-P. *Milstein Family Heart Center*. [en línea] <<https://www.pcf-p.com/projects/milstein-family-heart-center-nyph-columbia/>> [Consulta: 21 de Agosto de 2017]
- [34] ARCHITECTUS. *1 Bligh*. [en línea] <<http://www.architectus.com.au/en/search/node/1%20bligh>> [Consulta: 23 de Agosto de 2017]
- [35] INGENHOVEN. *1 Bligh*. [en línea] <<http://www.ingenhovenarchitects.com/projects/more-projects/1-bligh-sydney/description>> [Consulta: 23 de Agosto de 2017]
- [36] NIKKEN. *NBF Osaki Building*. [en línea] <<http://www.nikken.jp/en/projects/office/hq/NBF%20Osaki%20Building%20.html>> [Consulta: 25 de Agosto de 2017]
- [37] ARUP. *Abu Dhabi Investment Council*. [en línea] <<https://www.arup.com/en/projects/abu-dhabi-investment-council-headquarters>> [Consulta: 25 de Agosto de 2017]
- [38] SCB. *Niehoff School of Nursing and Center for Collaborative Learning*. [en línea] <<http://www.scb.com/project/marcella-niehoff-school-of-nursing-and-center-for-collaborative-learning/>> [Consulta: 26 de Agosto de 2017]
- [39] KAWNEER. *Loyola University Chicago Marcella Niehoff School of Nursing*. [en línea] <http://www.kawneer.com/kawneer/north_america/en/products/project_detail.asp?project=marcella_niehoff&bus=north_america&pc=Education> [Consulta: 26 de Agosto de 2017]

7.1 Referentes por orden alfabético

- AD VAN DER AA. (2011). *Designing with Responsive Building Elements*. Aalborg University (Denmark): IEA-ECBCS Annex 44 Integrating Environmental Responsive Elements in Buildings.
- AL-AZRI, Y. ZURIGAT & N. AL-RAWAHI. (2009). *Development of Bioclimatic Chart for Passive Building Design in Muscat-Oman*. Sultan Qaboos University. Oman: Department of Mechanical and Industrial Engineering.
- ANDRESEN, INGER. (2008). *State of the Art Review. Volume 2B Integrated Building Concepts*. Aalborg University (Denmark): IEA-ECBCS Annex 44
- ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook Fundamentals*. Atlanta, GA: ASHRAE.
- CAVA, FELIPE. (2011). *Identifican el mecanismo por el que las bacterias logran adaptarse a los cambios ambientales*. Madrid: Nota de prensa CSIC
- FANGER, P.O. (1970). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill
- FORTMEYER, RUSSELL. (2014). *Kinetic architecture: designs for active envelopes*. Mulgrave: Images Publishing Group
- JOHNSEN, K. & WINTHER, F.V. (2014). *Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements*. Denmark: Aalborg University. Energy Procedia.
- MARTINEZ SANZ, MA. (2014). *Bioclimatismo y su aplicación en Fachadas*. Trabajo Final de Grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/43639>> [Consulta: 23 de Mayo de 2017]
- MOSTAFA M.S. AHMED. (2015). *Development of Intelligent Façade Based on Outdoor Environment and Indoor Thermal Comfort*. Târgu Mures (Romania): 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2014.
- PERINO, MARCO. (2008). *State of the Art Review. Volume 2B Responsive Building Elements*. Aalborg University (Denmark): IEA-ECBCS Annex 44
- SHARADIN, KAMIL. (2013). *Kinetic Façades: Towards design for Environmental Performance*. RMIT University (Melbourne): Spatial Information Architecture Laboratory (SIAL)

T. THUM WILLIAM & BLUMENFELD ANDREW. (2014). *Passive Building Systems vs Active Building Systems and the Return On Investment*. Building Innovation 2014 (Washington D.C.): The National Institute of Building Sciences second anual Conference & Expo.

7.2 Webgrafía por orden alfabética

ARCHITECTUS. *1 Bligh*. [en línea] <<http://www.architectus.com.au/en/search/node/1%20bligh>> [Consulta: 23 de Agosto de 2017]

ARUP. *Abu Dhabi Investment Council*. [en línea] <<https://www.arup.com/en/projects/abu-dhabi-investment-council-headquarters>> [Consulta: 25 de Agosto de 2017]

BOE. *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado* [en línea] <https://www.boe.es/diario_boe/> [Consulta: 8 de Agosto de 2017]

CTE CÓDIGO TÉCNICO. *¿Qué es el CTE?* [en línea] <<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-que-cte.html>> [Consulta: 5 de Agosto de 2017]

CTE CÓDIGO TÉCNICO. *Documentos CTE* [en línea] <<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte.html>> [Consulta: 5 de Agosto de 2017]

CONSTRUMÁTICA. *Viga Vierendeel*. [en línea] <http://www.construmatica.com/construpedia/Viga_Vierendeel> [Consulta: 15 de Agosto de 2017]

CYPE. *Normativa Técnica* [en línea] <http://normativaconstruccion.cype.info/Fachadas_y_particiones.html> [Consulta: 5 de Agosto de 2017]

DESIGNINC. *Council House 2 (CH2)*. [en línea] <<http://www.designinc.com.au/portfolio/commercial-workplace/ch2-melbourne-city-council-house-2>> [Consulta: 17 de Agosto de 2017]

[14] EFENERGIA. *Directivas de eficiencia energética en Europa*. [en línea] <<http://www.efenergia.com/legislacion-eficiencia-energetica/europa/>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]

ENCLOS. *Loyola University Chicago: Richard J. Klarchek Information Commons*. [en línea] <<http://www.enclos.com/projects/loyola-university-chicago-richard-j-klarchek-information-commons>> [Consulta: 18 de Agosto de 2017]

EUR-LEX. *Directivas Europeas*. [en línea] <<http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]

EUROPEAN COMMISSION. *EASME Executive Agency for SMEs, Intelligent Energy Europe*. [en línea] <<https://ec.europa.eu/easme/en>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]

EUROPEAN COMMISSION. *EU SCIENCE HUB, The European Commission's science and knowledge service, Energy Service Companies*. [en línea] <<https://ec.europa.eu/jrc/en/energy-efficiency/eed-support/energy-service-companies>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]

EUROPEAN COMMISSION. *ENERGY, Energy Efficiency Directive*. [en línea] <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive>> [Consulta: 7 de Agosto de 2017]

FJMT. *Surry Hills Library and Community Center*. [en línea] <<https://fjmtstudio.com/projects/libraries/>> [Consulta: 20 de Agosto de 2017]

FOSTER + PARTNERS. *Commerzbank Headquarters*. [en línea] <<http://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/>> [Consulta: 15 de Agosto de 2017]

GRIMSHAW. *EMPAC*. [en línea] <<https://grimshaw.global/projects/empac/>> [Consulta: 18 de Agosto de 2017]

INGENHOVEN. *1 Bligh*. [en línea] <<http://www.ingenhovenarchitects.com/projects/more-projects/1-bligh-sydney/description>> [Consulta: 23 de Agosto de 2017]

JOSEFGARTNER. *Experimental Media and Performing Arts Center (EMPAC)*. [en línea] <<http://josef-gartner.permasteelisagroup.com/about-gartner/products-services/integrated-steel-fa%C3%A7ades/>> [Consulta: 18 de Agosto de 2017]

KAWNEER. *Loyola University Chicago Marcella Niehoff School of Nursing*. [en línea] <http://www.kawneer.com/kawneer/north_america/en/products/project_detail.asp?project=marcella_niehoff&bus=north_america&pc=Education> [Consulta: 26 de Agosto de 2017]

NIKKEN. *NBF Osaki Building*. [en línea] <<http://www.nikken.jp/en/projects/office/hq/NBF%20Osaki%20Building%20.html>> [Consulta: 25 de Agosto de 2017]

PCF-P. *Milstein Family Heart Center*. [en línea] <<https://www.pcf-p.com/projects/milstein-family-heart-center-nyph-columbia/>> [Consulta: 21 de Agosto de 2017]

PEGV. *Portal Estadístico de la Comunidad Valenciana*. [en línea] <<http://www.pegv.gva.es/>> [Consulta: 2 de Agosto de 2017]

SCB. *Niehoff School of Nursing and Center for Collaborative Learning*. [en línea] <<http://www.scb.com/project/marcella-niehoff-school-of-nursing-and-center-for-collaborative-learning/>> [Consulta: 26 de Agosto de 2017]

SCB. *Richard J. Klarchek Information Commons*. [en línea] <<http://www.scb.com/project/richard-j-klarchek-information-commons/>> [Consulta: 17 de Agosto de 2017]

WORLD WEATHER ONLINE. [en línea] <<https://www.worldweatheronline.com/>> [Consulta: 28 de Agosto de 2017]



08

Referencia fotográfica & tablas

Recursos utilizados

Capítulo 01 Introducción

Figura 1: Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT)
Earl Carter <<http://earlcarter.com.au/>>

Figura 2: Aplicaciones potenciales de los ECRs en la construcción
Imagen original de Ad van der Aa. (2011) [3]

Figura 3: Esquema del edificio de oficinas de Berstelsmann (Munich).
Imagen original de Olesen. (2000) *Cooling and heating of buildings by activating the thermal mass with embedded hydronic pipe systems*, ASHRAE-CIBSE, Dublin.

Figura 4: Esquema del edificio Schwerzenbacherhof (Zurich).
Imagen original de Annex 44. [2]

Figura 5: Esquema funcionamiento del Aislamiento Dinámico (AD).
Imagen original de Ad van der Aa. (2011) [3]

Figura 6: Energía térmica específica (almacenada) vs. temperatura.
Imagen original de Ad van der Aa. (2011) [3]

Figura 7: Tipos de Materiales de Cambio de Fase (MCF).
Imagen original de Ad van der Aa. (2011) [3]

Capítulo 02 Activa v/s. pasiva

Figura 8: Ther Araba World Institute
Stiliyana Minkovska <<http://sminkovska.blogspot.com.es/2012/06/>>

Capítulo 03 SMART: causa y efecto

Figura 9: Abu Dhabi Investment Council
ARUP <<https://www.arup.com/projects/abu-dhabi-investment-council-headquarters>>

Figura 10: Porcentaje de Insatisfacción Previsto (PIP) vs. (PMV)
Elaboración propia

Figura 11: Gráfica psicométrica del confort térmico publicada en ANSI/
ASHRAE Standard 55
Imagen original de ASHRAE [7].

Figura 12: Diagrama bioclimático de Ölgay.
MundoHVAC <<https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2013/10/construccion-bioclimatica-el-futuro-inmediato/>>

Figura 13: Diagrama bioclimático de Ölgay para la ciudad de Valencia.
Elaboración propia a partir de los datos de Martínez Sanz, MA. (2014) [10].

Figura 14: Diagrama bioclimático de Givoni
Elaboración propia.

Figura 15: Diagrama bioclimático de Givoni para la ciudad de Valencia.
Elaboración propia a partir de los datos de Martínez Sanz, MA. (2014) [9].

Figura 16: Climograma de Bienestar Adoptado.
Elaboración propia.

Figura 17: CBA para Valencia en Invierno.
Elaboración propia con programa Excel, a partir de datos de PEGV [10].

Figura 18: CBA para Valencia en Primavera y Otoño.
Elaboración propia con programa Excel, a partir de datos de PEGV [10].

Figura 19: CBA para Valencia en Verano.
Elaboración propia con programa Excel, a partir de datos de PEGV [10].

Figura 20: Calificación de eficiencia energética y de emisiones de CO₂.
Elaboración propia.

Figura 21: Temperatura de los Vientos Predominantes de Valencia desde 01/01 hasta el 31/12.
Elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Auto-
desk.

Figura 22: Velocidad de los Vientos Predominantes de Valencia desde 01/01 hasta el 31/12.
Elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Auto-
desk.

Figura 23: Humedad de los Vientos Predominantes de Valencia desde 01/01 hasta el 31/12.
Elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Auto-
desk.

Figura 24: Diagrama estereográfico de la ciudad de Valencia (39°28'11"N).
Elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Auto-
desk.

Figura 25: Orientación óptima (amarillo), orientación de infracalentamiento (azul) y orientación de sobrecalentamiento (rojo) de la ciudad de Valencia (Latitud 39°28'N).
Elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Auto-

desk.

- Figura 26:** Radiación incidente anual para la orientación óptima de la ciudad de Valencia (39°28'11"N).
Elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Autodesk.
- Figura 27:** Radiación incidente anual para la orientación de sobrecalentamiento de la ciudad de Valencia (39°28'11"N)
Elaboración propia con programa Weather Tool, Ecotect, Autodesk.
- Figura 28:** Propuesta clasificación de las FIA (AIF) de Annex 44 traducida y con la adición de las Fachadas Cinéticas (FC) y la familia Sistemas de Ventanas Avanzadas (SVA).
- Figura 29:** Trayectorias del flujo de aire en las FIAs.
Imagen original de Annex 44 [2].
- Figura 30:** Esquema de la Fachada Climática.
Elaboración propia.
- Figura 31:** Esquema de la Fachada tipo Buffer.
Elaboración propia.
- Figura 32:** Esquema de una Box-window, izquierda: alzado, derecha: sección.
Elaboración propia.
- Figura 33:** Esquema de una Shaft-box, izquierda: alzado, derecha: sección.
Elaboración propia.
- Figura 34:** Esquema de una Fachada Corredor, izquierda: sección, derecha: alzado.
Elaboración propia.
- Figura 35:** Esquema de una fachada Multy-storey.
Elaboración propia.
- Figura 36:** Esquema de una Swindow.
Imagen original de Annex 44 [2].
- Figura 37:** Esquema fachada cinética.
Elaboración propia.

Capítulo 04 Estudio de casos

- Figura 38:** Debenhams store, Oxford Street
Jonathan Plant <<https://jonathanplant.wordpress.com/2014/01/10/moving-facade-debenhams-oxford-street/>>
- Figura 39:** Commerzbank Headquarters.

Wikipedia <https://es.wikipedia.org/wiki/Torre_Commerzbank>

- Figura 40:** Sección fachada Commerzbank. Izq. ventana abierta, der. ventana cerrada.
Foster + Partners <<http://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/>>
- Figura 41:** Planta tipo Commerzbank.
Foster + Partners <<http://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/>>
- Figura 42:** Sección torre Commerzbank.
Foster + Partners <<http://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/>>
- Figura 43:** Axonometría fachada Commerzbank.
Foster + Partners <<http://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/>>
- Figura 44:** Sección fachada Commerzbank.
Foster + Partners <<http://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/>>
- Figura 45:** Parque interior de Commerzbank Headquarters.
Foster + Partners <<http://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters/>>
- Figura 46:** Council House 2.
Designinc <<http://www.designinc.com.au/projects/ch2-melbourne-city-council-house-2>>
- Figura 47:** Planta tipo de Council House 2
Designinc <<http://www.designinc.com.au/projects/ch2-melbourne-city-council-house-2>>
- Figura 48:** Sección bioclimática Council House 2 en modo día
Designinc <<http://www.designinc.com.au/projects/ch2-melbourne-city-council-house-2>>
- Figura 49:** Fachada norte Council de House 2
Dianna Snape <<https://www.diannasnape.com/>>
- Figura 50:** Klarchek Information Commons.
James Steinkamp <<https://www.steinkampphotography.com/>>
- Figura 51:** Plano de Klarchek Information Commons.
Solomon Cordwell Buenz <<http://www.scb.com/>>
- Figura 52:** Esquema funcionamiento de Klarchek Information Commons en modo ventilación.
Solomon Cordwell Buenz <<http://www.scb.com/>>

Figura 53: Fachada oeste de Klarchek Information Commons.
Solomon Cordwell Buenz <<http://www.scb.com/>>

Figura 54: EMPAC.
Paul Rivera <<http://www.paulriveraphotography.com/empac/>>

Figura 55: Planta Segunda EMPAC.
Grimshaw <<https://grimshaw.global/projects/empac/>>

Figura 56: Sección longitudinal EMPAC.
Grimshaw <<https://grimshaw.global/projects/empac/>>

Figura 57: Sección detalle de un montante.
Charles Linn: Kinetic Architecture [23]

Figura 58: Zonas calentadas fachada EMPAC.
Charles Linn: Kinetic Architecture [23]

Figura 59: Recorrido del agua en la fachada EMPAC.
Charles Linn: Kinetic Architecture [23]

Figura 60: Fachada EMPAC.
Damian James <http://magazine.art21.org/2011/02/11/a-willing-participant-at-empacs-uncertain-spectator/img_3879/>

Figura 61: Surry Hills.
David Hannah <<http://hannahman.com/>>

Figura 62: Planta Baja de Surry Hills Library.
Francis-Jones Morehen Thorp (FJMT) <<https://fjmtstudio.com/>>

Figura 63: Detalle sección fachada sur.
Francis-Jones Morehen Thorp (FJMT) <<https://fjmtstudio.com/>>

Figura 64: Esquema 3D de los sistemas desplegados en todo el edificio.
Francis-Jones Morehen Thorp (FJMT) <<https://fjmtstudio.com/>>

Figura 65: Jardín de bambú a través de la fachada de doble piel.
Andrew Chung <<https://fjmtstudio.com/>>

Figura 66: Milstein Family Heart Center.
Paul Warchol <<http://www.warcholphotography.com/>>

Figura 67: Planta de Milstein Family Heart Center.
Katarin Larrauri <http://klarrauri.blogspot.com.es/2009/11/vivan-and-seymour-milstein-family_15.html>

Figura 68: Diagrama de la ventilación natural de la pared climática de Milstein Family Heart Center.
Charles Linn: Kinetic Architecture [23]

Figura 69: Sombreado en el interior de la fachada climática de Milstein Family Heart Center.
Pei Cobb Freed & Partners <<https://www.pcf-p.com/>>

Figura 70: Composición de la fachada climática de Milstein Family Heart Center.
Randall Holl <<http://randallholl.com/heart-hospital/>>

Figura 71: Fachada climática de Milstein Family Heart Center.
Paul Warchol <<http://www.warcholphotography.com/>>

Figura 72: 1 Bligh Street.
H.G. Esch <<http://www.hgesch.de/home/>>

Figura 73: Planta tipo 1 Bligh Street.
Architectus <<http://www.architectus.com.au/en/projects/1-bli-gh-street-sydney>>

Figura 74: 3D fachada 1 Bligh Street.
Architectus <<http://www.architectus.com.au/en/projects/1-bli-gh-street-sydney>>

Figura 75: Función aerodinámica de las aletas.
Architectus <<http://www.architectus.com.au/en/projects/1-bli-gh-street-sydney>>

Figura 76: Detalle fachada 1 Bligh Street.
Architectus <<http://www.architectus.com.au/en/projects/1-bli-gh-street-sydney>>

Figura 77: Fachada 1 Bligh Street.
H.G. Esch <<http://www.hgesch.de/home/>>

Figura 78: NBF Osaki Building.
Harunori Noda <<http://www.nikken.co.jp/ja/>>

Figura 79: Planta tipo NBF Osaki Building.
Nikken Sekkei Ltd. <<http://www.nikken.jp/en/projects/office/hq/NBF%20Osaki%20Building%20.html>>

Figura 80: Detalle de la pieza cerámica.
Nikken Sekkei Ltd. <<http://www.nikken.jp/en/projects/office/hq/NBF%20Osaki%20Building%20.html>>

Figura 81: Sección NBC Osaki Building.
Nikken Sekkei Ltd. <<http://www.nikken.jp/en/projects/office/hq/NBF%20Osaki%20Building%20.html>>

Figura 82: Detalles fachada de NBC Osaki Building.
Nikken Sekkei Ltd. <<http://www.nikken.jp/en/projects/office/hq/NBF%20Osaki%20Building%20.html>>

Figura 83: Diagramas fachada de NBC Osaki Building.
Nikken Sekkei Ltd. <<http://www.nikken.jp/en/projects/office/hq/NBF%20Osaki%20Building%20.html>>

Figura 84: Detalle de la fachada este.
Harunori Noda <<http://www.nikken.co.jp/ja/>>

Figura 85: Abu Dhabi Investment Council.
Arup <<https://www.arup.com/en/projects/abu-dhabi-investment-council-headquarters>>

Figura 86: Sección fachada Abu Dhabi Investment Council.
Aedas <<https://www.aedas.com/>>

Figura 87: Planta tipo de Abu Dhabi Investment Council.
Aedas <<https://www.aedas.com/>>

Figura 88: Sección torre Abu Dhabi Investment Council.
Aedas <<https://www.aedas.com/>>

Figura 89: Mashrabiya en posición abierta, intermedia y cerrada.
Aedas <<https://www.aedas.com/>>

Figura 90: Detalle mashrabiya fachada Abu Dhabi Investment Council.
Aedas <<https://www.aedas.com/>>

Figura 91: Construcción mashrabiya fachada Abu Dhabi Investment Council.
Aedas <<https://www.aedas.com/>>

Figura 92: Interior mashrabiya fachada Abu Dhabi Investment Council.
Ahr-Global <<http://www.ahr-global.com/Al-Bahr-Towers>>

Figura 93: Marcella Niehoff School.
AIA Chicago <https://www.aiachicago.org/dea_archive/2015/marcella-niehoff-school-of-nursing-and-center-for-collaborative-learning/>

Figura 94: Planta Baja de Marcella Niehoff School.
AIA Chicago <https://www.aiachicago.org/dea_archive/2015/marcella-niehoff-school-of-nursing-and-center-for-collaborative-learning/>

Figura 95: Fachada Sur.
Solomon Cordwell Buenz <<http://www.scb.com/project/marcella-niehoff-school-of-nursing-and-center-for-collaborative-learning/>>

Figura 96: Estrategias en el edificio.
Solomon Cordwell Buenz <<http://www.scb.com/project/marcella-niehoff-school-of-nursing-and-center-for-collaborative-learning/>>

Figura 97: Fachada oeste.
Solomon Cordwell Buenz <<http://www.scb.com/project/marcella-niehoff-school-of-nursing-and-center-for-collaborative-learning/>>

Figura 98: Interior de la fachada oeste.
Dave Burk for Hedrich Blessing <<https://www.hedrichblessing.com/>>

Capítulo 05 Recopilación de estrategias

Figura 99: Council House 2
Dianna Snape <<https://www.diannasnape.com/>>

Capítulo 06 Conclusión

Figura 100: Manitoba Hydro Place
Tom Arban <<http://www.tomarban.com/>>

Capítulo 07 Bibliografía

Figura 101: Beijing National Aquatics Center
See-ming Lee <<https://www.flickr.com/photos/seeminglee/>>

Capítulo 08 Referencia fotográfica y tablas

Figura 102: KfW Westercade offices and Conference Centre
Felix Mara <<https://www.architectsjournal.co.uk/kfw-westercade-offices-and-conference-centre-frankfurt-by-sauerbruch-hutton/8612329.article>>