

Instalaciones de edificios en altura y extensivos (High-Tech)

Alumno: David Ahijado Novoa
Tutor: Miguel Ángel Padilla-Marcos

Trabajo de Fin de Grado, 2021-2022



Universidad de Valladolid

**Escuela Técnica Superior
de Arquitectura**



ETSAVA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
Avda. Salamanca 18 - 47014 Valladolid

Agradecimientos

Con carácter general, expreso mi gratitud a todos los profesores de la Escuela de Arquitectura de Valladolid porque me han inculcado unos amplios conocimientos académicos, que sin duda tendré ocasión de aplicar en la práctica profesional.

Quiero hacer una mención especial a mi tutor, el profesor D. Miguel Ángel Padilla, por haberme orientado y confiar en mi criterio, dándome autonomía para elaborar este trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco a mi familia y amigos su apoyo constante, que me ha permitido avanzar siempre con paso firme en las adversidades.

Resumen/ Abstract

ES: El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) analiza la importancia que las instalaciones han tenido siempre en las construcciones, así como su aplicación arquitectónica tanto para edificios de gran altura como para edificaciones extensivas, abordando la integración de estas.

El objetivo de este TFG radica en el análisis y estudio de la integración y resolución de los problemas tecnológicos asociados al suministro de recursos y servicios en dos tipos arquitectónicos representativos de la arquitectura "High-Tech".

A través de la identificación de los diferentes sistemas de instalaciones y la descripción de su funcionamiento, en el estudio se analizan los mecanismos que mejoran el confort del edificio y la importancia del uso de la tecnología. Para ilustrar el tema escogido se expondrán soluciones adoptadas en dos hitos de la arquitectura High-Tech, que destacan por el uso y la integración de sus instalaciones, el *Centro Sainsbury de artes visuales* de Norman Foster, y el *Edificio Lloyd's*, de Richard Rogers. Cada uno de estos edificios como representantes de los dos tipos arquitectónicos evaluados: edificio en altura y edificio extensivo.

Palabras clave: **edificio en altura, edificio extensivo, sistemas de instalaciones, High-Tech, integración.**

EN: This Bachelor Thesis analyses the importance that services have always had in constructions, as well as their architectural application for both high-rise buildings and extensive buildings, addressing their integration.

The objective of this Bachelor Thesis lies in the analysis and study of the integration and resolution of technological problems associated with the provision of resources and services in two representative architectural types of "High-Tech" architecture.

Through the identification of the different service systems and the description of their operation, the report analyses the mechanisms that improve the comfort of the building and the importance of the use of technology. To illustrate the chosen topic, solutions adopted in two landmarks of High-Tech architecture will be exhibited, which stand out for the use and the integration of their services, Norman Foster's Sainsbury Centre for Visual Arts, and Richard Rogers' Lloyd's Building.

Keywords: **high-rise building, extensive building, installation systems, High-Tech, integration.**

Índice

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN/ ABSTRACT	4
ÍNDICE	6
INTRODUCCIÓN	7
EDIFICIOS EN ALTURA.....	9
EDIFICIOS EXTENSIVOS.....	11
ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS INSTALACIONES Y LA SITUACIÓN ACTUAL	12
OBJETIVOS	19
METODOLOGÍA	20
MOTIVACIONES PROFESIONALES Y PERSONALES	21
TIPOS DE INSTALACIONES	24
INSTALACIONES DE EDIFICIOS EN ALTURA	38
INSTALACIONES DE EDIFICIOS EXTENSIVOS	50
ESTRATEGIAS ENERGÉTICAS	58
CONCEPTOS BÁSICOS	59
ESTRATEGIAS ENERGÉTICAS EN EDIFICIOS EN ALTURA	62
ESTRATEGIAS ENERGÉTICAS EN EDIFICIOS EXTENSIVOS	75
CASOS DE ESTUDIO	89
EDIFICIO LLOYD'S	93
CENTRO SAINSBURY DE ARTES VISUALES.....	118
CONCLUSIONES	140
BIBLIOGRAFÍA	143

Introducción

En las ciudades actuales conviven distintas tipologías edificatorias, aunque proliferan los edificios en altura y los edificios extensivos; siendo estos dos tipos de construcciones los que centrarán el presente trabajo, analizando sus instalaciones.

Los edificios en altura se caracterizan principalmente por la pequeña huella que ocupan en superficie y la gran cantidad de individuos que pueden llegar a albergar. Frente a estos se encuentran los edificios extensivos, cuya organización se basa en el despliegue de una gran huella en superficie, para una densidad de ocupantes menor en comparación con las previstas para las construcciones en altura.

La anterior característica define elementos que van a actuar como protagonistas de cada tipología: las fachadas, en el caso de los edificios en altura y las cubiertas, en las construcciones extensivas.

Para dar respuesta a las peculiaridades de cada una de dichas tipologías las instalaciones se han tenido que adaptar, principalmente en lo que atañe a las construcciones en altura que constituyen la tipología que más se ha extendido en el último siglo y tiene menos antigüedad.

La historia de la arquitectura es testigo de la evolución constructiva de las instalaciones desde sus orígenes hasta nuestros días, en un intento por dar respuestas integradoras a la demanda de nuevos servicios para mejorar el confort de las personas.

Especial referencia merece el papel desempeñado por los protagonistas del estilo High-Tech, en su afán por recuperar los espacios diáfanos que se estaban perdiendo a causa del incremento de espacio que reclamaban las nuevas instalaciones. Como solución, los seguidores de ese estilo optan por invertir el esquema más popular hasta el momento de núcleo central y llevar las instalaciones y la estructura a la periferia, dejándolas vistas como signo identitario del estilo.

Desde antiguo la arquitectura ha incorporado a la edificación elementos técnicos, dirigidos principalmente a lograr un mejor espacio interior frente a las inclemencias ambientales, contribuyendo a la evolución de la técnica constructiva.

Constituye un hecho, la relevancia cada vez mayor que van adquiriendo los sistemas técnicos como elementos fundamentales del espacio arquitectónico, por lo que han empezado a recibir la misma atención que el resto de elementos. La aparición de los nuevos sistemas de control ambiental fue determinante para la transformación de los edificios, y durante muchos años el diseño estuvo dominado por su integración en la forma.

La progresiva asimilación del problema del control energético marca un antes y un después en esta evolución, y se inicia un proceso crítico contra el edificio acristalado y hermético de oficinas. Como resultado, el diseño de muchos edificios contemporáneos se plantea como objetivo la disminución del consumo energético e incluso apuesta por la producción de energía en el propio edificio atendido a criterios de autoconsumo.

Para que los edificios contemporáneos cumplan las funciones para las que han sido construidos resulta obligado haber previsto el espacio para sus instalaciones, que abarcan tanto los indispensables suministros de agua y electricidad, como el conjunto de mecanismos, sensores y elementos tecnológicos destinados a satisfacer el bienestar de los usuarios.

Es significativo que, aunque en algunos edificios el presupuesto dedicado a instalaciones pueda superar el 50% del total, no existe una definición clara que permita explicar con

precisión el concepto de instalaciones en edificación, a pesar de existir múltiples publicaciones que desarrollan con detalle cómo realizar una instalación de fontanería, saneamiento, aire acondicionado o electricidad, entre otras.

En las últimas décadas, se han desarrollado sistemas sofisticados que sirven para controlar cada vez más fluidos que garantizan el confort, la seguridad y el ahorro energético en los edificios, haciendo que convivan cables, tubos y conductos de sistemas tradicionales, sometidos a la normativa de ventilación o de protección contra incendios y la distribución de la información.

Los sistemas constructivos tienen que dar respuesta a exigencias como la domótica, el aire acondicionado o la fibra óptica, con las adaptaciones necesarias para poder albergar el amasijo de tendidos que las instalaciones puedan originar, con una visión de futuro.

Este trabajo no pretende abarcar toda la problemática que suscitan las instalaciones, sino que se centrará en los aspectos que diferencian este tipo de sistemas en edificios en altura y en las construcciones en extensión.

Como punto de partida se va a delimitar el concepto de edificio en altura y de edificio en extensión, para luego enumerar los antecedentes de las estrategias tradicionales y contemporáneas de localización de las instalaciones en esas dos tipologías edificatorias. A continuación, se expondrá el objetivo del trabajo, la metodología empleada y las motivaciones profesionales y personales. Finalmente, en el trabajo se analizarán dos edificios de estilo High-Tech de cada una de dichas tipologías, elegidos como referentes para enfocar el estudio, con una breve referencia en cuanto a la historia de dónde surge su estilo.

Edificios en altura

La construcción con muros de carga ha permitido la superposición de planos hasta cierta altura, surgiendo así los primeros indicios de la ciudad vertical, con ejemplos desde la antigüedad y a partir de entonces hasta la ciudad del siglo XIX.

Aunque no hay ninguna regla escrita que defina de forma exacta y precisa qué es un edificio en altura, todos tenemos una idea más o menos clara de lo que define a estos edificios: su elevación y especialmente, su esbeltez.

Conceptualmente se podría definir un edificio en altura como aquel cuya altura tiene efectos importantes en la evacuación de sus ocupantes en caso de emergencia. Es decir, aquel donde los servicios de bomberos no pueden intervenir de manera efectiva.

Una definición presente en varias ordenanzas municipales e incluso en el código técnico de la edificación, matiza algo más al indicar que un edificio en altura sería *aquel cuya diferencia de cota entre el punto más alto habitable y la salida más baja es mayor de 28 metros*. Autores como Luisa Basset Salom, profesora del departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la Universidad Politécnica de Valencia, establece otras condiciones diciendo que se considera edificio en altura a partir de los 50 metros o más de 12 plantas, esbelto, con acciones predominantemente verticales en el cálculo requiriendo de instalaciones y tecnologías específicos para su diseño.

De esta manera podríamos concluir con una definición diciendo que un edificio en altura es aquel de un mínimo de 28 metros, esbelto y con tecnologías e instalaciones específicas que solucionan los problemas causados por esta diferencia de cota con respecto a su evacuación y el suministro de recursos y servicios.

Aunque se conocen casos que cumplen las características anteriores que datan del siglo XII, como las torres del pueblo de San Gimignano en Italia, este tipo de edificios se empezó a popularizar a finales del siglo XIX gracias a la aparición del acero como material estructural, comenzando en la ciudad de Chicago y luego continúa en la ciudad de Nueva York refinando la tecnología, siendo uno de los grandes hitos para esta tipología la aparición del ascensor, inventado a principios del siglo XIX.

La ciudad vertical teorizada por el Movimiento Moderno se generalizó y ha alcanzado una escala importante con los actuales centros financieros, consecuencia de la evolución de un conjunto de invenciones, como el esqueleto de acero y hormigón, el ascensor o el aire acondicionado, entre otros. Como resultado, lo que caracterizará a la ciudad moderna será su diseño vertical.

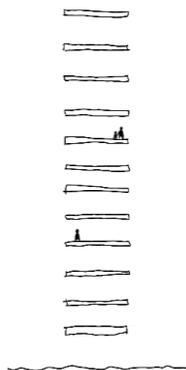


Ilustración 1 La característica principal de la construcción en altura es la superposición de planos horizontales
(Elaboración propia del autor)

La superposición de planos trae consigo un problema espacial y técnico de características muy particulares, configurando al edificio en altura como un organismo potencialmente muy complejo. Aunque la repetición es una de sus particularidades, las organizaciones en altura no son una simple repetición.

Actualmente, la superposición de espacios de escalas diferenciadas y la incorporación de grandes recintos que parecen dar una nueva libertad vertical, abren nuevas opciones con secciones no necesariamente repetitivas. Además, la tecnología del vidrio abre nuevas posibilidades a edificios complejos entreabiertos.

La eficiencia de estas organizaciones dependerá de las soluciones que se adopten para dar respuesta a su estructura, su concepción energética, su seguridad, sus cerramientos o a su montaje, porque la construcción en altura exige importantes niveles de industrialización.

Finalmente, los edificios en altura se pueden clasificar en función de su altura diferenciándose tres grandes tipos: los edificios en altura o "High-rise", que son todos aquellos edificios en altura de menos de 150 metros; los rascacielos o "skyscraper", aquellos edificios comprendidos entre los 150 metros y los 300 metros; y por últimos los superalto o "supertall", que son los que superan los 300 metros de altura. La tipología principal de estos edificios en altura suele ser el de oficinas, aunque también se utilizan para uso residencial, hotelero y esporádicamente con otros usos dotacionales.

Otra forma de clasificar los edificios en altura sería en función de su estructura que principalmente son realizados en acero y en hormigón armado.

Edificios extensivos

La ciudad horizontal es la solución más sencilla que ha encontrado el ser humano desde la antigüedad, debido en parte a la ausencia de grandes cargas verticales que promuevan el pandeo de la construcción o la necesaria definición de soluciones tecnológicas asociadas.

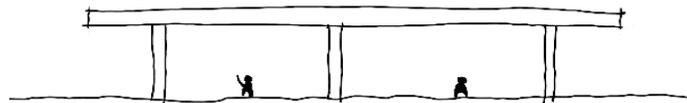
Para los edificios extensivos tampoco encontramos una definición clara de ellos, pero podríamos definirlos *grosso modo* como la antítesis de los edificios en altura.

De esta manera podríamos concluir con su definición diciendo que un edificio en extensión es aquel donde el mayor problema surge de las largas distancias de un extremo a otro, forzando a que este se deba dividir en sectores, tanto por motivos de seguridad contra incendios como por motivos estructurales para evitar la propagación de incendios de forma descontrolada, posibles efectos de la deformación, por dilatación o por diferentes asentamientos en el terreno, eso sí sin perder la continuidad en su cubierta, pues es el elemento que le da la unidad.

Este tipo de edificios se ha usado de forma repetida en toda la historia de la arquitectura, desde las termas romanas a los actuales aeropuertos.

El objetivo de un edificio extensivo es cubrir la mayor superficie posible con el menor número de plantas necesario.

Cuando en un edificio extensivo se generan grandes espacios diáfanos, estos no suelen tener la altura libre mínima, si no una altura libre ajustada a la escala. Por ello nos encontramos edificios en extensión con bastante altura debido a los usos que estos pueden albergar como son los auditorios o los polideportivos entre otros.



*Ilustración 2 La característica principal de la construcción en extensión es la cobertura de un plano horizontal
(Elaboración propia del autor)*

Los usos de los edificios en extensión son bastante variados, desde centros comerciales a pabellones de exposiciones.

Los edificios extensivos también se pueden clasificar según su estructura que principalmente son de fábrica, hormigón armado, entramados metálicos o membranas. Esto permite una gran variedad de soluciones tanto en su forma como en sus acabados.

Antecedentes históricos de las instalaciones y la situación actual

Desde la Antigüedad, el ser humano ha buscado la manera de hacer que su vida sea más sencilla y cómoda, utilizando para conseguir ese objetivo distintos métodos y herramientas. Uno de los referentes más elementales es la naturaleza, que al igual que el ser humano ha ido seleccionando las mejores características de los distintos seres vivos a base de prueba y error.

Los organismos biológicos son una excelente muestra de la relación entre el diseño y los diferentes factores que atañen a la energía, y muchas estructuras complejas se explican como estrategias energéticas que ofrece la naturaleza.

De esa observación se pueden extraer algunos factores que influyen en el aspecto final y capacidad de respuesta que adoptan los seres vivos en su comportamiento energético.

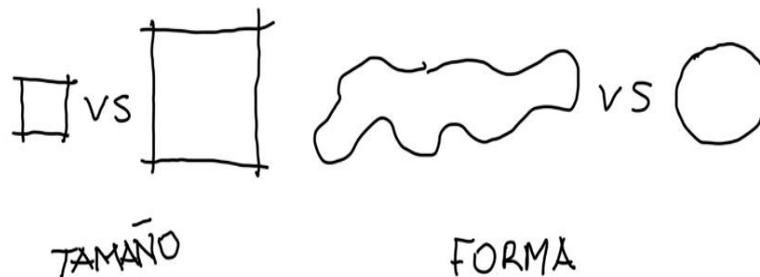


Ilustración 3 Comparación térmica de elementos en función del tamaño y forma (Elaboración propia del autor)

La naturaleza demuestra que el tamaño puede ser una estrategia para optimizar los recursos, ofreciendo sabios ejemplos. Así, los animales grandes de sangre caliente tienen bajas pérdidas térmicas por conducción y en consecuencia menor necesidad relativa de producción de energía, porque al crecer un organismo su volumen crece más rápidamente que su superficie envolvente.

Ser pequeño será ventajoso para los organismos dependientes de las ganancias térmicas por insolación, a través de su envolvente, ya que se trata de lograr la máxima proporción superficie-volumen.

La forma adecuada es otra estrategia para un comportamiento energético viable. El recurso de los diseños compactos, y en particular la forma esférica, permite minimizar la relación superficie-volumen en muchos organismos. Incluso muchas formas lineales resultan ser agregados de esferas, y responden al mismo principio.

La constitución de la superficie es otro aspecto ligado a los anteriores. El recurso a una capa de grasa, pelo o plumas es característico de los animales grandes y de sangre caliente, y no resulta viable en aquéllos de menor tamaño.

Algunos organismos requieren invertir la estrategia aumentando su exposición al medio para incrementar las ganancias, sobre todo de la energía solar: la extensión de las hojas, los pliegues de la piel, las escamas de los reptiles, parecen soluciones dirigidas a aumentar la superficie de exposición al medio. Incluso las alas parecen que surgieron como captadores térmicos, convirtiéndose después en instrumentos de vuelo.

Por otro lado, nos encontramos con construcciones elaboradas por algunos animales que obedecen a estrategias energéticas, como el panal de las abejas, una madriguera o un termitero, a título ilustrativo, que invitan a aprender de la naturaleza y reproducir sus habilidades con las adaptaciones precisas.

El panal de las abejas minimiza la superficie que cada celda comparte con las adyacentes o expone al exterior, para el máximo volumen almacenado, resultando una red espacial de poliedros. La madriguera del perro de las praderas es un túnel con dos embocaduras en forma de chimenea, que tienen la peculiaridad de elevarse a diferente altura, para asegurar su ventilación por convección.

El divulgador y científico británico Sir David Attenborough acertadamente advierte: *"Nuestro planeta se encamina hacia el desastre. Necesitamos aprender a trabajar con la naturaleza y no en contra de ella"* y describe un termitero africano como una auténtica ciudad en altura con una compleja estructura de control del clima. Su forma de quilla empotrada en el terreno orienta sus caras planas al este y oeste para ganar calor, pero evitando su exceso al mediodía, y su proa al viento para refrigerar por ventilación. La zona empotrada en el terreno mantiene bajas temperaturas que distribuye verticalmente a través de una red interna de canales.

Esa unidad de diseño que descubrimos en la naturaleza, la encontramos en la arquitectura tradicional, donde las diferentes variables se resuelven con diseños integrales. La mejor arquitectura siempre se planteó el problema de la energía, y los mismos diseños que pueden elegirse a lo largo de la historia como estructuras óptimas también sirven para expresar inmejorables soluciones energéticas.

Según expuso en la década de los sesenta el escritor y crítico de la arquitectura, Reyner Banham, históricamente hay dos filosofías opuestas en lo que a estrategia ambiental se refiere, que puede explicarse en función de su actitud ante un tronco de árbol: unos pueblos construyen con él una empalizada aislante, otros lo queman para producir calor.

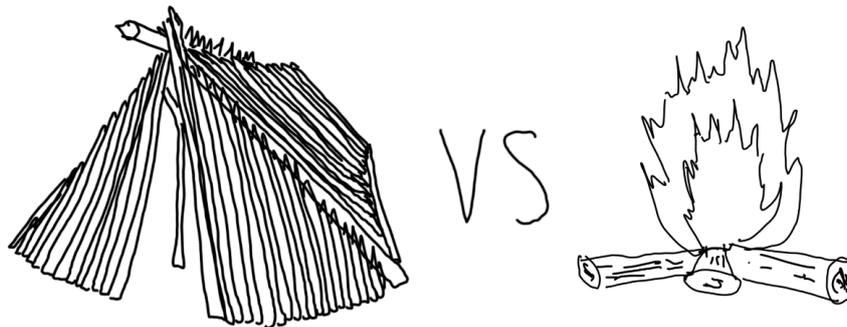


Ilustración 4 Conservativo contra Consumista (Elaboración propia del autor)

En el primer caso, muchas cabañas tribales se plantean de acuerdo a las condiciones del medio y a las técnicas de control ambiental disponibles. Mientras no existiera otra fuente de energía que no fuera el fuego, la solución al espacio eficiente tiene que nacer de la forma y la elección del material. Por ello la casa circular con sección de chimenea y el hogar en el centro es la solución de muchas culturas al espacio doméstico.

La segunda estrategia corresponde a las culturas madereras del pasado, donde la producción energética es mayor y el sistema masivo se rechaza por costoso, y de ella aparecen necesariamente formas nuevas que optan por una construcción lo más ligera posible, surgiendo la cabaña de madera, donde el único elemento realmente duradero es precisamente el hogar, ocupando una posición central para organizar el espacio en torno a él.

El ser humano ha pasado de adecuarse al entorno natural para poder su supervivencia a transformarlo al servicio de sus necesidades. Un factor de cambio importante, que no se puede ignorar en la búsqueda del bienestar, es la tecnología. Una de las civilizaciones que más tecnologías desarrolló para facilitar la vida de sus ciudadanos, fue la romana. Ellos sentaron las bases de muchas de las instalaciones que se siguen utilizando, a excepción de la instalación eléctrica, dotando de gran confort a los principales edificios, algunos de los cuales han llegado a nuestros días.

Especial atención merecen los sistemas romanos de la instalación de agua fría sanitaria, contruidos para traer el agua a las ciudades, utilizando acueductos que conseguían transportar el agua desde fuentes lejanas, hasta el centro de la ciudad. Una vez el agua llegaba a la ciudad, está se media y regulaba mediante una cisterna terminal o “*castellum aquae*”, yendo a continuación a los sistemas de abastecimiento de agua basados en un sistema de galerías visitables dobles, una para abastecimiento y otra para desagüe.

Este sistema sería comparable a la actual red de distribución urbana de agua y a los contadores. Otros elementos relacionados serían los aljibes, como lugar donde se acumulaba el agua para momentos de escasez, comparables a los depósitos que muchos edificios tienen hoy en día.



Ilustración 5 Ejemplo de “*Castellum Aquae*” (Wikimedia Commons. (12 de agosto de 2018). Ruinas del «*Castellum Aqua*» de Nîmes [Fotografía]. Wikimedia Commons.
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Castellum_aquae_in_Nîmes.jpg?uselang=fr.](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Castellum_aquae_in_Nîmes.jpg?uselang=fr))

Respecto a la instalación del agua caliente sanitaria y calefacción, destaca el hipocausto de las villas y termas romanas basado en un sistema de suelo elevado gracias a unos pilares de ladrillo sobre los que se colocaba un suelo lo suficientemente grueso para no quemarse. De esta manera se calentaba el agua de las termas, pero además servía de sistema de calefacción. Los humos ascienden por conductos alojados en los muros llamados *cani fuman*, consistentes en una doble pared calefactada que logra que el calor se transmita desde todas las superficies, al tiempo que se evita las condensaciones.

En las termas romanas se utilizaban otros principios para aprovechar al máximo el calor. La organización de sus espacios se concentra en torno a la fuente térmica, ocupando la posición central el espacio con mayores exigencias de calor (*caldarium*) en torno al cual se agrupan los locales templados (*tepidarium* y salas templadas) hasta las zonas frías. La orientación es generalmente la misma, con el *caldarium* al suroeste de modo que reciba el sol de la tarde.

Este y las salas anexas tenían grandes frentes acristalados para aprovechar el efecto invernadero, con cierres de madera para la noche.

La instalación de saneamiento surge a la par que los sistemas de suministro de agua y los sistemas que se desarrollan en la antigua Roma son prácticamente idénticos a los empleados en la actualidad. La cloaca máxima es la red de alcantarillado más antigua que se conoce. Esta permitía verter los residuos de la ciudad en el río Tíber y que no se produjera una acumulación de residuos nociva para la salud, reduciendo también los malos olores.

El agua limpia y la gestión eficiente de los residuos eran necesarios para la sanidad pública. El alcantarillado se creó para evitar que los desechos se juntasen produciendo focos de infección. La colocación de letrinas y fosas sépticas se realizaba separadas de las estancias habituales para impedir los contactos y los gases malolientes.

Si bien es cierto que para la creación de nuevas ciudades tras la caída del imperio romano se priorizaba el abastecimiento de agua al saneamiento, también existe mucha leyenda negra sobre cómo se gestionaban los residuos en ese tiempo. Durante la Edad Media se comprendía la necesidad de abastecerse aguas arriba y desechar aguas abajo para evitar contaminar el suministro de agua. No obstante, no fue hasta mediados del siglo XIX cuando se empezó a desarrollar la instalación moderna de saneamiento.

Aunque los sistemas de ventilación y climatización en la antigua Roma no existían todavía, ya se utilizaban entonces distintas estrategias para mejorar el confort de los espacios, como el uso del efecto evaporativo del agua instalando impluvios o el uso de corrientes de aire controladas para mejorar la calidad del aire.



Ilustración 6 Vista del impluvium de una casa romana (Wikimedia Commons. (27 de octubre de 2009). Villa San Marco [Fotografía]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Villa_San_Marco_2.JPG.)

Avanzando en el tiempo, surgen los primeros sistemas de bombeo de agua para salvar desniveles utilizando los molinos o más adelante en el siglo XVI inventos como el artificio de Juanelo Turriano, que consiste en un motor impulsado por el propio río que abastecía de agua a la ciudad de Toledo y su Alcázar.

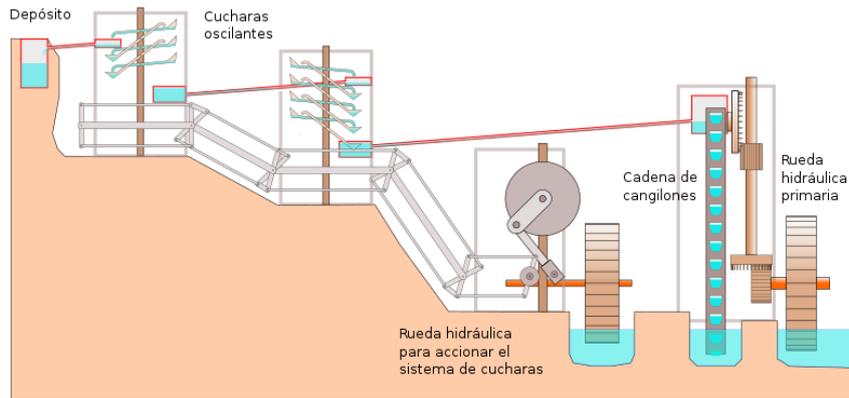


Ilustración 7 Esquema explicativo del funcionamiento del artefacto de Juanelo Turriano (Wikimedia Commons. (junio de 2007). Artificio de Juanelo Turriano (Toledo, España) [Ilustración]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Artefacto_Juanelo.svg.)

La máquina de vapor producirá uno de los grandes cambios en la historia de la humanidad, puesto que su aparición revolucionará muchas de las instalaciones existentes, mejorando las primeras instalaciones de la ingeniería hidráulica.

En la primera mitad del siglo XIX se descubre la electricidad, elemento que influirá decididamente en el despliegue del desarrollo tecnológico, favorecido por su distribución masiva a ciudades y edificios a finales de siglo. Ese hito será decisivo para mejorar los servicios de transporte y las telecomunicaciones.

Otro gran avance tecnológico, introducido a principios del siglo XIX, es la invención de los sistemas elevadores y ascensores. Elemento que se ha convertido en indispensable para los edificios en altura, suponiendo su instalación un cambio radical de la concepción de los edificios, al permitir que fuera igual de sencillo acceder a la planta baja que al ático.

Gracias a todos los avances enumerados y a sus desarrollos posteriores, se puede decir que los edificios actuales pueden resultar tan confortables. Muchos de los sistemas que incorporan se han mejorado, haciéndolos más eficientes y más económicos permitiendo que estén al alcance de la mayoría.

En los albores del siglo XX la revolución técnica provoca cambios drásticos, que van a favorecer la consolidación de un sorprendente conjunto de invenciones tecnológicas con las que hacer frente a las nuevas necesidades. La construcción tradicional se mantiene tan sólo en algunos supuestos de menor escala (la casa aislada) y en lugares donde la renovación técnica se retrasa (la arquitectura española tras la guerra civil, por ejemplo).

De ese contexto surgirá una corriente de arquitectura moderna cuya base formativa está más próxima a la filosofía consumista que a la tradición conservativa, aunque de esta última se mantengan diferentes tradiciones que conviven con ella. La arquitectura moderna se inclinará decididamente por la construcción ligera y no conservativa, en coherencia con la aparente abundancia de recursos imperante entonces.

Sin embargo, tras la crisis energética y los grandes problemas de deterioro ambiental del pasado siglo, la situación experimenta un vuelco: la arquitectura vuelve a interesarse por la opción conservativa. La apertura a experiencias diferentes, resultado del contacto con otras culturas (globalización) y de la progresiva reconsideración de las soluciones tradicionales, ha modificado la visión que se tenía de las instalaciones en la edificación, incrementando la presencia de esos sistemas.

Hasta antes del siglo pasado, un edificio era un sistema básicamente pasivo, cuyo comportamiento energético no ponía en acción técnicas complejas y los sistemas de instalaciones apenas tenían presencia en el edificio. Esto cambia con las nuevas invenciones del siglo XX, incrementando drásticamente el porcentaje económico que las instalaciones suponen en una edificación.

La arquitectura actual está altamente tecnificada y cada día lo estará más. El objetivo será reconocer la importancia del diseño energético como uno de los elementos centrales de los nuevos edificios.

Al transformarse el edificio en un productor activo de energía se origina una interdependencia total entre las técnicas constructivas y los sistemas de instalaciones. La construcción ha de alojar las nuevas y complejas redes, pero sobre todo los sistemas y elementos constructivos deben ser los apropiados a este concepto de "productor". Materiales y técnicas han de seleccionarse desde la consideración inicial de los problemas energéticos.

La cuestión ya no es de diseño de instalaciones, sino de diseño arquitectónico. Las tipologías actuales del proceso creativo se están definiendo necesariamente alrededor de las instalaciones y las cuestiones energéticas. Y más todavía, toda gran idea de arquitectura implica conceptos complejos sobre tales aspectos, e incluso nace de ellos.

Los costes energéticos en el diseño arquitectónico se han convertido en un problema muy relevante. Llevando incluso a reconsiderar las diferentes fuentes de energía que el edificio emplea, con el objetivo de aprovechar en lo posible los recursos naturales. El problema supera con mucho el ámbito de decisión del arquitecto, al desconocerse la repercusión que puede tener una elección equivocada.

Actualmente recuperan el protagonismo todas las formas de aprovechamiento de los recursos, como la ventilación natural, la acumulación de calor o el aprovechamiento de la energía solar. El diseño va a desplegar un papel muy importante aportando soluciones para lograr el aprovechamiento pasivo de los recursos en la edificación.

Una particularidad de las fuentes pasivas es que deben ser tratadas con mucha más precisión que las activas (no tienen esas grandes potencias instantáneas características de las últimas) y requieren acumulación. Por ello su aprovechamiento requerirá el perfeccionamiento y sofisticación de los sistemas constructivos.

El problema supera ahora el escalón de las instalaciones técnicas y comienza a plantearse en la elección del material. Durante su vida útil, un material sufre diferentes procesos de transformación, cuya incidencia en el medio ambiente puede tener gran importancia.

Para medir la idoneidad de un material, se deben considerar sus procesos de producción desde el punto de vista de la contaminación, los residuos, el consumo energético o la capacidad de su reciclaje. Las variables de medición de tal capacidad suelen ser la medida de utilización o producción de productos tóxicos, de la energía total consumida por el producto, de las emisiones durante la producción, de los residuos, etc.

Desde la Revolución Industrial es evidente que el coste de producción ha sido el único dato considerado: el recurso sistemático al acero y hormigón armado, y después al aluminio y los plásticos, se debe a su bajo coste de producción con combustibles fósiles. Todos estos son materiales de alto coste energético, y los nuevos compuestos requieren aún mayor gasto, de modo que comienzan a interesar alternativas como la cerámica (barata y abundante) o la madera (consume principalmente energía solar).

Objetivos

Las instalaciones han acompañado a la humanidad desde que surgieron los primeros asentamientos humanos, y estas han ido evolucionando en función de su crecimiento y para satisfacer el aumento del confort de los ocupantes de las edificaciones.

Este Trabajo de Fin de Grado busca conocer el avance que han tenido las instalaciones y las estrategias energéticas en edificios en altura y en edificios extensivos, comprobando su uso en dos hitos de la arquitectura High-Tech, uno de cada tipología. Esto permitirá definir cuáles fueron los retos de cada tipo de instalación que se van a analizar y su adaptación específica a las diferentes tipologías. Para ello se va a establecer como objetivo principal definir cuáles son las instalaciones y estrategias fundamentales para el buen funcionamiento de estos tipos de edificios.

Lo primero que se va a plantear es realizar un estudio sobre las instalaciones en los edificios en altura y en extensión y la buena integración de sus instalaciones en el diseño, mediante el análisis de las instalaciones de agua fría sanitaria (AFS), agua caliente sanitaria (ACS), saneamiento, climatización y ventilación, electricidad e iluminación, y la comparación entre la construcción en vertical y en horizontal, viendo lo que cada tipología aporta. Para ello se han escogido dos edificios británicos del mismo estilo, misma época y climas muy parecidos.

Para lograr ese objetivo general se incidirá en una serie de hitos, que a continuación se pasan a relacionar:

- Demostrar que, en ocasiones, en la historia se encuentra la solución tecnológica a los problemas contemporáneos, mostrando el papel fundamental que desde la antigüedad han tenido las instalaciones y su evolución en obras posteriores.
- Delimitar distintos tipos de instalaciones y estrategias energéticas aplicables a cada una de las tipologías que son objeto del presente trabajo.
- Indagar por qué el diseño de la arquitectura High-Tech tiene tanta fuerza y es tan resolutivo al plantear las instalaciones, definiendo el origen e ideología de esa corriente y cuáles fueron sus máximos exponentes.
- Definir la concreción del trazado de las instalaciones de las dos obras escogidas, en comparación con edificios de su misma tipología y los motivos por los que se llegó a dichas soluciones.

Metodología

El estudio se enfocará en dos direcciones, distinguiendo una primera parte general que servirá para definir de forma amplia las dos tipologías indicadas de edificios, sus instalaciones y las estrategias energéticas más útiles para cada tipo.

A continuación, se sitúan como casos de estudio el edificio Lloyd's y el Centro Sainsbury, en su particular contexto histórico y una segunda parte, en la que se evaluarán las instalaciones proyectadas en dichos edificios británicos durante la segunda mitad del siglo XX.

Para lograr este objetivo se llevará a cabo una revisión bibliográfica de los clientes y del equipo de diseño de las construcciones elegidas, hasta la inauguración de cada uno de los dos edificios, aprovechando la abundante información existente sobre la materia.

Seguidamente, se desarrollará un enfoque práctico evaluando las correspondientes instalaciones de agua fría sanitaria (AFS), agua caliente sanitaria (ACS), saneamiento, climatización y ventilación, electricidad e iluminación. El interés se centrará en analizar el despliegue de ese tipo de instalaciones en ambos modelos de inmuebles, uno en forma de torre y otro con un desarrollo en horizontal. Uno ubicado en un entorno urbano rodeado de muchos edificios, frente a otro situado en un espacio abierto y rodeado de naturaleza.

También se describirán las distintas estrategias que pudieron considerarse al diseñar cada uno de los proyectos escogidos.

Motivaciones profesionales y personales

Los dos edificios elegidos para analizar y comparar sus instalaciones en este Trabajo Fin de Grado: el **Centro Sainsbury de artes visuales**, de Norman Foster y el **edificio Lloyd's**, de Richard Roger, son dos obras relevantes del estilo arquitectónico High-Tech, que se caracterizan entre otros aspectos, por la utilización de la tecnología más moderna en los que las instalaciones aportan a ese estilo una de las herramientas más importantes para diseñarlos.

Al haber escogido dos modelos tipológicamente opuestos en cuanto a su estructuración, el uno horizontal y el otro vertical, se considera que su estudio va a permitir profundizar, partiendo de la confrontación del diseño diverso de sus instalaciones, en la batería de herramientas útiles para dar solución al reto de diseñar un edificio tecnológicamente tan avanzado.

Durante mis años de formación en la Escuela de Arquitectura de Valladolid he prestado especial interés al tema de las instalaciones, porque considero que su conocimiento va a suponer para el futuro profesional una herramienta esencial.

Desde mi punto de vista, las instalaciones en los edificios van a jugar un papel primordial, afectando de una forma definitiva a los diseños y a su composición.

Considero que el conocimiento y el análisis exhaustivo de las instalaciones de este tipo de edificios puede resultar enriquecedor y una herramienta valiosa para afrontar en la vida profesional, donde el diseño de soluciones a proyectos, de mayor o menor envergadura, precisen una respuesta desde el inicio del proyecto.

La utilización de los criterios que desplegaron Foster y Rogers entre otros arquitectos, situando las instalaciones como elementos de diseño en la arquitectura, ha ampliado sin duda los horizontes de esta disciplina.

A través de la comparación de dos edificios del mismo estilo, aunque de distintos autores de reconocido prestigio internacional, se pretende justificar que, con instalaciones correctamente integradas, se pueden obtener resultados arquitectónicos muy similares y de gran valor, utilizando la tecnología más sofisticada.

La apuesta por la exhibición de las instalaciones del edificio, pone de relieve la compatibilidad de estos diseños con las grandes ventajas que reportan las soluciones adoptadas en materia de ventilación, climatización, iluminación y otras instalaciones para alcanzar una calidad ambiental en sus interiores muy por encima de la media de otras construcciones, dando una imagen tremendamente espectacular desde el exterior.

Frente a una forma de actuar generalizada en la arquitectura en la que las instalaciones son embutidas de forma forzada en el diseño de multitud de edificios, quiero reivindicar la vía que han abierto estos dos edificios, acudiendo a la comparación de sus instalaciones, para resaltar el amplio abanico de posibilidades en el diseño de sus instalaciones acorde y a la vez pensadas para dar respuesta a unos magníficos diseños.

El peso de las instalaciones en la arquitectura actual ha pasado de ser escasamente simbólico a ser un aspecto fundamental, incluso a tener el protagonismo principal, como ocurre en las dos obras elegidas.

Cada tipo de instalación lleva al proyecto por un camino distinto, pero en ambos casos se logran objetivos similares. Se consigue con sistemas muy distintos, un grado muy alto de confort y calidad ambiental de sus espacios, gracias a la alta tecnología.

Tipos de Instalaciones

Las distintas instalaciones que requiere actualmente un edificio, debido a su complejidad, exigen un conocimiento adecuado de los diferentes elementos que las componen. Esta noción permitirá que la idea del proyecto se mantenga, teniendo en cuenta que la introducción de las instalaciones puede cambiar por completo la imagen pensada.

Hoy en día, el diseño de instalaciones se ha convertido en una especialidad, materia de la cual los arquitectos deben poseer una visión general. Una gran parte de los sistemas de instalaciones son redes de conductos que distribuyen fluidos o electricidad, redes que tienen unas condiciones que el técnico necesariamente debe conocer, y en todo diseño debe ofrecerse un gran cuidado a su integración en la forma. Estas redes se encuentran altamente prefabricadas, permitiendo instalaciones más fiables y sencillas de ejecutar.

Las canalizaciones se pueden plantear de dos maneras totalmente distintas, vistas o integradas dentro de las diferentes superficies.

Si las canalizaciones discurren vistas, lo que puede resultar económico y de fácil mantenimiento, requieren una cuidadosa ejecución y plantean problemas importantes a otros elementos constructivos relacionados con el ruido y la sectorización de incendios, en particular en el paso a través de divisiones y cerramientos. Las instalaciones vistas exigen una gran atención por parte del arquitecto. En caso de ser exteriores los problemas aumentan, pues requieren aislamiento y acabados que las protejan.

Si las redes se integran en las diferentes superficies, estas se tienen que "doblar". Esto hace necesario superficies ligeras y organizadas como tabiquerías de dos hojas, techos y suelos técnicos o establecer elementos exclusivos de distribución tales como núcleos técnicos.

Otro de los factores de gran importancia de las instalaciones es que estas requieren mantenimiento y renovación, pues sus plazos de vida útil son generalmente inferiores a los del edificio. Quizás se debieran concebir los edificios como complejos de piezas intercambiables, al menos en lo que a instalaciones se refiere.

En este trabajo solo hablaremos de sus principios de organización, y las relaciones con la forma arquitectónica y los sistemas constructivos que plantea cada red, para incorporarlas a la construcción y adecuarlas a sus principios de organización. A continuación, se resumirán algunos aspectos de las diferentes redes que afectan a su integración en la construcción.

Instalación de Agua Fría Sanitaria (AFS)

La instalación de AFS en una construcción está asociada con la totalidad de elementos técnicos y constructivos encargados de suministrar agua potable a presión y sin calentar desde una acometida hasta los distintos puntos de consumo del propio edificio. La temperatura de esa agua suministrada en el interior de los edificios suele oscilar entre 3 y 4°C por encima de la temperatura ambiente evitando su congelación. Hecho que justifica la denominación de esta instalación como suministro de Agua Fría.

Las redes de abastecimiento suelen estar bastante concentradas en torno a los cuartos húmedos, a pesar de haberse multiplicado en los últimos años el consumo de agua, y el número de aparatos que la consumen tanto en el espacio doméstico, como en el público.

Uno de los factores fundamentales para el correcto funcionamiento de la red de AFS es la presión, que permite que el agua salga por las distintas salidas y que tenga la fuerza necesaria cuando llega a cada aparato.

El experimento de los vasos comunicantes ha explicado desde antiguo cómo funciona el suministro de agua corriente, sirviendo de base para enunciar el principio de Pascal, cuando la presión y la gravedad son constantes en todos los recipientes. Actualmente sigue vigente la utilización del Principio de Pascal, al analizar la presión aplicada a un fluido estático, aunque puede generalizarse al campo de la dinámica de fluidos.

Cuando cambia la presión en un fluido, este circula a través de los conductos. Si aumenta la presión, el fluido se elevará, y si la presión se reduce, la altura del líquido se reducirá. Lo mismo ocurre en el caso contrario, a mayor altura menor presión del agua y cuando la altura es más baja mayor será la presión. La instalación requiere de la continua circulación del agua y por ello las propias cañerías, tuberías y tramos de la red reducen la presión al contactar el líquido con las paredes interiores de las tuberías. Llegando a provocar situaciones de pérdida de presión o pérdida de carga, motivadas porque, a mayor distancia recorrida y a mayor número de cambios de dirección o velocidad superados, más presión pierde el agua en su recorrido.

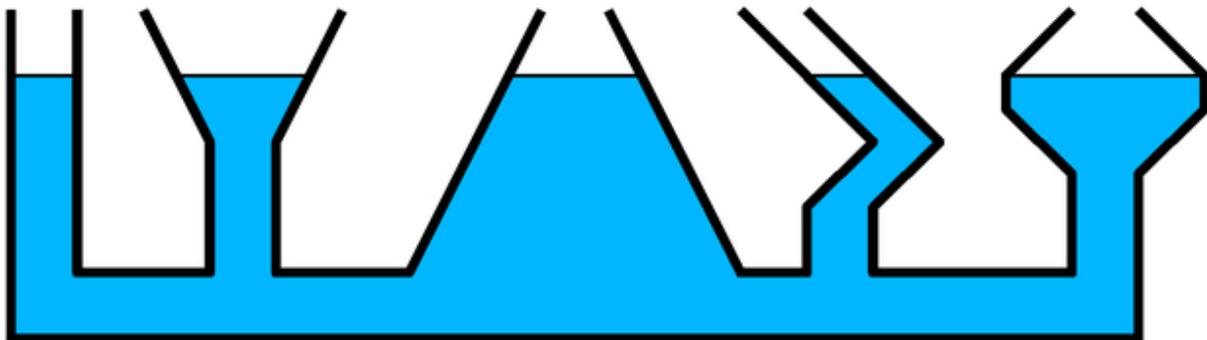


Ilustración 8 Vasos comunicantes (Wikimedia Commons. (17 de septiembre de 2004). Communicating vessels [Ilustración]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Communicating_vessels.png)

Para ajustar la presión de cada tubería habitualmente se utilizan grupos de presión y válvulas reductoras. Los grupos de presión son bombas de impulsión que incrementan la presión del agua que les llega haciendo que el agua pueda alcanzar mayor altura tras su paso por el grupo de presión. Ajustar la nueva presión dependerá de las características de cada tubería (material, diámetro, rugosidad, etc.) que deben tenerse muy presentes con el fin de evitar que la nueva presión del agua haga estallar la red de cañerías.

Impedir esa eventualidad es uno de los motivos por los que se colocan válvulas reductoras de presión, es decir, una de sus funciones es la de evitar presiones excesivas en la red de tuberías. Además, las válvulas reductoras también sirven para limitar la presión de uso en los puntos de consumo, aunque esta solución sólo es válida para alturas de 10 a 30 metros.

Las distribuciones verticales, por su reducida sección, pueden alojarse en canalizaciones cómodamente integrables en los cerramientos, formando columnas. Por otra parte, para resolver la distribución horizontal se requiere un doble techo o un recrecido del suelo, que puede limitarse al cuarto húmedo, siendo el segundo caso el más complicado para realizar el registro.

Debido a las molestias que las redes de abastecimiento pueden ocasionar, derivando en daños por fugas o condensaciones, los ruidos que producen, las incompatibilidades con otras redes, etc., este tipo de instalaciones deben ser renovables, accesibles y lo más concentradas que sea posible. Para paliar esos inconvenientes es fundamental elegir el emplazamiento idóneo de los cuartos húmedos, favoreciendo disposiciones centralizadas, de modo que se minimice la distribución horizontal.

Instalación de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

En una edificación, la instalación de Agua Caliente Sanitaria se puede describir como el conjunto de elementos técnicos y constructivos que se encargan de llevar agua potable caliente a presión, que va desde un calefactor hasta todos los puntos de consumo de ACS del propio edificio. La temperatura del agua que circula suele estar entre los 55°C y los 70°C, en buena medida debido a la necesidad de conseguir destruir la bacteria *Legionella pneumophila*.

Para bajar la temperatura de este tipo de agua, al resultar tan elevada para el consumo directo, en los puntos de uso el ACS se mezcla con AFS para que el agua alcance una temperatura adecuada para el consumo entre los 30 y los 45°C, siendo considerada ACS a partir de los 38°C. Este movimiento del agua caliente provoca, al desplazarse a través de una tubería o válvula que el líquido tenga pérdidas por presión debido al contacto con las cañerías, pero también supone la pérdida de energía térmica en su transporte debido a la transmitancia térmica de los materiales que constituyen las redes.

Debido a las peculiaridades de esta red hay que tener en cuenta, cuando se realiza el diseño, la dilatación de los materiales que van a llevar el fluido, pues debido a la diferencia de temperaturas estos varían su dimensión e incluso su forma, por lo que es necesario la implantación de ciertas medidas, como piezas especiales o ciertas tolerancias en las distancias para evitar posibles fallos en la instalación.

Para evitar tener que colocar grupos de presión hay que intentar reducir en lo posible las longitudes de las tuberías y los cambios de dirección, al dimensionar la instalación. Sin embargo, un punto clave a este respecto es la diferencia de cota que el fluido deba salvar. La regulación de la presión es muy importante porque la red de suministro de ACS es una réplica de la red de AFS, con otras particularidades más tecnificadas. Según la distribución elegida (individual, comunitaria o por distrito) surgirán unos reguladores u otros, pero todos cumplen la misma función que los elementos homólogos en la instalación de AFS asegurando que el conjunto del sistema funcione de manera eficiente.

Tradicionalmente, el sistema individual es el más empleado en la instalación de ACS. En el mismo, cada unidad de uso recibe el suministro de AFS y mediante el suministro de un vector energético o combustible se calienta el agua para ACS y, normalmente, también para calefacción.

Tanto en el sistema por distrito como en el comunitario, el procedimiento de elevación de ACS hasta las plantas superiores es idéntico al proceso de elevación de AFS. En ambos casos se opta por la colocación de una sucesión de equipos de elevación o bombas de impulsión, que aumentan la presión para poder alcanzar la siguiente planta técnica, en la que se encuentra otro grupo de presión.

El inconveniente de este planteamiento (calderas comunitarias o sistema por distrito) es que se triplica la cantidad de tuberías. En los calentadores individuales solo hay que elevar AFS al generarse el ACS en cada unidad de consumo, mientras que en los otros métodos hay que añadir junto a la red de AFS una red de impulsión de ACS y otra de retorno de ACS.

Un factor que tiene gran importancia a la hora de realizar el trazado de ACS es la distancia de la instalación, pues si esta se vuelve muy grande será necesaria la instalación de recirculadores. Este sistema consiste en una serie de bombas de agua que mantienen el fluido en movimiento y permite tener el servicio de ACS de forma inmediata.

Un elemento fundamental en las instalaciones de ACS actuales son los acumuladores que permiten atender una demanda simultánea más grande y una mejora del rendimiento de la instalación generadora de calor.

Instalación de Saneamiento

La red de evacuación de aguas ofrece variantes tanto en horizontal como en vertical, para dar respuesta a la necesidad de canalizar dichas evacuaciones del saneamiento y de las aguas pluviales. Las aguas residuales son las recogidas de lavabos, inodoros, fregaderos o sumideros y se pueden diferenciar entre aguas negras o aguas grises en función del nivel de contaminación. Su selección y clasificación se realizará según el tipo de equipo que se conecta a la red de saneamiento.

Las aguas negras son el grupo de aguas residuales derivadas de la intervención humana, que modifica su composición natural debido a los desechos orgánicos y químicos, como heces y orina. Por otro lado, las aguas grises son aguas residuales provenientes de duchas, bañeras y lavabos y éstas presentan un bajo contenido en materia fecal.

Las aguas de precipitación no requieren depuración y pueden llegar a poder incluso a reutilizarse para otros fines como agua no potable, por lo que actualmente en los edificios se realiza una red separativa de estos dos tipos de aguas, y dependiendo de la red urbana disponible esta se vierte a una red unitaria o separativa. Este sistema separativo puede ser realizado separando las aguas residuales en aguas negras y aguas grises. Esto posibilitaría utilizar las aguas grises como una fuente de agua no potable tras el paso de estas aguas por una instalación de filtrado.

Si bien todos los tramos son necesarios para realizar esta labor, hay un mecanismo que tiene especial importancia. El cierre hidráulico supuso un antes y un después en el sistema de saneamiento permitiendo que los aparatos sanitarios se integraran de manera más cómoda en la distribución de los edificios. Su aplicación principal es impedir que los malos olores del interior de las cañerías se difundan al interior de los edificios haciendo posible que una bajante pueda ser empleada por varias unidades de consumo diferentes al no tener que oler los desechos de los otros usuarios.

A pesar de su simplicidad y eficacia, la evaporación del agua del propio cierre hidráulico supone un importante problema. El uso de los diferentes aparatos hace que el agua contenida dentro del cierre se renueve manteniéndose siempre dentro de unos límites mínimos. La no utilización de los mismos en un tiempo prolongando puede causar la evaporación del agua que produce el cierre hidráulico, produciendo la continuidad entre los focos de acumulación de sustancias y depósitos de malos olores y los espacios ocupados, que se pueden llegar a percibir dentro del edificio. Para solventarlo es necesario crear un sistema de ventilación. El mecanismo más sencillo es dar continuidad a las bajantes hasta la parte superior. De esta manera los gases acumulados dentro de las tuberías pueden ser expulsados hacia el exterior del edificio.

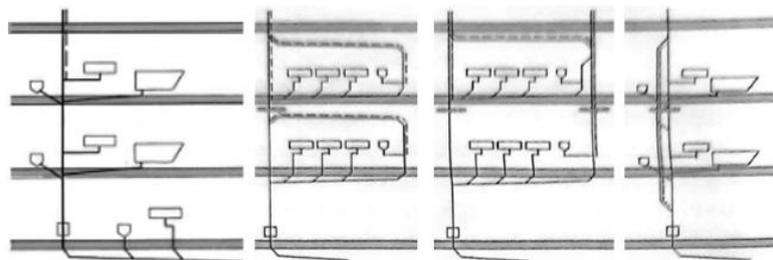


Ilustración 9 Distintos sistemas de ventilación de saneamiento para evitar malos olores (sistemas primarios, secundarios directos e indirectos y terciarios) (Wellpot, E. (2009). Distintos sistemas de ventilación de saneamiento para evitar malos olores (sistemas primarios, secundarios directos e indirectos y terciarios) [Ilustración]. En Instalaciones en los edificios (Gustavo Gili ed., pp. 385–386).)

El sistema más extendido para la evacuación de saneamiento es el de la red horizontal reunida en un bote sifónico, que opta por una solución sencilla al situarse suspendida del forjado. Esta red consiste en una espina horizontal de conductos que se completa con una canalización de ventilación y una protección sifónica, además de las bajantes. Esa fórmula, además de la dificultad de registro, exige un recrecido importante para empotrar la red en el forjado.

La opción vertical más simple resuelve la red por la pared, que queda oculta en la doble hoja, empleando sifones individuales. Otras posibilidades son los elementos prefabricados por aparatos o conjuntos con sus instalaciones integradas, las centralizaciones prefabricadas, etc.



Ilustración 10 Ejemplo de baño prefabricado. (Tectónica. (s. f.). Modelo Desirade, con accesibilidad para sillas de ruedas. [Fotografía]. Tectónica. <https://tectonica.archi/materials/banos-prefabricados-en-grp/>)

La colocación de las bajantes de la red de pluviales es siempre un problema, sobre todo en los grandes recintos. Una solución en este caso es alojarlas en el interior de los cerramientos. Una invención sorprendente son las redes por vacío, que permiten recoger el agua de cubierta en una canalización horizontal de sección mínima y pendiente cero, con bajantes también de reducida sección que se pueden colocar muy separadas.

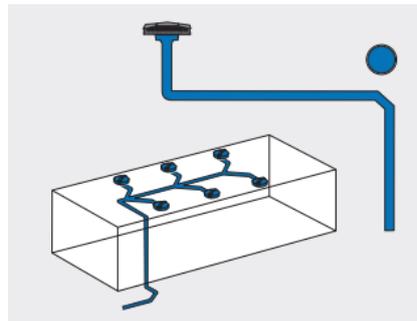


Ilustración 11 Funcionamiento de la instalación de vacío (Geberit. (2018). Evacuación sifónica de aguas pluviales Geberit Pluvia. [Ilustración]. En Geberit Pluvia. Let it Rain. La mejor gestión de aguas pluviales. (Catálogo Geberit Pluvia ed., p. 4.)

El sistema de evacuación se basa en la gravedad, que funciona como fuerza de impulsión del agua y los residuos que esta lleva. De esta manera todas las aguas son conducidas mediante bajantes verticales a la red de colectores, que se sitúa por debajo de la planta baja, ya sea con colectores enterrados o albañales suspendidos si debajo hubiera un sótano. Desde ahí, generalmente se deriva al alcantarillado público, que lo conduce a una depuradora colectora municipal que trata el agua para finalmente, verterla a las aguas superficiales como los ríos.

Instalación de Climatización y Ventilación

Instalación de calefacción y refrigeración

Los **sistemas de calefacción y refrigeración** son aquellos aparatos cuyo objetivo es conseguir unas condiciones de temperatura adecuadas para la comodidad y la calidad del aire interior.

La **calefacción por agua** con radiadores metálicos es un sistema tradicional que sigue siendo muy aceptable hoy en día, aunque en la mayor parte de edificios de gran tamaño suele ser más confortable y económico el uso de sistemas basados en aire o sistemas combinados. Las redes de distribución, en anillo, en red ramificada, en malla o de tipo mixto, son similares a las de abastecimiento de agua, pero a la altura del pavimento, donde normalmente se emplazan los emisores. Las canalizaciones pueden dejarse vistas formando un rodapié, puenteando las puertas cuando sea necesario, o alojarse en dobles muros y ocultarse bajo el pavimento, con un recrecido suficiente o un suelo elevado.

Los emisores son más eficaces integrados en el cerramiento, como por ejemplo en nichos murales o con una distribución perimetral por zócalo, de esta manera se logra una transmisión regular por convección a todo el espacio.

La **calefacción con radiadores eléctricos** tiene las ventajas de sencillos circuitos eléctricos, limpieza, posibilidad de emisores de todo tipo y mayor flexibilidad de colocación, pero a costa de tener un menor rendimiento y un mayor valor económico. Los sistemas eléctricos son interesantes cuando la calefacción es muy intermitente o no implica un gran coste.

Los **sistemas de superficie radiante**, se basan en sistemas de calefacción a baja temperatura que requieren una mayor superficie emisiva. Estos están formados por sistemas integrados de paneles, normalmente emplazados bajo el pavimento. Requieren un aislamiento bajo ellos y un recrecido suficiente para alojar las canalizaciones y actuar como acumulador térmico.

Los sistemas con agua fría son similares a los anteriores, normalmente son emplazados en el techo, de modo que el aire frío sea descendente. Estos sistemas se emplean hoy como alternativa a la refrigeración mecánica, suspendidos del forjado y ocultos por un doble techo.

Instalación de solo climatización

La **climatización** como instalación de una edificación es un conjunto de elementos técnicos y constructivos que se encargan de acondicionar un espacio mediante la consecución de unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza de aire adecuadas. Los sistemas más básicos se limitan a calentar o enfriar el aire, sin renovación del mismo, y la instalación no es muy diferente de una de calefacción: las redes son conductos de agua, aunque con aparatos más voluminosos, llamados **fan-coils**. También pueden incluirse aquí los sistemas de calefacción por aire caliente, mediante conductos que distribuyen el aire desde la central, que es una simple caldera.

Instalación de solo ventilación

En una edificación, la instalación de **ventilación** abarca el conjunto de elementos técnicos y constructivos encargados de la renovación eficiente del aire existente, mediante extracción o inyección de aire, con el objetivo de asegurar la calidad y la salubridad del aire interior. Los sistemas de tratamiento de aire implican una nueva reflexión en el diseño, no sólo por tratarse

de sistemas de gran tamaño y complejidad técnica, sino porque plantean una interrelación mucho más profunda con el diseño arquitectónico que el resto de las redes.

La ventilación pasiva era la modalidad extendida hasta la segunda mitad del siglo XX. El mecanismo de ventilación se resolvía utilizando ventanas o rejillas para que entraran en el edificio las corrientes de aire.

Actualmente, la ventilación se puede realizar de manera mecánica mediante inyectores de aire que toman aire del exterior y lo introducen en el interior del edificio y lo filtran. Al tiempo extraen el aire contaminado del interior y lo expulsan al exterior. Este proceso mecánico, para reducir el coste de la climatización y aumentar la eficiencia energética, se puede complementar con un sistema de intercambio de calor para precalentar el aire introducido.

Instalación de climatización y ventilación

Los equipos actuales combinan los sistemas de climatización y de ventilación. Estos emplean **unidades de tratamiento de aire** para regular los caudales de ventilación del aire dirigidos a conseguir una renovación adecuada del aire de un establecimiento. La absorción y expulsión del aire permite al aparato filtrar las impurezas suspendidas, y además corrige la temperatura y la humedad del aire para garantizar las condiciones indicadas para el bienestar. Este aire tratado será distribuido desde el climatizador a los diversos recintos, desde donde retorna para volver a ser tratado.

Estos sistemas que unen climatización y ventilación pueden incluir sistemas de recuperación de calor. Este accesorio lo que permite es tomar el aire del interior que ya está tratado y antes de ser expulsado aprovechar el calor de este para reducir la aportación necesaria de las máquinas.

Otros sistemas se basan en la combinación de la ventilación y renovación de aire con sistemas de enfriamiento y calefacción mediante techos y suelos radiantes.

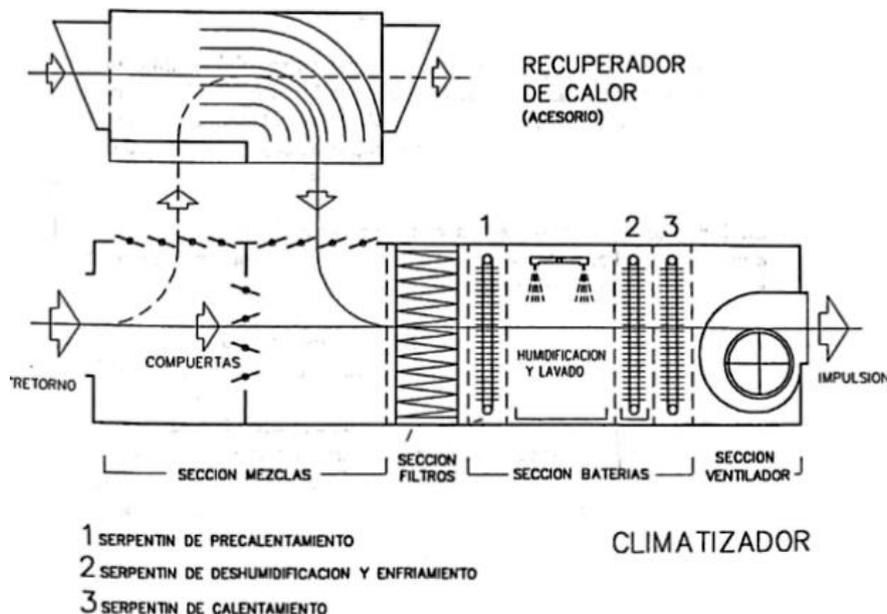


Ilustración 12 Esquema de sistema de climatización mediante unidad de tratamiento del aire (Feijó Muñoz, J. (2000). Figura 25. Climatizador con posible accesorio de recuperador de calor. [Ilustración]. En *Instalaciones de Climatización en la Arquitectura* (Ediciones Universidad de Valladolid ed., p. 69).)

Componentes

Uno de los elementos principales de la instalación de climatización son los sistemas generadores térmicos. Estos sistemas son los que se ocupan de intercambiar el calor entre la máquina y el fluido caloportador y pueden tanto aportar calor para calefactar como extraerlo para refrigerar.

Dentro de los sistemas que aportan calor están las calderas. Estas son aparato dotado de una fuente de calor donde se calienta un fluido y que puede tener varias aplicaciones aparte de la calefacción como producción de ACS. La forma de aportar calor a este fluido puede ser utilizando un combustible, que puede ser gas natural, gases licuados derivados del petróleo, o biomasa; o utilizando electricidad. Esta última es muy poco eficiente pues el consumo energético es muy superior al de otro tipo de suministros, aunque si la demanda va a ser reducida es recomendable su uso gracias a su versatilidad en su colocación.

Los grandes inconvenientes del uso de sistemas de calefacción con combustibles es la necesidad del uso de chimeneas para la expulsión del humo generado en la combustión del material y el requisito de puntos de almacenaje de los combustibles.

Los sistemas de refrigeración por su parte se basan en el mecanismo de cambio de fase, aprovechando el calor latente de un fluido. Estos sistemas normalmente utilizan como energía la electricidad, comprimiendo el fluido, aunque también puede utilizarse gas, que en lugar de comprimir el fluido lo calienta para que este evapore y absorba calor. Los sistemas de gas son más ineficientes que otras soluciones, aunque se han empleado cuando el coste del gas era muy bajo.

Como sistema que soluciona ambos problemas, calefacción y refrigeración. Las bombas de calor se basan en los sistemas de compresión del fluido que se han explicado antes para los sistemas de refrigeración, pero en este caso se usa el proceso contrario para también producir calor.

Todos los sistemas que componen los equipos de climatización y ventilación ocupan grandes dimensiones: unidades de tratamiento de aire, terminales de tratamiento e impulsión, redes de conductos de agua y de aire, torres de refrigeración, ventiladores y cuartos de calderas entre otros, que además de su gran tamaño, ocasionan problemas de ruido, servidumbres, etc. Esto se debe a que la capacidad de cesión de calor del aire es menor que la de otros fluidos debido principalmente a que el aire se encuentra en estado gaseoso, pues la cesión de calor se realiza a partir de la masa del fluido y no de su volumen. Esto provoca que se aumente el tamaño de las instalaciones que tratan aire pues no ocupa lo mismo un kilogramo de aire (780 litros) que un kilogramo de agua en estado líquido (1 litro).

Los aparatos de climatización se pueden colocar en varios lugares del edificio. El tamaño del equipo estará en función del número de espacios a los que vaya a dar servicio, circunstancia que influirá en su ubicación. Para poder alojar estos equipos en el falso techo hay que aumentar la altura libre de las plantas, pues generalmente la altura libre habitual no es suficiente para ello.

Sistemas de acondicionamiento

Existen diversos tipos de sistemas de acondicionamiento en función de las prestaciones que ofrecen, y a la hora de plantear el proyecto la elección del sistema más adecuado será determinante. La clasificación de estos sistemas se puede concretar en cuatro grupos: de expansión directa, todo-agua, todo-aire y aire-agua.

Los **sistemas de expansión directa** son dispositivos autónomos completos que se colocan en el espacio que se pretende acondicionar. Consiste en una unidad compacta que admite la opción de condensación por aire o por agua, frente a los otros que van a requerir torre de refrigeración. También se puede recurrir a la opción de sistema partido, en el que el equipo exterior se conecta con la unidad interior exclusivamente por el conducto del refrigerante (split o partido). En todos los casos, la única conexión necesaria es la eléctrica. Los equipos autónomos ofrecen la opción de conectar a una red de conductos de impulsión, con el retorno conducido o por plenum, pudiendo incluso llegar a disponer de renovación de aire.

Los **sistemas todo-agua** disponen de una unidad central de enfriamiento de agua (que es el medio enfriador) que se encuentra conectada a unos equipos terminales dotados de una batería (serpentín) y un ventilador. Estos elementos se denominan batería-ventilador o fan-coil. Cada fan-coil tiene su propia toma de aire exterior, aunque las tomas individuales de aire pueden eliminarse si se centraliza el suministro de aire de ventilación. En este caso el aire suministrado se impulsa en los mismos fan-coils o por un circuito independiente en la habitación a acondicionar. La referida unidad central puede incluir además una caldera y distribuir agua caliente para calefacción.

Los **sistemas todo-aire** realizan la mezcla entre el aire exterior (que tiene una toma directa) y el aire recirculado (que llega a ella por una red de conductos o también directamente) a través de una central que trata el aire y lo impulsa por una red de conductos hasta el espacio a climatizar. La posibilidad de impulsar aire en diferentes condiciones a las distintas zonas, se logra con sistemas de doble conducto o recalentando el aire por medio de una batería situada en el conducto. Otra opción es incorporar fan-coils terminales, que reciben el aire tratado por la central y pueden recalentarlo, realizar la mezcla con aire recirculado (bypass) o mezclar el aire en los sistemas de doble conducto.

En los **sistemas aire-agua** el equipo central de tratamiento distribuye el aire y el agua, hasta elementos terminales llamados inductores, en los que el aire se trata y recircula. El aire inicialmente tratado por la central pretende sólo controlar la humedad y renovación, con un mínimo calentamiento o enfriamiento, por lo que se reduce a un 25% del tratado por un sistema todo-aire, y además circula a alta velocidad lo que reduce mucho los conductos.

Dichos inductores son cajas con una válvula y unas baterías de agua que corrigen la temperatura y aumentan la velocidad de impulsión, recibiendo aire pretratado. Como son estáticos, no producen ruido.

Las aplicaciones de los diferentes sistemas dependen de muchos aspectos como el coste, el uso, la forma o los requisitos del aire entre otras. Algunas cuestiones importan ahora por la relación con el espacio y su construcción.

Para lograr un barrido homogéneo del volumen de aire hay que emplazar adecuadamente impulsiones y retornos. Si la altura de piso no es excesiva, la solución más extendida es la impulsión por conductos en techo, con diferentes alternativas para el retorno. Una característica particular del aire caliente es que este tiende a estratificarse más cuando este se impulsa desde el techo, por lo que se suele acudir a sistemas auxiliares para mejorar la eficiencia como por ejemplo usando suelos radiantes.

Las soluciones típicas para el trazado de climatización son el uso del doble techo y las instalaciones vistas, como en los pabellones deportivos o recintos comerciales, pero en los mejores diseños los conductos se integran en la estructura.



Ilustración 13 Integración de los conductos de impulsión de aire en la estructura (Aeropuerto de Barajas) (Wikimedia Commons. (12 de febrero de 2006). Terminal 4 del Aeropuerto de Madrid-Barajas. Rogers-Lamela,2004 [Fotografía]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Barajas_T4_03.JPG)

El doble suelo es una alternativa excepcional en caso de no querer usar el cielorraso, aunque surge un problema que consiste en que debido a la baja velocidad la impulsión los conductos requieren mayor sección. Es una solución ya frecuente en el espacio de oficinas donde el aire climatizado se integra en el suelo junto a las demás instalaciones técnicas.

Un sistema de unidades terminales siempre es más flexible y permite reducir la sección de conductos, pero plantea un nuevo problema, alojar los aparatos en el espacio interior. Principalmente se emplean en recintos de menor escala, emplazados en el techo o integrados en el cerramiento. Estos sistemas permiten además una regulación individualizada, lo que resulta un plus para este tipo de distribución.

En ocasiones la mejor opción es combinar varios tipos de sistemas a la vez. Una solución típica es disponer un sistema centralizado con renovación de aire y conductos en la zona central del espacio, con un sistema perimetral de fan-coils asociado al cerramiento. Estos sistemas combinados permiten tratar el espacio de acuerdo a sus cargas térmicas, especialmente en la proximidad del cerramiento, incluso llegando a aplicar sistemas diferenciados por fachadas de diferente orientación y necesidades de regulación.

Instalación de Electricidad

La instalación de suministro eléctrico de una edificación comprende los elementos técnicos y constructivos encargados de aportar un suministro ininterrumpido de corriente alterna, desde una acometida hasta los puntos de consumo eléctrico del propio edificio.

Casi la totalidad de edificaciones que se proyectan actualmente no se conciben prescindiendo del suministro eléctrico, que se ha convertido en esencial, debido a que la inmensa mayoría de las demás instalaciones requieren directa o indirectamente de un suministro eléctrico para poder realizar su función adecuadamente. Resulta imprescindible en los sistemas de iluminación, de telecomunicaciones, etc. pero también es necesario para que funcionen ascensores y otros elementos de transporte vertical, para el funcionamiento de calderas y grupos de presión, para los sistemas de intercambio de calor, para la refrigeración, etc.

Mantener la diferencia de voltaje entre las fases y entre ellas y el neutro constituye el mayor desafío en esta instalación. En el caso de España, lo habitual es que en Baja Tensión la diferencia de voltaje entre las fases sea 400 V y entre cada una de las fases y el neutro, esa diferencia pase a 230 V. Para resolver dicho problema basta con no colocar fusible en el neutro. Con esa estrategia tan sencilla se logra que el neutro siga manteniendo sólo 230 V de diferencia de tensión con las otras fases, en caso de defecto, situación que se produce habitualmente en el funcionamiento de los edificios.

El motivo de dicha situación obedece la mayoría de las veces, a que la potencia necesaria para el funcionamiento de todo un complejo es suministrada directamente en baja tensión, porque el consumo no es muy elevado y las pérdidas de tensión son menores. Sin embargo, existen algunas edificaciones que requieren de un consumo mayor, en momentos puntuales. En estos casos la caída de tensión es más pronunciada. Una solución a este escenario es suministrar al edificio la corriente en Media Tensión. Luego, en el interior de la edificación hay que reducir la tensión a Baja Tensión utilizando algún transformador. Este sistema es el utilizado con generalidad en los edificios en altura.

Las redes eléctricas son menos intrusivas que las de agua cuando la demanda no es excesiva, por su reducida sección. Sin embargo, abarcan más extensión y se ramifican, pues tienen que alcanzar casi todos los puntos del espacio. La multiplicación de mecanismos requiere generalmente una gran disponibilidad en el plano horizontal, en el vertical o en ambos.

Las canalizaciones generales se alojan en conductos accesibles que discurren por espacios comunes, y normalmente son fáciles de integrar en las divisiones. Desde esos puntos, y a partir de los cuadros de distribución, se ramifican y circulan alojadas en el interior de tubos de protección. Su registro puede resolverse mediante cajas de derivación, desde las que puede accederse al cableado.

La solución más extendida para el espacio doméstico es alojarlas en la pared, empotrándolas mediante rozas si es cerámica o alojándolas en una tabiquería doble. También son frecuentes las distribuciones por techo, más limpias con un cielorraso que forme una mínima cámara.

Estas redes se caracterizan por sus exigencias de flexibilidad, siendo las canaletas vistas un elemento de uso extendido porque incorporan los mecanismos de toma, y pueden emplazarse a modo de cornisa o rodapié, con la ventaja de disponer de tomas en cualquier punto de la pared. No obstante, a partir de cierto nivel de demanda se ha generalizado la construcción con doble suelo. Este generalmente será registrable y modular, con elementos de toma incorporados en las baldosas.

Otra particularidad inherente a estas redes es la multitud de accesorios que implican, como los de comunicaciones y datos, regulación y control, megafonía, detección, etc. La red de datos se caracteriza, por el momento, por una gran densidad de cableados, además de nuevos cuadros de mando y otros elementos (SAIS, etc.), con la consiguiente proliferación de espacios o recintos independientes para alojarlos. En consecuencia, hoy es frecuente recurrir a un sistema integral de techo y suelo que incorpore la solución a todo este complejo de terminales.

Instalación de Iluminación

Un aspecto destacado dentro de la instalación eléctrica es la disposición de la iluminación, que comprende los elementos necesarios para dotar al edificio de la luz adecuada, para que en cada espacio del mismo puedan realizarse las funciones para las que se diseñó.

La radiación visible que emiten las distintas lámparas responde a diversas técnicas. La bombilla incandescente y los halógenos utilizan la incandescencia de los metales, mientras que las lámparas de descarga emplean la ionización de gases para producir esa incandescencia. Actualmente se han generalizado las lámparas LED que aprovechan la electroluminiscencia de los diodos emisores de luz.

Esta instalación, como se ha indicado, no agrupa sólo las luminarias, sino que también incluye mecanismos de control como son los interruptores y conmutadores. La relevancia del sistema no reside sólo en sus mecanismos de control. El diseño, cálculo y colocación de las fuentes de luz es también determinante. Se deben analizar el flujo y la eficacia luminosa de las lámparas, la iluminancia que reciben las diversas superficies de trabajo porque es diferente dependiendo del empleo de la sala y la luz que puede percibir un usuario.

Este tipo de cálculos es trascendental para acondicionar lumínicamente los espacios, puesto que no se ilumina igual una clase, un salón de actos, un almacén o un pasillo.

Dependiendo de la tipología del edificio, las necesidades de iluminación artificial varían. En superficies muy extensas la iluminación artificial se vuelve más importantes que en los edificios con menor superficie por planta, pues de inicio cuanto menor es la superficie mayor proximidad habrá a la fachada. Por el contrario, los edificios con gran superficie de planta se pueden favorecer de la luz cenital si es la última planta, pero en plantas inferiores, la iluminación de la parte central y los espacios cerrados tendrá que ser principalmente artificial.

Instalaciones de edificios en altura

Un edificio de pisos demanda una gran aportación energética para dar cobertura a su acondicionamiento ambiental y a los servicios que precisa. La mayor parte de la energía requerida puede captarse del exterior mediante un diseño adecuado, pero otra parte tendrá que ser suministrada o producida por el edificio, transformada y distribuida mediante sistemas de conductos.

Los sistemas necesarios para instalaciones van a tener una gran repercusión en el funcionamiento del edificio y además en este momento suponen una parte importante del presupuesto, llegando a alcanzar el 50% del total en muchos casos. Por ello, la elección de sistemas acordes a la forma y al programa de la edificación es primordial, así como una clara planificación del conjunto de las conducciones desde el contacto con el terreno, pues las posibles interferencias con la construcción son múltiples.

Al ser grandes edificios las demandas son acordes a su tamaño reduciéndose los tipos de instalaciones que se pueden emplear. Una forma de reducir su tamaño y abaratar su coste es suponer que el edificio nunca se va a usar a máximo rendimiento.

El mayor desafío de esta tipología es la verticalidad, rasgo que va a suponer la mayoría de las veces un hándicap que los arquitectos tienen que superar para poder crear ambientes agradables y sanos, sin perder la idea de la construcción y su funcionalidad.

Esta verticalidad supone entre otros retos una diferencia de presión muy grande entre el punto más alto y más bajo del edificio y que va a influir de gran manera en como se van a distribuir los fluidos en el edificio.

Instalación de Agua Fría Sanitaria (AFS)

Uno de los retos a los que se enfrenta la instalación de AFS en edificios en altura es la **pérdida de presión motivada por la elevación**. Para solventar ese inconveniente lo lógico sería aumentar la presión hasta conseguir que llegase a la última planta. Sin embargo, hay que tener presente que una decisión en ese sentido también podría constituir un error, porque un incremento de la presión de forma excesiva puede provocar fugas y el mal funcionamiento de la instalación en las plantas inferiores.

En alturas superiores a los 25 metros, las tuberías de las plantas inferiores soportan mucha presión después de pasar por las bombas de impulsión, aumentando el riesgo de fugas y mal funcionamiento, mientras que las tuberías de las plantas superiores apenas tienen presión suficiente para cumplir los requisitos mínimos de presión en los puntos de consumo.

Una solución para evitar esa incidencia en los casos de alturas de 10 a 30 metros es la colocación de válvulas reductoras de presión, que además de impedir presiones excesivas en la red de tuberías, también sirven para limitar la presión de uso en los puntos de consumo.

Teniendo en cuenta que los grupos de presión sólo pueden elevar hasta un límite la presión del agua, y dado que las cañerías tienen una presión máxima de uso, se ofrecen varias fórmulas para corregir el problema y poder abastecer de agua a los edificios de gran altura.

La solución más común a este problema es recurrir a la colocación en serie de varios grupos de presión, para que resulte eficiente.

Dicha solución, aunque es eficiente, provoca otro inconveniente. Al no poder estar agrupados en el mismo nivel las bombas y los depósitos de agua, se hace necesario incluir espacios específicos para los grupos de presión en varias de las plantas de los edificios en altura. Esta circunstancia, unida a las soluciones planteadas para otros sistemas de instalaciones, derivó en la agrupación de la maquinaria en una serie de plantas especialmente diseñadas para instalaciones, generando de esta manera la denominada actualmente planta técnica.

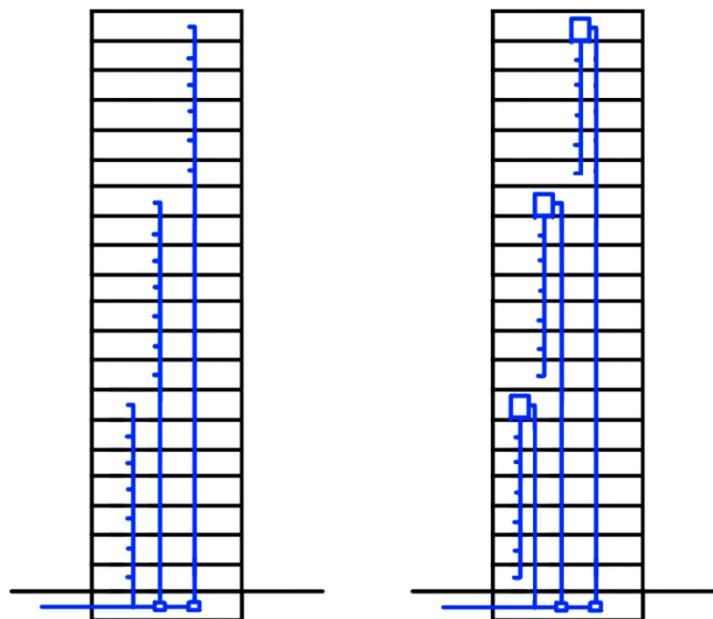


Ilustración 14 Diagrama de suministro de AFS utilizando solo grupo de presión y grupos de presión con depósitos en plantas técnicas. (Elaboración propia del autor)

Un rasgo común en los edificios en altura es el aprovechamiento de la **agrupación de las instalaciones en plantas técnicas** para dividir el edificio en sectores y grupos de plantas, logrando una división que permite realizar el suministro de AFS a cada agrupación de plantas, desde la planta técnica más cercana.

Esa agrupación de instalaciones consigue que el edificio en altura se acabe simplificando totalmente, logrando una especie de sucesión de instalaciones “tradicionales”. Es decir, cada grupo de plantas actúa como un edificio independiente a nivel de suministro de AFS teniendo cada una su propia instalación, análoga a la instalación existente en los edificios de pequeña y media escala.

Otra opción es plantear un gran equipo de bombeo en la parte inferior, llevando el agua de forma escalonada, no siendo necesario grandes secciones, pero si grandes válvulas y materiales resistentes a las altas presiones en las zonas bajas del edificio.

Dentro de lo posible, el diseño de las instalaciones de AFS debe concentrarse en unas áreas donde se organizan las redes en otros espacios independientes y superpuestos, con depósitos intermedios para reducir la presión. En general, resulta interesante agrupar las áreas húmedas en torno a las canalizaciones verticales, para minimizar los recorridos horizontales de las redes. Si sobreponemos los cuartos húmedos, se pueden realizar las instalaciones descolgadas del forjado, limitando a estas áreas húmedas los dobles techos y reduciendo pérdidas de altura en ese nivel, lo que permitirá descartar la eliminación de plantas.

Otra necesidad de la instalación de AFS es la colocación de calorificación para evitar condensaciones superficiales, reducir el riesgo de congelación y calentamiento con temperaturas extremas.

Instalación de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

El desafío al que se enfrenta la instalación de ACS va a depender de que esa instalación sea individual o centralizada y de la potencia de las calderas. Tradicionalmente, el sistema individual de gas es el más empleado en la instalación de ACS. En el mismo, cada unidad de uso recibe el suministro de AFS que calienta el agua mediante una provisión de material combustible y, habitualmente, también para calefacción.

Los edificios en altura evitan este sistema puesto que requiere introducir materiales explosivos e inflamables en un edificio muy sensible, con mayor dificultad de evacuación y con grandes riesgos en caso de emergencias. Esta circunstancia hace que en los edificios en altura se elijan los sistemas de calentamiento comunitario o por distrito. En el caso de que la instalación de calentadores sea centralizada o por distrito, el problema a solventar está relacionado con la presión y es el mismo que el planteado para la instalación de AFS, pero a esta instalación se le suman las pérdidas de energía por calor.

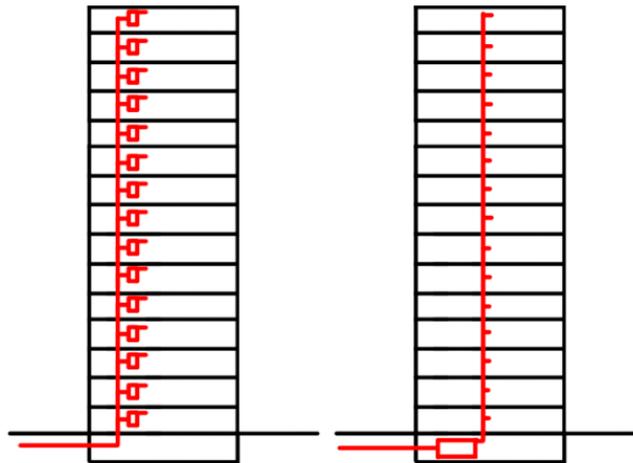


Ilustración 15 Diagrama de suministro de ACS individual y comunitario. (Elaboración propia del autor)

El sistema de ACS que se diseña en los edificios en altura se realiza con criterio similar al del suministro de AFS. Una planta técnica da servicio a un grupo de pisos que va a funcionar como un elemento independiente. Normalmente cada planta técnica da servicio a los pisos superiores, aunque ha empezado a generalizarse el empleo del modelo contrario, sirviendo a las inferiores, dejando que el agua caiga por gravedad.

En ese caso, aunque puede parecer menos eficiente, el calentamiento del agua se realiza en las plantas inferiores, mediante calderas y acumuladores, para intentar conseguir que el suministro de combustible recorra el menor espacio posible. La instalación por distrito se convierte en una elección más ambiciosa, porque evita recurrir a material inflamable en el interior de los edificios en altura.

La distancia vertical que recorre esta instalación suele ser elevada por lo que usar una instalación de recirculadores se vuelve indispensable para poder tener el servicio de ACS de forma inmediata.

El problema de la instalación de ACS originado por las pérdidas de calor, provoca que las tuberías de este tipo de suministro ocupen más espacio que una tubería de AFS normal, pues necesitan estar recubiertas de bastante aislante térmico.

El otro gran desafío de la instalación de ACS es la dilatación de las tuberías, pues al tener grandes tramos en vertical será necesario considerar un margen en las derivaciones de cada planta y la instalación y la colocación de elementos especiales que absorban estas deformaciones.

Una característica añadida de esta red es el **efecto termosifón** que provoca que el calor de los fluidos tienda a ir hacia la parte superior de la instalación, tendiendo a quedarse el agua con menor temperatura en las plantas más bajas. También se produce un efecto de depresión en los puntos bajos de la instalación que se deben tener en cuenta a la hora de dimensionar la instalación. Por ello, para conseguir una temperatura igual en toda su altura y evitar problemas relacionados con la presión, será necesario mantener el agua en constante movimiento.

Instalación de Saneamiento

La instalación de saneamiento en los edificios en altura es uno de los grandes retos de esta tipología porque una complicación en una de las plantas bajas puede afectar a todas las superiores.

La red de saneamiento debe incluir tanto **colectores**, como **conductos bajantes** que forman la red vertical. Es decir, la red vertical de una instalación de saneamiento de una edificación es la que **recibe tanto el agua pluvial como el agua residual**, que es enviada a la parte inferior mediante bajantes y otros elementos, para llegar a la red horizontal de saneamiento. Es fundamental mantener esta red para impedir humedades, filtraciones y atascos en la construcción.

Teniendo en cuenta que normalmente la superficie de cubierta de estas construcciones es reducida en relación con el volumen del propio edificio, las bajantes de pluviales no suelen tener tanta carga de uso como el resto de sus bajantes. Normalmente el acopio de aguas pluviales se realiza con tanques situados en los pisos superiores y cuando esos tanques están completos es vertido a la red de saneamiento. Esa agua almacenada se suele destinar a usos diferentes al consumo humano, principalmente para riego de plantas y jardines en azoteas y atrios, así como al acopio de agua para emplearlo en caso de incendio mediante sistemas de rociadores. Hoy son frecuentes los sistemas con reciclado de agua, aparatos de bajo consumo, recuperación de aguas pluviales, etc., que reducen sensiblemente los consumos.

Por otro lado, las aguas residuales si suponen un inconveniente mayor porque hay que añadir la carga de varias plantas. Esto implica que las bajantes sean considerablemente anchas, motivando que en los edificios más altos la alternativa sea agrupar las bajantes de este tipo en las plantas técnicas. Esa medida permite disminuir el diámetro de algunas de las bajantes y de este modo reducir el espacio de tuberías de los sistemas de ventilación secundarios y terciarios. Así se logra que cada sección de los edificios en altura actúe como si fuera un edificio independiente.

Según se ha indicado antes, en las instalaciones de AFS y ACS es preciso organizar los espacios para alojar los conductos en zonas comunes que faciliten el registro y establecer unas leyes de superposición en las que las redes discurran en vertical sin crear interferencias en las plantas siguientes.

Con la concentración de las áreas húmedas en torno a las canalizaciones verticales, se minimizan los recorridos horizontales de las redes, que provocarían un aumento considerable del canto del forjado, principalmente por la instalación de saneamiento cuyos tubos son más anchos que los de AFS y ACS y necesitan tener pendientes mínimas del 1%. La red de saneamiento es muy rígida y requiere grandes cantos para derivarla. Si se superponen los cuartos húmedos, se pueden ejecutar las instalaciones descolgadas del forjado, limitando a estas áreas húmedas los dobles techos.

La caída de agua dentro de las bajantes en los edificios en altura genera un problema de **sobrepresión**, que se produce al comprimirse el aire de la parte inferior, debido a la diferencia de presión. Además, en la parte superior al aumentar el espacio se produce una depresión del aire. Esta situación se soluciona creando un sistema de ventilación paralelo a la bajante principal, conectados entre sí de manera regular para favorecer que las presiones se vayan igualando. Al mismo tiempo, se consigue una mayor y mejor ventilación de los malos olores que se producen en las plantas inferiores.

Otro gran problema que no se puede obviar en la construcción es la altura es el **golpe por caída en las bajantes**. Esto se debe a que el golpe se produce por la gravedad pues a mayor

altura, mayor energía potencial que en la parte inferior se traduce en mayor energía cinética y por tanto mayor fuerza de impacto. Para evitar grandes colisiones en las zonas inferiores de las bajantes es necesario interrumpir la verticalidad, manteniendo la continuidad de las tuberías verticales añadiendo piezas especiales que generan quiebros que permiten que la altura de caída libre de las aguas en el interior de las bajantes no sea tan grande. Al reducirse la altura se reduce la energía potencial y, por consiguiente, la velocidad máxima que adquieren los desechos y la fuerza con la que impactan en la pieza inferior de la bajante.

La solución de estos dos problemas conlleva un aumento considerable de la superficie que ocupan en planta las instalaciones de Saneamiento.

Instalación de Climatización y Ventilación

El primer problema con el que se enfrenta la instalación de la Climatización y la Ventilación en un edificio en altura es el espacio que van a ocupar este tipo de sistemas tanto en vertical como en horizontal.

La elección más extendida es la de los sistemas de agua, en los casos de climatización reducida sólo a la calefacción, porque el agua puede calentarse utilizando calderas de gas o con bombas de calor eléctricas. Estos mismos sistemas pueden emplearse para producir frío, aunque las enfriadoras de gas natural son muy poco eficientes y su gasto de mantenimiento es elevado. Los emisores pueden ser de diferente tipo como los radiadores habituales, superficies de baja temperatura como suelos y techos fríos o fan-coils con una gran variedad de localizaciones.

En los edificios en altura es importante evitar la introducción de materiales explosivos e inflamables y en caso de decidir instalar calderas de gas, la mejor opción sería decantarse por soluciones comunitarias.

Además, en los edificios en altura en ocasiones es imposible realizar una ventilación natural, debido a las fuertes corrientes que se producen en los mismos por su gran elevación, siendo necesario recurrir a una **renovación de aire forzada**. Un sistema mecánico ofrece mayor seguridad y resuelve el problema que generan los huecos de fuertes corrientes de aire y posibles caídas al vacío. Para reducir el contacto con el exterior se utilizan sistemas de recuperación de calor que minimizan los problemas derivados de la eficiencia energética.

Como resultado se consigue que las instalaciones de climatización sean bastante reducidas, al no poseer un control higrotérmico completo porque únicamente se puede intervenir en la temperatura, pues no se contempla un posible ajuste de humedad que mejore el confort.

Para poder tener ese control higrotérmico total del edificio se recurre a los sistemas de climatización y ventilación que permiten ajustar tanto la temperatura como la humedad, además de mantener una correcta renovación del aire. Los sistemas de acondicionamiento de aire son más complicados e intrusivos, y suelen necesitar el transporte y movimiento de grandes volúmenes de aire a bajas velocidades de impulsión además de un buen barrido dentro del local, lo que exige grandes secciones de conductos y multitud de terminales.

El alojamiento de estos equipos en el cielorraso implica un incremento de la altura libre de las plantas, pues generalmente la altura libre usual no es suficiente para ello. Esta medida supone una reducción en el número de plantas si se mantiene la misma altura de edificio, de modo que el sistema ahorra espacio en cada planta a costa de reducir el número total de ellas. Además, este sistema requiere de un gran patinillo de ventilación por el que renovar el aire, por cuanto que normalmente la ventilación no se realiza directamente hacia fachada.

La mayoría de estos sistemas demandan el retorno del aire a la central. Por ello, los sistemas más avanzados tienen retorno exclusivamente para recuperar el calor del aire extraído, aunque puede ser problemático recircular el aire de diferentes ambientes y volver a mezclarlo. Hay que tener presente también su encuentro con la compartimentación de incendios porque los circuitos de retorno no deben comunicar recintos de incendio independientes. El retorno se puede realizar conducido o por plenum, siendo aspirado por el propio aparato en el último caso.

Los distintos sistemas, comenzando de más centralización a menos, son mediante conductos de impulsión y retorno desde un climatizador, mediante terminales que incorporan recirculación y mediante tratamiento térmico del aire o aparatos autónomos entre otros

sistemas. Cuanto menor es la centralización en los sistemas basados en aire, las secciones de los conductos son menores y se mejora la posibilidad de regulación en cada zona, pero aumenta el número de máquinas por planta reduciendo la superficie utilizable del edificio.

Con los sistemas de todo agua o agua-aire se consigue tener la menor sección de tubos durante la mayor parte del recorrido, pues el fluido caloportador es agua en lugar de aire, permitiendo la centralización del sistema de climatización y reduciendo así el número de máquinas por planta.

En los edificios en altura el intercambio de aire exterior e interior se suele realizar a través de las plantas técnicas. El modelo por plantas requiere una conexión entre las tomas y el patinillo de ventilación que suministra el aire a los equipos de cada nivel. En cambio, el modelo centralizado conecta directamente con las tomas de aire y mediante un conducto común suministra aire climatizado a los distintos niveles. Tanto si el modelo de climatizadores es centralizado o por plantas, los sistemas de climatización de los edificios en altura aprovechan la toma de aire que existe en estas plantas para realizar la renovación.

La previsión de plantas técnicas en los edificios en altura permite una descentralización al ubicar los equipos en dichas plantas, que darán servicio a los niveles próximos mediante conductos de ventilación. Este modelo permite ahorrar espacio en los falsos techos y en los patinillos, aumentando la eficiencia al utilizar el mismo equipamiento para conseguir más caudal de aire climatizado.

Instalación de Electricidad

La instalación de electricidad es menos intrusiva en la mayoría de casos por su reducida sección, pero por el contrario abarca mayor extensión que otras y se ramifica, provocando que sea necesario protegerla mediante generosos falsos techos o suelos técnicos. Además, esta instalación se caracteriza por una generación de calor debido a la resistencia que produce el cable al paso de la electricidad. Circunstancia que debe tenerse en cuenta, por ejemplo, en el cálculo de la instalación de climatización.

Por otro lado, en los edificios en altura normalmente no se plantea como una sola unidad, sino que se divide en secciones marcadas por la modulación de las plantas técnicas, y cada una de ellas posee su instalación de suministro eléctrico. Debido a las **grandes demandas de energía eléctrica** de estos edificios la acometida se suele realizar en régimen de Media Tensión, utilizando patinillos específicos que actúan como si fuera la red general de suministro dentro de la construcción.

Partiendo de esta acometida de media tensión salen ramificaciones en las plantas técnicas que conectan con los transformadores o en caso de ser posible, en la planta baja se transformaría la electricidad para todo el edificio y se distribuiría desde allí. Después de cada transformador se situará una acometida de baja tensión, una caja general de protección (CGP), una línea general de alimentación (LGA), una distribución principal, una zona de contadores centralizados si es necesario y luego las derivaciones individuales.

El trazado de la instalación eléctrica necesita centralizar los dispositivos de protección y mando, que requieren un recinto común y otros recintos o elementos propios en cada planta, de diversos tamaños y con elementos modulares para facilitar su posible ampliación y la sustitución si fuera necesario. Las redes verticales deben estar agrupadas y para facilitar su conservación, ubicarse en espacios comunes. Hay que prestar atención a su distancia con otras instalaciones, en especial las de agua.

Al crecer la altura aumenta también la dependencia de la electricidad, y debe tenerse en cuenta la posibilidad de un fallo de suministro. Esto se puede solucionar duplicando las acometidas y disponiendo de equipos propios de generación. Los acumuladores para abastecimiento de emergencia (SAIS) se convierten en elementos habituales.

Actualmente, en el propio edificio puede resolverse parcialmente la demanda eléctrica colocando paneles solares en las fachadas, como parte de los paramentos macizos o incluso configurar superficies translúcidas.

Las instalaciones de comunicaciones, regulación y control, megafonía, etc. precisan espacios de agrupación y mando, del conjunto del edificio o de un sector, redes tanto verticales como horizontales. Estas instalaciones pueden estar ordenadas de forma parecida a las redes eléctricas, a pesar de contener mayores volúmenes de cables.

La instalación de transporte vertical de una edificación abarca el conjunto de elementos técnicos y constructivos cuya función es la de facilitar la comunicación vertical entre las diferentes plantas y espacios del edificio mediante sistemas activos. En principio comprende los ascensores, aunque puede abarcar sistemas alternativos como escaleras mecánicas y similares.

La **existencia generalizada de elevadores y ascensores** en casi todos los edificios en altura actualmente es un hecho, como elemento fundamental que los caracteriza. Su implantación obedece a la dificultad de comunicación vertical en edificios de más de 20 metros de altura.

Aunque los ascensores ya son una realidad normalizada, los modelos de ascensores no son iguales en la edificación tradicional (aunque sea en altura) y en los rascacielos.

A la hora de dimensionar el sistema de transporte vertical se tiene en cuenta la cantidad esperada de ocupación del edificio y la mayor altura del mismo, de modo que generalmente, a mayor número de plantas, se precisará un mayor número de ascensores y sistemas de transporte vertical. Esta consideración suele implicar una contrariedad, por cuanto que un mayor número de ascensores suele suponer un mayor espacio inutilizable en cada planta, reduciendo la ocupación y, a su vez, el número de ascensores.

En los edificios de gran altura esta circunstancia se convierte en un importante problema, por la necesidad de optimizar el espacio, aprovechando al máximo la superficie útil de cada planta. Si se optara por un sistema de ascensores tradicionales, en el que cada cabina utiliza un hueco individual, la pérdida de espacio en cada planta sería tan grande que los proyectos de rascacielos se volverían inviables. Por este motivo, se han diseñado distintas alternativas para mejorar el transporte vertical y reducir el espacio destinado a ese uso, destacando el *sky lobby*, el sistema *doble-deck* y el sistema *multideck*.

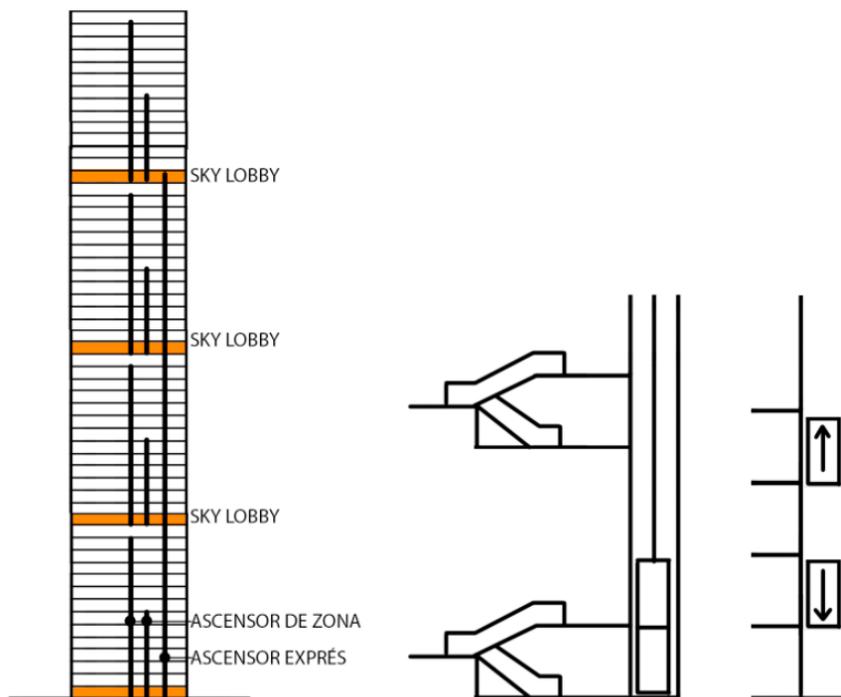


Ilustración 16 Tipos de ascensores (de izquierda a derecha sky lobby, double-deck y multideck) (Elaboración propia del autor)

Relacionada con la red eléctrica está la instalación de **protección contra tormentas eléctricas** que, aunque no es una instalación en sí misma ya que no posee ningún medio activo, todos sus dispositivos son elementos constructivos que actúan de manera pasiva y tienen una gran importancia especialmente en la arquitectura en altura.

Los **sistemas de pararrayos** son fundamentalmente circuitos eléctricos ideados para estar normalmente descargados. En el supuesto de descarga de un rayo, este utiliza dichos circuitos para dirigirse desde el punto en el que ha golpeado al edificio hasta la toma de tierra. Ese circuito se puede realizar porque la corriente eléctrica siempre viaja por el camino de menor potencial eléctrico. Los sistemas o grupos de pararrayos más comunes son los de tipo antena, los de cebado y los de tipo malla.

La técnica del pararrayos tipo antena consiste en levantar al máximo la punta de una antena, que es metálica. En caso de descarga, el rayo golpeará esa punta metálica, porque tiene menor potencial eléctrico que el resto del edificio. Al ser golpeada, el rayo recorre el resto de la antena hasta que llega al edificio, continuando por un circuito de cables que conecta la antena con la tierra.

El pararrayos de antena con cebador añade a la antena un elemento que ioniza el aire circundante y por la vertical del edificio. El aire ionizado al tener menor resistencia al cambio de fase se convierte en una vía idónea desde la tormenta hasta la punta de la antena.

En el pararrayos tipo malla, también conocido como pararrayos de jaula de Faraday por su funcionamiento, en vez de colocar elementos verticales en los puntos más altos para atraer los rayos, se cubre todo el edificio con una malla metálica que puede ser de cable o perfiles metálicos. Su funcionamiento se basa en la polarización que sufren los conductores eléctricos ante la presencia de un campo electromagnético externo que provoca que el campo electromagnético en el interior de un conductor en equilibrio siga siendo nulo, anulando el efecto de los campos externos. Un posible problema de este sistema es que impide la entrada de todos los tipos de ondas electromagnéticas, esto incluye las ondas de radio y señales de teléfono móvil, lo que en algunos usos puede no interesar.



Ilustración 17 De izquierda a derecha pararrayos de antena, pararrayos de antena de cebado y pararrayos tipo maya (Almao, D. (26 de febrero de 2022). Pararrayos Franklin, Pararrayos con dispositivo de cebado y Sistema de pararrayos Faraday [Ilustración]. Recuperado de <https://www.cinconoticias.com/pararrayos/>)

Instalación de Iluminación

La instalación de **iluminación** no sufre grandes dificultades en la construcción en altura. El motivo obedece a que el alumbrado de cada zona es autónomo del resto del edificio y puede ser calculado individualmente. La única dificultad que puede ser de relativa importancia en esta instalación del edificio en altura es la influencia del sol. Al aumentar la altura, el ángulo de incidencia del sol puede variar en las primeras horas de la mañana y en las últimas de la tarde y se añade que al crecer en altura se aumentan las horas de sol al día, puesto que amanece antes y anochece más tarde. Esta situación puede suponer **riesgos de deslumbramientos**, por lo que el estudio de esta circunstancia se debe realizar teniendo especial atención a este hecho.

Instalaciones de edificios extensivos

El edificio en superficie no necesita una aportación de energía tan grande como la de su opuesto el edificio en altura, por cuanto que muchas de las dificultades a las que se enfrentan los edificios verticales no se plantean en los edificios extensivos. Esto se debe a que el hándicap de la altura no se plantea en esta tipología, evitando todos los problemas vinculados a la gravedad, que afectan principalmente a los sistemas de fontanería.

En este tipo de edificios adquiere especial importancia la correcta elección de sus sistemas de instalaciones, de acuerdo con la forma del edificio y su programa. Una buena decisión en esta materia contribuirá al óptimo funcionamiento del edificio, determinando su eficiencia y su confort interior.

La variedad de instalaciones que se pueden emplear en esta tipología edificatoria es más amplia que la utilizada en las construcciones en altura, pues cuestiones como las vinculadas a la protección contra incendios resultan de más sencilla solución. Además, la mayor superficie por planta reduce la influencia del espacio que ocupan las instalaciones en proporción al resto de área susceptible de ocupación.

El mayor reto de esta tipología es afrontar la larga distancia entre los extremos del edificio. Los largos recorridos provocan que las instalaciones que portan fluidos tengan grandes pérdidas debido al rozamiento o en el caso de la electricidad tenga pérdidas de calor por las grandes distancias en su recorrido y por ello se deben aumentar las secciones de los conductos. La solución que se adopte supondrá un desafío a la hora de decidir la ubicación de cada una de las diferentes instalaciones, de modo que no molesten a los usuarios, y a la vez faciliten un mantenimiento sencillo y eficaz.

Instalación de Agua Fría Sanitaria (AFS)

Uno de los retos principales a los que se enfrenta la instalación de AFS en edificios extensivos es la **pérdida de carga por rozamiento debido a las grandes distancias**. La pérdida de carga es el descenso de presión que experimenta el agua como consecuencia del rozamiento al recorrer una tubería. Esta pérdida depende de factores como el caudal de agua, el diámetro interior de la tubería y la rugosidad del material del tubo.

Las soluciones más inmediatas son aumentar el caudal, aunque esto podría provocar una sobrepresión en los puntos iniciales de la instalación; reducir el diámetro también ayuda a aumentar la presión, pero el rozamiento es mayor y elegir otro material menos rugoso permitiría aumentar algunos metros la distancia máxima, pero puede aumentar el costo de la red o no aguantar la presión necesaria en toda la longitud. Estas soluciones hay que tenerlas en cuenta a lo largo de la instalación, pero en ocasiones se hace necesario recurrir a la colocación de grupos de presión del mismo modo que ocurre en los edificios en altura.

Otro desafío es el que se plantea en caso de que la red no aporte suficiente presión. La forma de abordar esta cuestión es el uso de sistemas de bombeo que incremente la presión lo suficiente para que todos los aparatos funcionen correctamente y que no se produzcan fugas ni mal funcionamiento de los dispositivos más próximos a la bomba de agua por exceso de presión.

Al igual que en los edificios en vertical, para evitar problemas a causa de la altura se colocan válvulas reductoras de presión, que además de impedir presiones excesivas en la red de tuberías, también sirven para limitar la presión de uso en los puntos de consumo.

En cuanto a soluciones de estas instalaciones más vinculadas al diseño de las plantas del edificio se suele recurrir al emplazamiento de los cuartos húmedos en disposiciones agrupadas y posiciones centradas del edificio. Con esta práctica se reduce de forma sustancial la distribución horizontal.

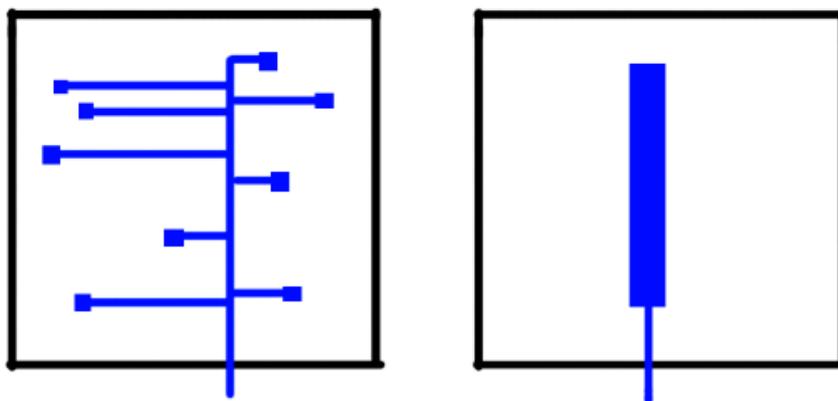


Ilustración 18 Comparativa de emplazamiento centralizado y disperso (Elaboración propia del autor)

Para resolver la distribución horizontal se utilizan dobles techos, suelos técnicos o recrecidos del suelo y paredes técnicas o fachadas, que puede limitarse al cuarto húmedo.

La instalación de AFS necesita el uso de aislamiento para evitar condensaciones superficiales, reducir el riesgo de congelación y calentamiento con temperaturas extremas.

Instalación de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

El reto de la instalación de ACS va a estar en manos del tipo de instalación que elijamos ya sea individual o centralizada. Normalmente, el sistema individual de gas es el más utilizado en la instalación de ACS. En el mismo, cada unidad de uso recibe el suministro de AFS que calienta el agua para ACS mediante un abastecimiento de material combustible y, con carácter general, también para calefacción.

En ocasiones por motivos de economía o eficiencia se eligen los sistemas de calentamiento comunitario o por distrito. En el caso de que la instalación de calentadores sea centralizada o por distrito el problema es el mismo que el que tiene la instalación de AFS, es decir, relacionado con la presión, pero a esta instalación se le suman las pérdidas de energía por calor.

El sistema que se ejecuta en los edificios en extensión se realiza de forma similar al realizado en el suministro de AFS, donde cada ramal sirve a una zona del edificio.

Otro problema surge de las pérdidas de calor que tiene, provocando que las tuberías de este tipo de suministro ocupen más espacio que una tubería de AFS normal, pues se vuelve necesario que usen aislante térmico.

La diferencia de esta red con la que se plantea en los edificios en altura es que el problema del efecto termosifón que se producía en estos, no tiene un efecto tan relevante en el diseño de la red en los edificios extensivos, debido a su menor elevación.

Cuando la distancia de la instalación es muy grande se vuelve necesaria la instalación de recirculadores que son una serie de bombas de agua que mantienen el fluido en movimiento y así poder tener el servicio de ACS de forma inmediata. Hay que tener en cuenta que esta recirculación es un gasto energético constante por lo que se debe usar de forma excepcional, intentando siempre que sea posible el recorrido de esta instalación.

El otro gran desafío de la instalación de ACS es la dilatación de las tuberías pues al tener mayores recorridos en planta será necesario considerar un margen entre los cerramientos y la instalación y la colocación de elementos especiales que absorban estas deformaciones.

Otra solución es la instalación de pequeños termos eléctricos en los puntos de suministro si la demanda de ACS es reducida, disminuyendo considerablemente esta instalación, simplificando bastante el trazado pues solo es necesario una toma de electricidad y otra de AFS. Hay distintos sistemas que pueden ser de producción instantánea o por acumulación, y estos utilizan sistemas basados en el efecto Joule, mediante una resistencia o los sistemas más novedosos que incorporan sistemas de bomba de calor.

Instalación de Saneamiento

La instalación de saneamiento en los edificios extensivos, al disponer de grandes cubiertas, puede complicarse por condensaciones y goteras ocasionadas por averías en alguna canalización.

En este tipo de edificios las bajantes de pluviales suelen ser más numerosas y de mayor diámetro.

A pesar de que las **cubiertas inclinadas** siguen siendo una solución utilizada y viable, en muchos edificios actuales se prefieren las cubiertas planas para la evacuación del agua de las cubiertas. Una **cubierta plana** se define como aquella cuyos faldones tienen una pendiente inferior al 5%, pudiendo ser transitables o no. La solución más sencilla sería optar por un solo faldón, aunque se puedan instalar más, siendo lo más común colocar al menos dos enfrentados con un canalón interior.

Una tipología de cubierta plana bastante interesante es la **cubierta ajardinada**. En ella, el desarrollo de láminas drenantes que acumulan cierta reserva de agua, es lo que permite mantener especies vegetales con muy poco esfuerzo. Además, este tipo de cubiertas funcionan como pequeños tanques de tormentas, al absorber la tierra de la cubierta el agua de las lluvias, vertiéndolo a la red poco a poco. Este mecanismo evita que en épocas de tormentas se sature la red.



Ilustración 19 Ejemplo de cubierta vegetal (Umacom. (30 de marzo de 2020). Sede de la firma Willis Faber en Dumas [Fotografía]. Umacom. <http://www.umacom.com/noticia.php/es/arquitectura-naturaleza-edificios-verdes-eficientes/461>)

Otro sistema bastante novedoso son las **cubiertas de pendiente cero**, que se basan en una red de evacuación por vacío o succión. Recogen el agua de la cubierta en canalizaciones horizontales de sección mínima y pendiente cero, con bajantes también de sección reducida que permiten que la superficie que cubren sea mucho mayor, disminuyendo el número de bajantes. Estas soluciones facilitan la tarea de diseño de los edificios extensivos por tratar las cubiertas como si se trataran de piscinas de pequeño espesor, cuando el espesor de agua de lluvia acumulada supera un límite establecido, el sistema comienza su evacuación rápida. Esto supone molestias ocasionadas por los ruidos generados en el proceso de evacuación de agua a gran velocidad.

En lo que a aguas residuales se refiere en los edificios extensivos la idea principal es sacarlo del edificio de la forma más rápida y corta posible. Como se ha indicado antes, al igual que en las instalaciones de AFS y ACS es preciso organizar los espacios para alojar las tuberías en zonas comunes que faciliten el registro y eviten crear interferencias a lo largo de las plantas.

Con la concentración de las áreas húmedas se minimizan los recorridos horizontales de las redes, ya que la instalación de saneamiento tiene tubos más anchos que los de AFS y ACS y necesitan tener pendientes mínimas del 1%. Esta medida puede suponer mayor canto si se encuentra en plantas superiores o mayor excavación si son excavadas. La red de saneamiento es muy rígida y requiere grandes cantos para derivarla. Si la pendiente es insuficiente se puede recurrir a sistemas de bombeo.

Instalación de Climatización y Ventilación

Los sistemas de climatización y ventilación suponen un importante consumo de energía del edificio. Con independencia de que se utilice la calefacción o la refrigeración, el gasto siempre tiende a ser bastante alto. Esa circunstancia avoca a la utilización de equipos de alto rendimiento de ambos tipos, para conseguir mayor eficiencia y ahorro de energía.

Cuando la climatización se reduce únicamente a la calefacción en los edificios extensivos sucede igual que en los edificios en altura, la opción más extendida son los sistemas de agua, que puede calentarse utilizando calderas de gas o con bombas de calor eléctricas.

En los edificios en superficie no es un problema tan importante la introducción de materiales explosivos e inflamables, pues la altura no será un problema para la evacuación y los edificios deben cumplir los requisitos de evacuación contra incendios.

Como en los edificios en altura, para poder tener el control higrotérmico total del edificio se recurre a los sistemas de climatización y ventilación que permiten ajustar tanto la temperatura como la humedad, además de mantener una correcta renovación del aire.

El desafío al que se enfrentan los edificios en extensión son sus grandes luces y una altura libre superior a la convencional. Otro problema al que se enfrentan los sistemas de todo aire en los edificios en extensión son los largos recorridos para cubrir toda la superficie, que se traduce en grandes secciones de tubo aumentando el espesor ya sea por el aumento del falso techo, el suelo técnico, las paredes técnicas o los cerramientos.

Esta solución de sistemas de acondicionamiento y ventilación centralizados basados en aire, permiten el mejor tratamiento del aire, economía de mantenimiento, aplicar sistemas de recuperación de calor, etc. Por otro lado, no permiten regulación por parte del usuario.

El uso de sistemas todo agua o agua-aire centralizados permite la reducción de la sección de los conductos hasta su destino, permitiendo mantener gran parte de los beneficios de los sistemas centralizados de aire mencionados anteriormente.

Para lograr un barrido homogéneo del volumen de aire hay que emplazar adecuadamente impulsiones y retornos. Si la altura de piso no es excesiva, la solución más extendida es la impulsión por conductos en techo, con diferentes alternativas para el retorno. Una característica particular del aire caliente es que este tiende a estratificarse más cuando este se impulsa desde el techo, por lo que se suele acudir a sistemas auxiliares para mejorar la eficiencia como por ejemplo usando suelos radiantes.

Las soluciones que da el diseño es incorporarlas dentro de los falsos techos, integrados en la estructura o vistas como en pabellones o recintos comerciales.

La opción opuesta al falso techo es los suelos técnicos, pero estos aumentan bastante la sección del forjado pues las conducciones son más grandes ya que el aire que transcurre por esos tubos va a baja velocidad.

Otra opción para evitar los conductos en techo son las impulsiones concentradas, y es frecuente la impulsión perimetral en los recintos de gran tamaño. Otra solución podría ser la de enfrentar las impulsiones a los retornos forzando de esta manera la circulación del aire. Esto puede necesitar el apoyo de la forma del edificio para que esta forma realice de conducto de distribución.

Instalación de Electricidad

Como se ha dicho en los edificios en altura, la instalación eléctrica es menos intrusiva debido a su reducida sección. Sin embargo, en los edificios extensivos al tener que cubrir una mayor superficie hace obligado buscar su protección mediante falsos techos o suelos técnicos. Tampoco se puede obviar el aspecto referido a la generación de calor de este sistema, que exige su consideración al realizar los cálculos de climatización.

Debido a las grandes distancias, para evitar que los cables tengan que ser demasiado gruesos resulta más viable crear **sectores dentro del edificio**. La modulación no sigue un criterio tan claro como en los edificios en altura con las plantas técnicas, pero puede basarse en las juntas de dilatación del edificio, aunque puede tener otros criterios como los sectores de incendios.

La instalación se plantea de la misma manera que en los edificios en altura. Lo más común es plantear una acometida a Media Tensión que irá a un transformador que lo convertirá a Baja tensión, de donde derivará una acometida a baja tensión, una CGP, una LGA, una distribución principal, una zona de contadores centralizados si es necesario y luego las derivaciones individuales.

Asimismo, como en los edificios en altura, el trazado de la instalación eléctrica necesita centralizar los dispositivos de protección y mando, que requieren un recinto común y otros recintos o elementos propios, de muy diversas escalas y con sistemas modulares que permiten un fácil recambio y su eventual ampliación. Por ese motivo hay que procurar que la red guarde distancia con las demás instalaciones, especialmente las de agua.

En los edificios extensivos la dependencia de la electricidad varía principalmente en función de los usos, lo que a veces implica prever diferentes soluciones como duplicar las acometidas y disponer de equipos propios de generación.

Gracias a las grandes coberturas de esta tipología, puede plantearse la **generación de parte de la demanda eléctrica requerida en el propio edificio**, mediante paneles fotovoltaicos en la cubierta.

Las instalaciones de comunicaciones, regulación y control, megafonía, etc. requieren recintos específicos de centralización y mando generales, unas amplias distribuciones horizontales, pueden organizarse en forma similar a las instalaciones eléctricas, aunque tienen grandes volúmenes de cableado.

La instalación del **ascensor** en los edificios en superficie es una **instalación secundaria** cuyo valor reside en solucionar los problemas de accesibilidad, además estos suelen ser instalaciones tradicionales. Por el contrario, elementos como las cintas transportadoras de personas y material se convierten en elementos fundamentales cuando hay que recorrer grandes distancias, haciendo más amenos los traslados.

La instalación de protección contra tormentas eléctricas de esta tipología se debe calcular, aunque no siempre es necesaria pues depende de factores como los acabados, el material de la estructura, su ubicación, el uso o la superficie de fachadas y cubierta.

Instalación de Iluminación

Uno de los grandes problemas que nos encontramos a la hora de iluminar edificios en extensión es que en ocasiones estos tienen una gran altura libre, que implica la colocación de luminarias más potentes para que aporten la iluminancia necesaria. Además, otro

inconveniente que puede surgir es la aparición de grandes zonas de penumbra en las zonas centrales del edificio debido a la gran distancia que puede haber hasta el hueco más cercano.

A pesar de este problema la instalación de iluminación se debe calcular para cada espacio de forma independiente del resto del edificio y debe ser analizado de forma individual.

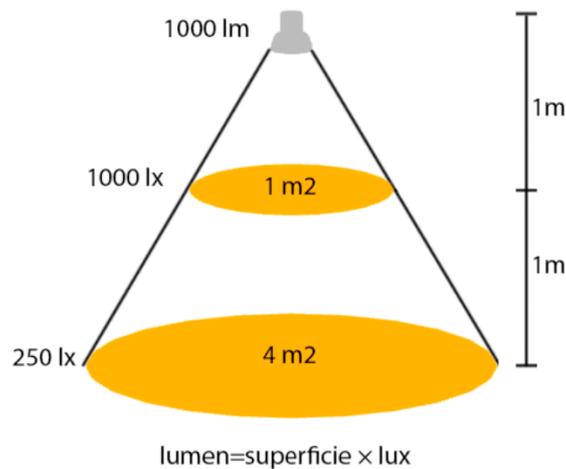


Ilustración 20 Dispersión de la luz entre el foco y el punto a iluminar cuanto más grande la distancia menos capacidad de iluminación (Elaboración propia del autor)

Un elemento que se vuelve imprescindible tener en cuenta en este tipo de edificios son las sombras que arrojan los edificios de los alrededores. Si estos son más altos que el nuestro puede reducir la buena iluminación del mismo, obligando a que se tenga que hacer un consumo forzado de energía para alumbrar esos espacios en horas donde se podría aprovechar la luz natural.

Por otro lado, están las sombras propias del edificio que puede causar los mismos problemas que las sombras arrojadas, pero en este caso son más fáciles de solucionar pues este depende del diseño que le dé el arquitecto.

Estrategias energéticas

Las estrategias energéticas abarcan un conjunto de medidas cuyos objetivos principales van dirigidos a conseguir el mayor **confort interior** y una óptima **sostenibilidad**.

La **calidad ambiental interior** por su parte, tiene que ver con la calidad del aire, sus condiciones higrotérmicas y su correcta distribución. La arquitectura debe preocuparse, tanto del ambiente exterior y el posible daño sobre el medio ambiente, como del ambiente interior y el daño sobre los ocupantes.

La **sostenibilidad** se define como la capacidad de administrar los recursos para garantizar la cobertura de las necesidades actuales, sin poner en riesgo las necesidades del futuro, asegurando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social. En la construcción, la sostenibilidad va enfocada principalmente a reducir la demanda energética del edificio, y en especial del consumo de combustibles fósiles, consiguiéndose una disminución simultánea del daño al medio ambiente y el gasto económico de los usuarios. Además, cada vez va adquiriendo una mayor relevancia la concienciación sobre la disminución de la emisión de gases contaminantes, el descenso en el gasto de agua y en la iluminación artificial. Asimismo, la limitación de la producción de residuos sólidos está incidiendo favorablemente en la consecución de dicho objetivo.

Son muchos los aspectos que determinarán las necesidades de un edificio y por ende las estrategias energéticas que se le pueden aplicar. Dentro de las estrategias energéticas podemos diferenciar dos tipos: las activas y las pasivas. Las técnicas activas lo constituyen todas aquellas medidas que para su funcionamiento es necesario el uso de algún tipo de energía. Por otro lado, las medidas pasivas son aquellas que no necesitan de ninguna energía suplementaria para su correcto funcionamiento y se basan principalmente en un buen diseño del edificio.

Las **estrategias activas** más relevantes empleadas para el ahorro energético y la reducción de su consumo son los sistemas de captación solar para producir agua caliente o electricidad, captación eólica para producir electricidad, el uso de suelos, techos y paredes calientes y fríos, las estructuras termoactivas, los sistemas de aerotermia y geotermia, los sistemas de cogeneración, la ventilación mecánica con recuperación de calor, la iluminación de bajo consumo y la reutilización de aguas grises tratadas.

En cuanto a las **técnicas pasivas** están basadas en principios como el clima del lugar, el factor de forma, la orientación, el aislamiento y la inercia térmica, las características de la fachada, estrategias de climatización pasiva tanto de invierno como de verano, sistemas de ventilación natural, aprovechamiento de la luz y mecanismos de recuperación de pluviales, entre otros.

Para optimizar el funcionamiento de las estrategias energéticas activas y las instalaciones hay que tener presentes las nuevas tecnologías de **domótica e inmótica**, porque la introducción de sistemas de automatización va favorecer el control integral de las redes de acondicionamiento y consumidores de energía en general. De este modo se mejora considerablemente el empleo de una estrategia pasiva de acondicionamiento o un dispositivo de iluminación natural.

Estas estrategias implican no solo su utilización, sino que tienen una serie de implicaciones en el diseño del edificio final. El problema del consumo energético puede ser la base de un proyecto y las diferentes estrategias se asociarán con los correspondientes planteamientos estructurales y espaciales, y de esta síntesis nacen las diferentes tipologías que hoy se emplean.

Conceptos básicos

Antes de continuar, para comprender el alcance de algunas estrategias resulta ilustrativa la enunciación teórica del **concepto de calor**, para conocer cómo se transmite y cómo se acumula.

El calor es una forma de energía que actúa sobre los materiales y se traduce en movimiento molecular, de modo que cuánto más violento es este y menor la cohesión de las moléculas, mayor es la intensidad del calor. Esta energía cinética se transmite entre partículas, produciéndose la transmisión de calor, y su intensidad es la temperatura.

El calor se propaga o transmite por conducción, convección o radiación. La transmisión por conducción a través de un material es proporcional a su conductividad, y la conductividad a la densidad, de modo que los metales son muy buenos conductores y los gases muy buenos aislantes. La transmisión por convección se produce en los fluidos, generalmente el aire y el agua. El calor se transmite al fluido por conducción, y este dilata y comienza a moverse a más velocidad, cuanto mayor es la cantidad de calor transmitida. La radiación térmica es recibida por otros cuerpos, que la absorben o la reflejan. Los objetos lisos y los de colores claros absorben generalmente poco calor y son buenos reflectores, mientras los rugosos y oscuros absorben fácilmente el calor y son buenos emisores.

Los materiales tienen más o menos capacidad de acumular calor para un salto térmico determinado, que es proporcional a su masa, calor específico y salto térmico. El agua tiene un calor específico excepcionalmente grande, cuatro veces mayor que el del hormigón o el aire y ocho veces más que el acero. Por el contrario, los gases acumulan muy poco calor debido a su baja densidad. Los materiales de construcción tienen calores específicos similares, por lo que la capacidad de acumulación de calor es prácticamente proporcional a la masa.

Otros factores como **forma, orientación y tamaño** son siempre aspectos fundamentales del diseño energético y medioambiental, en particular para el comportamiento térmico del edificio.

El **Factor de Forma** (FF) es la relación entre el área expuesta de la envolvente de un edificio y su volumen interior y se cuantifica en m^2/m^3 . Este factor mide la relación entre la morfología de un edificio y su intercambio de calor con el exterior.

La envolvente representa el límite físico de intercambio de calor entre el interior y el exterior, mientras que el volumen del edificio muestra su capacidad para almacenar energía. Por tanto, la forma y el tamaño del edificio influyen en su relación con el entorno y el clima del emplazamiento elegido.

Además, el Factor de Forma está relacionado con el factor de escala. Dos formas iguales tienen distintos valores de FF según su tamaño, siendo el FF inversamente proporcional a la compacidad, que se mide en m^3/m^2 .

Si consideramos la transmisión de calor por conducción, minimizar la superficie de contacto con el medio es la estrategia más común para la conservación de la energía calorífica, al ser la mayoría de los edificios productores de calor. Esto puede lograrse recurriendo a soluciones con bajo factor de forma (cociente superficie/volumen), siendo la esfera la forma óptima, el cubo la más ineficiente y pésimos los volúmenes muy planos, plegados, etc.

Otro modo de mejorar el factor de forma es crecer, así que los edificios grandes pueden ser más conservativos que los pequeños, pues crecer afecta al cerramiento porque implica una disminución de la relación superficie/volumen, al disminuir las pérdidas por conducción y

ganancias por insolación. Los edificios más pequeños obtendrán más energía en forma de calor por insolación, pudiendo utilizar sin problema estrategias captadoras, aunque aumenten considerablemente las pérdidas por el cerramiento.

El tamaño está directamente relacionado con la orientación y la forma. Las formas más compactas resultan más conservativas por su factor de forma, con menor repercusión del cerramiento y menor asoleo, mientras en las más abiertas el comportamiento se invierte. La orientación ofrece más opciones, porque la mayor cantidad de energía del edificio es debida a la incidencia solar. Sin embargo, el diseño del cerramiento posibilita también cierto control, porque la principal decisión se adopta al decidir la orientación del edificio.

El criterio será distinto para la transmisión por radiación porque ahora el objetivo será controlar las ganancias por insolación. Para aumentar la aportación térmica por radiación se requiere aumentar el desarrollo superficial, lo que lleva a formas extensivas, plegadas, etc. Para reducirlas, el razonamiento es el mismo que en el caso de la conducción (forma mínima y compacta).

El intercambio de calor con el medio está muy determinado por la relación de la forma con el ciclo solar. En este mundo asimétrico, la forma se corrige necesariamente con la orientación.

La intensidad de la radiación solar directa sobre un plano perpendicular varía con la altura solar, con máximos en torno a las 800 W/m², y sobre un plano oblicuo será función del ángulo de incidencia. Los márgenes de oscilación son muy grandes (las ganancias por insolación son diez veces mayores al este que al norte).

La forma no influye únicamente en las ganancias y pérdidas de calor, sino que también responde a las corrientes de viento a su paso por el edificio, pues el viento recorre más fácilmente superficies curvas y con acabados lisos que no le oponen resistencia, frente a los acabados en aristas y con texturas rugosas. Conocer esto permite crear zonas donde nos interese que el aire tenga más velocidad o por lo contrario llegar a frenarlo.

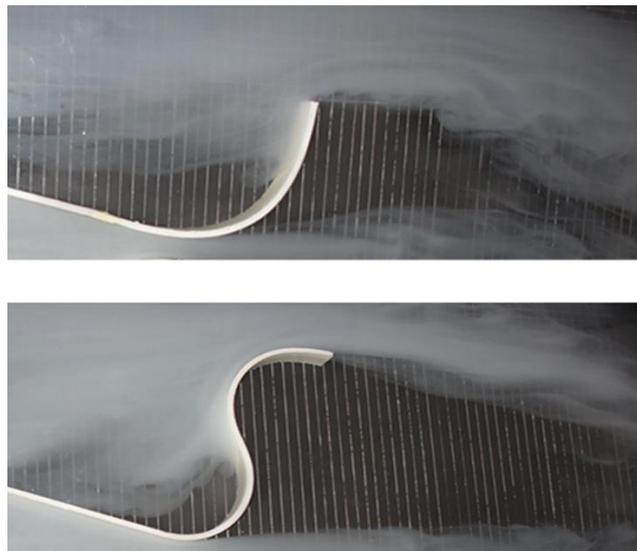


Ilustración 21 Efecto del viento en función de la forma (parcair. (3 de mayo de 2014). Modelos Básicos [Fotografía]. parcair. https://commomextrahouselabulg11.files.wordpress.com/2014/05/1-1_.png)

Vinculado a la forma está la materialidad de la fachada, pues si el edificio no tiene una alta capacidad de conservación de la energía, de poco servirá que esté dotado de una buena generación o captación de la misma, porque la energía puede desaprovecharse por completo.

Cuanto mejor conserve el edificio la energía, menor necesidad tendrá de obtenerla. En casi todos los climas resulta imprescindible un buen aislamiento por conducción. La **eficacia del aislamiento** puede mejorarse controlando su temperatura superficial mediante los diferentes materiales, el color y la ventilación, y las distintas soluciones contemplan desde un gran aislamiento hasta el aumento de la masa o la incorporación de cámaras de aire.

Los sistemas empleados para dar solución a este problema son el uso de aislantes térmicos (que reduce las transferencias de calor que se producen a través de él y además tiene una gran variedad de soluciones), la eliminación de puentes térmicos, la eliminación del riesgo de condensaciones intersticiales y la buena elección de carpinterías y vidrios.

La estanquidad va ganando importancia a medida que mejoramos el aislamiento, y la atención a los detalles del cerramiento es cada vez más importante.

También tiene importancia la acumulación térmica y mantener el calor generado dentro gracias a su envolvente, su masa, sus ocupantes y sus instalaciones. El aprovechamiento de la masa construida para actuar como sumidero térmico, principalmente la de los forjados, o la ventilación nocturna para refrigerar disipando el exceso de calor acumulado tienen una gran importancia para ahorrar energía y se inscriben dentro de una recuperación general de los mecanismos de control ambiental tradicionales.

Los elementos acristalados plantean nuevos problemas debido a su comportamiento energético. EL vidrio es un material que permite el paso de la luz solar a través de él, pero al hacerlo la radiación adopta distintos comportamientos, reflejando la luz (reflectancia -R-), absorbiéndola (absortancia -A-) o transmitiéndola (transmitancia -T-).

El factor solar -g- es el cociente entre la ganancia total de energía obtenida a través del acristalamiento y la energía que incide sobre el vidrio. Dependiendo del tipo de vidrio (con cámara, absorbentes, reflectantes o bajo emisivos) las características se modifican.

Los vidrios electrocrómicos y fotocromáticos constituyen una técnica con grandes expectativas debido a que incorporan un recubrimiento que se acciona eléctricamente y varía su transparencia.

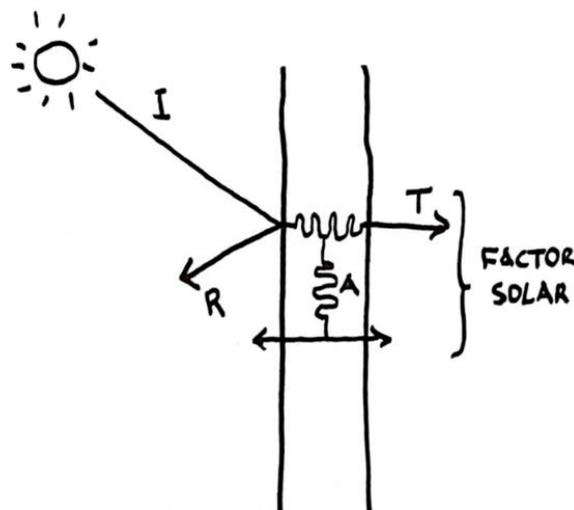


Ilustración 22 Comportamiento térmico del vidrio (Elaboración propia del autor)

Estrategias energéticas en edificios en altura

Las **estrategias activas** que mejor se adaptan a la tipología de edificios en altura son diversas, enumerándose a continuación las más relevantes.

Los suelos y techos son uno de los elementos que más se repite en los edificios en altura. Esto implica que, a mayor número de plantas, más suelos y techos. El uso de **sistemas de suelos y techos calientes y fríos**, va a suponer una fácil climatización de cada planta, pudiendo alcanzar todos los rincones del edificio. Sin embargo, el empleo de estos sistemas supone un aumento del espesor de los forjados, al tener que alojar tanto estos sistemas como sus mecanismos de aislamientos, que son necesarios para evitar pérdidas contra otras plantas que pueden requerir una temperatura distinta y suponer un gasto de energía a mayores.

El funcionamiento de las **paredes y fachadas calientes y frías** es similar al de los suelos y techos, con la diferencia de su colocación vertical. Al contrario que los anteriores, la utilización de estos sistemas no implica un aumento en el canto del forjado, aunque sí suponen un incremento del espesor de estos paramentos, reduciendo de esta manera la superficie útil de cada una de las plantas.

Las **estructuras termoactivas** pueden ser una solución bastante interesante por cuanto que incorporan los sistemas anteriores dentro de la estructura del edificio, siendo una solución intermedia a las anteriores y con las ventajas de ambas, pero con sus desventajas, pues se aumenta el grosor de las estructuras horizontales y verticales.

Los **sistemas de aerotermia** se basan en el uso de la energía eléctrica en combinación con el aire exterior. Para su funcionamiento emplean bombas de calor para refrigeración en verano, calefacción en invierno e incluso para producir agua caliente sanitaria todo el año. Las bombas de calor requieren instalaciones tanto en el interior del edificio como en su exterior, por lo que es necesario tener previsto un espacio para albergar estos mecanismos. Por ello, en los edificios en altura el espacio de cubierta normalmente es utilizado para colocar estos sistemas.

Por otro lado, la tecnología de **geotermia** emplea la temperatura constante del subsuelo. Estos sistemas requieren grandes superficies en contacto con el terreno para el máximo aprovechamiento de la transmisión térmica. En los edificios en altura debido a su reducida proyección este aprovechamiento se reduce, aunque también los problemas que de ello derivan como lo son las humedades. En los edificios en altura este sistema se puede plantear mediante pozos de gran profundidad o el uso de terreno anexo a este si existiera.

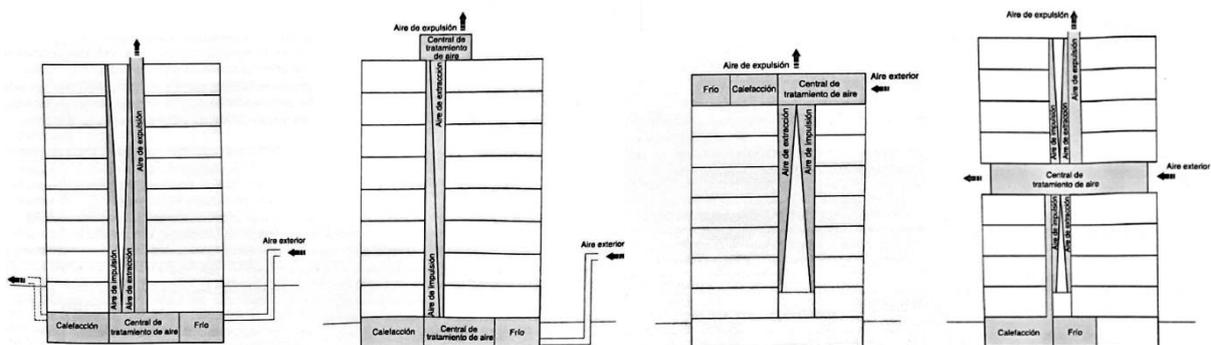


Ilustración 23 Implicación de los sistemas de recuperación de calor y tratamiento del aire (Wellpott, E. (2009). Disposición de las centrales de tratamiento del aire [Ilustración]. En *Instalaciones en los edificios* (Gustavo Gili ed., pp. 347–348).)

Para la renovación de aire entre el interior y el exterior del edificio, cada vez se utilizan más los **sistemas de ventilación mecánicos**. Además, estos se pueden optimizar aplicando sistemas de **recuperación de calor** para las **unidades de tratamiento del aire**. Los sistemas de renovación del aire permiten que las pérdidas por intercambio de aire sean mínimas. El inconveniente de las unidades de tratamiento de aire es su gran impacto en el edificio, al necesitar chimeneas para la expulsión y captación del aire y una gran superficie para sus instalaciones, en detrimento de la superficie útil del edificio.

Las **técnicas pasivas** en esta tipología de edificios guardan estrecha relación con su forma, el clima del lugar y la orientación del inmueble.

El factor de forma de los edificios en altura dependerá de su morfología y su altura. Cuanto más alto sea el edificio, mayor será la superficie de sus fachadas y aún más grande será el incremento de su volumen, por lo que su factor de forma será menor cuanto más alto sea el edificio.

Esto quiere decir que los climas ideales para esta tipología son tanto los fríos, como los climas cálidos y secos. En estas climatologías lo más idóneo es optar por el mayor volumen interior y la menor superficie exterior posible. En los climas fríos con formas poco compactas se tienen grandes pérdidas de energía en invierno y en los climas cálidos y secos sucede lo opuesto, al haber grandes ganancias de energía en verano. La orientación más beneficiosa para hacer crecer a los edificios siempre es en el eje este-oeste pues aumenta la aportación energética solar de la fachada sur, en el hemisferio norte y de la fachada norte, en el hemisferio sur.

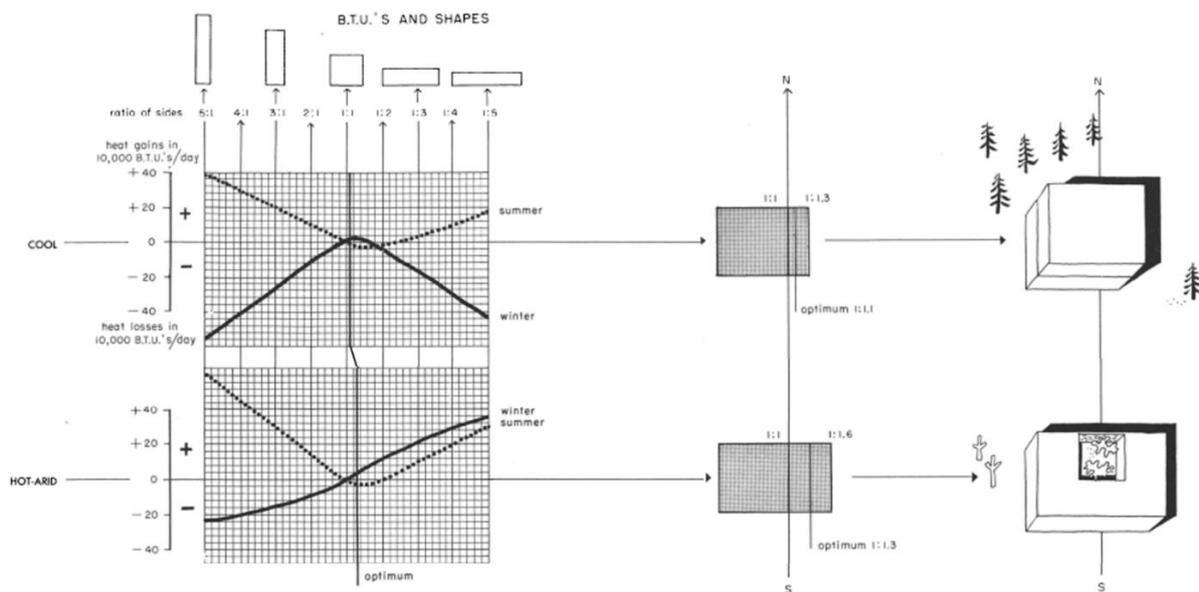


Ilustración 24 Factor de forma en climas fríos y cálidos y secos (Olgyay, V. (1963). *Basic forms and building shapes in different regions.* [Ilustración]. En *Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism* (Princeton University Press ed., p. 89).)

Por otro lado, si al calcular el factor de forma no se incluye la superficie en contacto con el terreno y comparamos dos edificios con las mismas características, pero uno lo colocamos en altura y el otro en extensivo, el edificio en altura tendrá siempre mayor factor de forma que el edificio en extensión, por cuanto que las cuatro caras con mayor superficie del prisma están en contacto con el exterior. En igualdad de condiciones los edificios más compactos serán aquellos pegados al suelo.

Los esquemas típicos de edificios en altura son frecuentemente de núcleo central, de planta poco orgánica y suelen ser casi ajenos al ciclo solar. La alternativa es plantear estos edificios en torno a patios y atrios, al ser una solución que abre muchas posibilidades como por ejemplo el uso de atrios en la parte central del edificio generando unas fachadas interiores que aportan luz y no se producen grandes pérdidas térmicas o patios si estos espacios son descubiertos.

Los edificios en altura se pueden aprovechar de dos de sus cualidades principales. Por un lado, su **altura** va a permitir que entre el punto más alto y el más bajo haya diferencias de temperatura y presión, que facilita la ventilación natural y el control ambiental, bien para la renovación del aire o para lograr alguna clase de refrigeración. De otra parte, su elemento predominante son sus **fachadas** donde se pueden aplicar diversos sistemas y estrategias para realizar un registro solar que controle tanto las ganancias térmicas de la insolación, como la iluminación natural.

Se van a desarrollar a continuación una serie de estrategias que, aunque su aplicación tiene un mayor peso en los edificios en altura, también se pueden extrapolar a cualquier tipología pues se vinculan a la buena praxis de la construcción, destacando las siguientes:

- Aprovechamiento de las condiciones eólicas para ventilación
- Aprovechamiento de la energía solar para calefacción y ACS
- Iluminación natural y sistemas de control solar

Aprovechamiento de las condiciones eólicas para ventilación

En los edificios en altura **el viento** constituye un problema a nivel estructural y térmico. No obstante, si es dirigido con agudeza puede convertirse en un elemento de ayuda a la hora de mejorar la calidad del aire interior y reducir el tamaño de la instalación de retorno de aire. Además, puede servir para reducir las cargas energéticas que tienen que proveer los sistemas activos.

La **renovación de aire** supone en la actualidad, más del cincuenta por ciento de los intercambios de energía entre un edificio y su entorno. Con las mejoras del aislamiento, este porcentaje se reducirá.

La renovación del aire a través de la fachada es una cuestión relevante que se puede resolver con sencillos elementos practicables, con sofisticadas fachadas compuestas o incluso con fachadas 'canal', según sean las condiciones exteriores. Por eso, elegir una solución u otra va a tener una influencia determinante en el diseño de las instalaciones.

Además de resultar imprescindible la renovación de aire para mantener unas condiciones del ambiente interior adecuadas, se debe proceder a una **ventilación** higiénica controlada, donde los intercambios correspondan exactamente a las necesidades. Bien mediante sistemas de ventilación natural controlada a través del tiro natural en los cuartos húmedos, o sirviéndose de sistemas de ventilación regulables.

La ventilación natural se activa mediante diferencia de presión o de temperatura. En las torres de ventilación o los patios, el mecanismo se impulsa por el diferencial que produce la propia forma, mientras que diseños como el termosifón incorporan fuentes activas, forzando la corriente ascendente de aire por una fuente térmica.

La ventilación natural se ha empleado siempre para el control ambiental de los edificios altos, tanto para la renovación del aire como para lograr alguna clase de refrigeración: cruzada en las formas lineales, a través de patios o aprovechando el tiro natural que aporta su forma con chimeneas solares. Con la aparición de la ventilación mecánica estos planteamientos tradicionales se abandonaron, aunque hoy están en plena recuperación, en particular mediante **dobles cerramientos que puedan actuar además como acumuladores de calor**.

Cuando en los edificios en altura se realizan muros cortina estos no son solo una simple piel de vidrio si no que puede tener aperturas. Estas se logran incorporando elementos batientes en el enrejado, con los sistemas clásicos de carpintería adaptados al diseño general de la fachada. En caso de que estas aperturas no sean posibles o no interesen se puede plantear la ventilación mediante rejillas graduables que permiten un mejor control de la admisión de aire, así como la incorporación de filtros de atenuación acústica.

También la convección puede controlarse con la forma, generando mecanismos de ventilación natural que pueden emplearse para la regulación térmica y la renovación del aire.

El viento puede emplearse también con este objetivo: su acción sobre la forma resulta en la creación de diferentes regiones a su alrededor, con presiones y succiones de diferente intensidad que dependen del perfil y tamaño de la superficie y de las características del viento (dirección, intensidad, temperatura del aire, etc.).

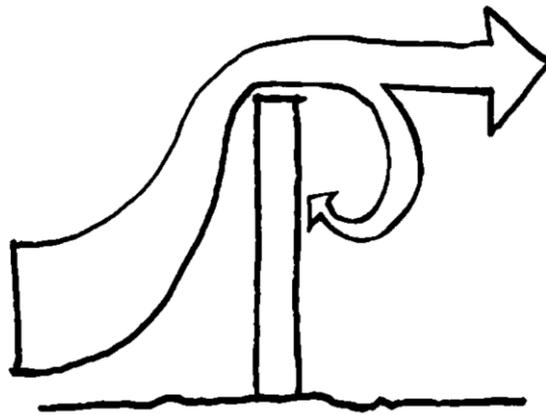


Ilustración 25 Efecto del viento en el exterior por la altura (Elaboración propia del autor)

Ejemplos sencillos de refrigeración por ventilación natural son todas aquellas formas con aperturas opuestas para forzar la ventilación cruzada, en este caso principalmente vertical.

Hoy, este mecanismo tiene una gran actualidad, y muchos espacios tradicionalmente acondicionados con ventilación y climatización mecánicas se acondicionan con medios naturales. En los edificios altos, como en el resto de edificaciones, la ventilación natural resulta sumamente importante como estrategia de climatización, no siendo conveniente dejar toda la responsabilidad en manos de sistemas mecánicos o climatización artificial.

La **orientación** también es un factor fundamental a la hora de captar corrientes de viento, los dispositivos más eficaces son los orientados a vientos dominantes, pero dado que también es posible un adecuado funcionamiento con otras orientaciones, en una combinación de radiación y ventilación debe predominar la orientación sur. Un ejemplo de esto sería la colocación de la fachada principal al sur.

Los materiales interiores no deben desprender ninguna sustancia o cuerpo molesto perjudicial para la salud. Las resinas sintéticas con formaldehídos emiten regularmente sustancias perjudiciales. Las moquetas y los acabados textiles pueden ser la base de colonias de ácaros. Los disolventes sintéticos en general emiten sustancias perjudiciales. Por ello, si los espacios están bien ventilados se pueden reducir en gran medida los efectos de estos en la salud.

El uso correcto de la ventilación puede permitir corregir parcialmente los efectos de un mal gradiente térmico, atenuando la inconformidad y pudiendo reducir el consumo de las instalaciones activas.

Los aerogeneradores no están pensados para edificación, destinándose principalmente a generación de grandes potencias para el suministro urbano. Existen, sin embargo, otras tipologías específicas para el suministro personal, aunque la necesidad de grandes vientos hace poco eficiente estas variantes, y por lo general solamente son viables en zonas de montaña puesto que al aumentar la altura aumenta la fuerza del viento.

Debido a su altura, los edificios en vertical poseen la ventaja de que el viento es una constante en los pisos superiores frente a los edificios horizontales. De hecho, ha de tenerse en cuenta a nivel estructural pues supone una fuerza nada desdeñable en las plantas más altas. Por ello se han empezado a plantear sistemas de producción de energía en base a **aerogeneradores**. El funcionamiento de estos aerogeneradores se basa en el aprovechamiento del movimiento de las corrientes de viento para dar vueltas a un alternador y generar corriente eléctrica. Existen dos tipos principales de aerogenerador:

- Eje horizontal. Son los aerogeneradores más habituales. Tienen 3 palas y poseen una gran similitud con los molinos de viento tradicionales. Poseen una cabeza pivotante para girar según la dirección del viento. Debido a su tamaño y el efecto de frenado del viento que producen ocupan mucha superficie y deben disponerse separados unos de otros.
- Eje vertical. Aerogeneradores menos frecuentes. Muestran cierto parecido con los anemómetros y no requieren un elemento pivotante extra pues sirve para cualquier dirección del viento. A causa de su forma no produce efecto frenado y pueden situarse muy juntos unos de otros.



Ilustración 26 Ejemplo de edificio en altura con aerogeneradores (Strata SE1) (Wikimedia Commons. (31 de mayo de 2014). Strata SE1 from Monument 2014 [Fotografía]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Strata_SE1_from_Monument_2014.jpg)

Un aspecto relevante y a tener en cuenta en los edificios en altura además de la presión del viento, que incrementa según aumenta la altura del edificio, es el **ruido** que este produce al friccionar con elementos que tienen tolerancia de movimiento o a través de las succiones y presiones que producen silbidos. Para reducir dicho ruido y moderar la velocidad del viento según va alcanzando altura, se utilizan doble pieles en las fachadas de este tipo de edificios. De igual forma se emplean filtros que impiden la entrada de partículas contaminantes en el interior, como polvo o polen.

Por ello, un aspecto fundamental a considerar es la permeabilidad de los huecos y todavía más importante el que no se produzcan retornos no deseados en instalaciones de ventilación que produzcan malos **olores** o un funcionamiento contrario al deseado en las instalaciones de ventilación. Incluso se puede llegar a invertir el sentido del caudal de aire a renovar o a extraer dentro del edificio o llegar a producir un incorrecto funcionamiento de los ventiladores de las máquinas impidiendo que estas puedan refrigerar sus circuitos.

Aprovechamiento de la energía solar para calefacción y ACS

El edificio en altura es por lo general una forma abierta, en la que la piel exterior, principalmente la fachada, es un elemento dominante del diseño y determina el comportamiento ambiental de todo el conjunto. Como se ha dicho anteriormente, al decidir su forma y orientación se acota bastante el problema, pero con esos aspectos mal planteados, las condiciones de diseño del cerramiento pueden ser muy extremas.

La orientación de los dispositivos de captación y del edificio en general está vinculada a la energía que se pretende captar que cuando se trata de la radiación solar, la orientación más adecuada para su mejor captación durante el invierno y para evitar efectos perjudiciales en el verano, en el caso de toda España es la sur.

La **fachada** es un elemento determinante en el comportamiento energético del edificio: a través de ella se intercambia calor con el exterior, se capta la luz solar, se transmiten los sonidos, etc. La transmisión de calor a través de la fachada depende tanto de su forma como de su constitución.

Las **superficies de cerramiento** pueden tener diversos objetivos, generalmente aislar y acumular calor, y son posibles diferentes estrategias para lograrlo. Se puede lograr aislamiento térmico con materiales de baja densidad si tienen el espesor suficiente, con la limitación de no acumular calor. Otra posibilidad es el uso de aislamiento y acumulación con un material denso, pero a costa de un gran espesor.

El **aislamiento térmico** se plantea para aislar al material acumulador por la cara externa, para evitar sus pérdidas: son los cerramientos a base de materiales con difusividad térmica alta (alta velocidad de calentamiento) y efusividad alta (alta capacidad de acumulación), como son la piedra, metales o cerámica, siendo el más usado la cerámica en forma de fábrica, aisladas por el exterior.

La estanquidad va ganando importancia a medida que mejoramos el aislamiento, y la atención a los detalles del cerramiento es cada vez más importante.

El uso de la acumulación térmica no tiene por qué limitarse a la envolvente donde frecuentemente se realiza una hoja interna de cierta masa, aunque puede resultar más razonable emplazar tal masa en los forjados, donde sí es necesaria.

En casi todos los climas resulta imprescindible un buen **aislamiento por conducción**, lo que requiere adoptar una forma compacta, prestar atención a la orientación, incorporar materiales aislantes y aplicar complejas organizaciones del acristalamiento. La eficacia del aislamiento puede mejorarse controlando su temperatura superficial mediante los diferentes materiales, el color y la ventilación, y las distintas soluciones contemplan desde un gran aislamiento hasta el aumento de la masa o la incorporación de cámaras de aire.

La cámara de aire se plantea como una interrupción en el flujo por conducción, resultando una hoja aislante que divide el cerramiento en dos hojas independientes. En general, la cámara será exterior a las hojas aislante y acumuladora, protegiendo al aislamiento de saltos térmicos excesivos, lo que mejorará su rendimiento. La cámara nos permite también establecer una corriente de aire en la cara caliente (externa) de la superficie, disipando el calor acumulado para rebajar su temperatura.

Los materiales reflectantes permiten evitar ganancias térmicas por radiación pueden incorporarse reflectores, como acabados metálicos o colores claros en las caras externas. Así lo hacen los paneles metálicos o los muros tradicionales encalados. También puede

establecerse una cámara de aire entre láminas reflectantes, de modo que la radiación entre ellas refuerza su efecto aislante.

La **construcción mural** aporta un conjunto de soluciones coherentes al diseño del cerramiento (es un sistema masivo que concentra sus problemas en los huecos), que incluye elementos de captación y protección solar de todo tipo (galerías, miradores, celosías, jambas, etc.). En general, los diseños de este tipo son conservativos, con altos índices de aislamiento y bajas ganancias térmicas del ambiente exterior. El comportamiento higrotérmico de las superficies opacas se controlaba con su masa, su acabado y con disposiciones tales como la cámara de aire.

El abandono del muro de carga ha supuesto la generalización de los **cerramientos ligeros** y ha permitido además una mayor libertad al diseño del hueco. Ello ha hecho posible un aumento considerable de la superficie acristalada, ha alterado drásticamente el comportamiento de la envolvente y ha abierto nuevas posibilidades al comportamiento energético del edificio.

Hoy empleamos todo tipo de elementos opacos ligeros que resuelven con otros mecanismos lo que antes aportaba la masa mural. Se ha generalizado el aislamiento térmico, la cámara de aire, el cuidado por los revestimientos y, sobre todo, los tipos de juntas, ahora determinantes para el comportamiento del sistema.

Los dispositivos pasivos específicos de captación solar son sistemas optimizados para conseguir energía del sol. Las ventanas y huecos actúan como **captadores directos** de radiación mientras que las galerías acristaladas, los solariums e invernaderos son **sistemas semidirectos** de captación solar, funcionando como **sistemas indirectos** el muro invernadero o el caso particular del muro Trombe.

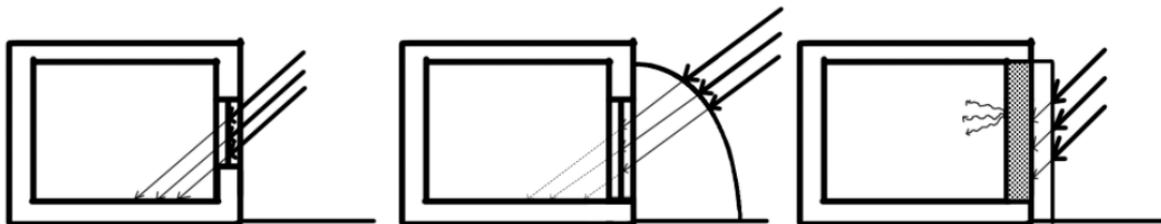


Ilustración 27 Captación directa, captación semidirecta y captación indirecta por fachada (Elaboración propia del autor)

El **aumento de la superficie acristalada** aporta inicialmente visión, luz natural y ganancias térmicas invernales, mientras que el exceso de pérdidas por transmisión hoy está prácticamente resuelto con las tecnologías actuales, aunque todavía las pérdidas sean superiores a las que logra un cerramiento opaco. Por tanto, el aspecto determinante del diseño es el control de la aportación de energía térmica y luminosa que suministra el vidrio.

Los sistemas de captación directa se basan fundamentalmente en el uso del vidrio. Este material permite aprovechar directamente el calor irradiado por el sol, que calienta la masa interna del edificio; la aportación de esa irradiación solar es bastante significativa. Para este efecto, la **orientación** es fundamental.

La defensa más clara ante la radiación solar es mantener el vidrio en sombra, pues de este modo transmitirá únicamente radiación difusa (un 10% de la directa en planos verticales): de ahí la importancia de los sistemas de protección solar.

Todas estas consideraciones comprenden desde la solución de diseñar un hueco apropiado a soluciones de acristalamiento completo; o bien a la idea de un cerramiento variable, cuyos sistemas de protección respondan de diverso modo al clima cambiante.

Por otro lado, con la pared de dos hojas de vidrio apareció un concepto de **muro cortina** diferente en su funcionamiento y construcción, una idea que actualmente está en pleno desarrollo.

Cada vez más se entiende e integra el **acristalamiento como un elemento más del sistema de climatización**, no sólo por su papel en el comportamiento energético del edificio, sino por las misiones específicas que puede tener en la distribución y alojamiento de conductos y mecanismos. En algunos casos, esto lleva a un verdadero protagonismo de la envolvente como elemento del sistema de instalaciones de acondicionamiento.

Inicialmente, la solución consiste en la superposición de un escudo térmico transparente por delante de un cerramiento de vidrio convencional, de modo que el calor absorbido por el escudo se cede al exterior. El vidrio empleado tiene que interceptar gran parte de las radiaciones solares, por lo que se usan vidrios absorbentes o reflectantes. El siguiente paso es incorporar en la cámara un sistema de control solar móvil, protegido de la intemperie, de modo que el escudo térmico no es tal y pueden emplearse vidrios transparentes. Esta cámara puede quedar abierta para disipar el calor acumulado por la celosía y requiere acceso para su mantenimiento y limpieza.

Con esta solución, en invierno tenemos un excelente comportamiento térmico al sumar una nueva cámara al aislamiento (el vidrio interno seguirá exigiendo su propia cámara de aire), pero el comportamiento en verano es muy problemático, pues el aire de la cámara alcanza temperaturas superiores al aire exterior, que han de disiparse por convección: nunca se logra una temperatura inferior a la externa.

La doble hoja se emplea también para lograr la ventilación natural de los edificios: en este caso la hoja interna es batiente o incorpora rejillas de ventilación, y la exterior evita la excesiva presión del aire, sistema que es especialmente funcional cuando esta presión es muy elevada, como en los edificios de gran altura. El funcionamiento de la ventilación depende de cómo sea la cámara: si es continua en vertical, solo se puede usar como extracción, lo que requiere una sobrepresión interna (para no incorporar aire viciado). Si la compartimentación es por plantas, se puede tener entrada y salida de aire en cada planta.

Es frecuente que los cerramientos de este tipo se empleen en edificios sin aire acondicionado, en los que el enfriamiento se logra con techos fríos y la ventilación mecánica es auxiliar e independiente de la instalación de frío y calor.

De otra parte, **la fachada de dos hojas puede aportar un simple retorno del aire**, por plantas independientes y con conducto para un recuperador de calor en la extracción, de modo que se logra atenuar el efecto de 'pared fría', característico de los acristalamientos. El sistema no tiene aquí implicaciones en la ventilación natural.

El resultado de todo esto es un amplio abanico de posibilidades, en el que tanto el vidrio como los elementos opacos y las técnicas de instalaciones desempeñan su papel para configurar un edificio de carácter activo, y capaz de establecer una inteligente relación de intercambio con el medio.

Por último, hay que considerar la posibilidad de emplear **paneles solares térmicos y fotovoltaicos** como cerramiento, tanto en elementos opacos como traslúcidos, con el problema de resolver la fachada con unos elementos cuya vida útil no será muy larga.

Existen diversos tipos en función de la energía generada, de las cuales las más habituales son dos: energía solar térmica y energía solar eléctrica. En edificación se ha generalizado la primera, mientras que la segunda es más habitual en grandes centrales para generación eléctrica a nivel nacional. No obstante, en los últimos años y especialmente en edificios de gran consumo eléctrico se ha comenzado a incluir también **energía solar eléctrica**.

Las placas solares son los elementos más reconocibles de este tipo de instalaciones, también son los elementos que condicionan la instalación y colocación del resto de elementos, debido a que las placas tienen que estar situadas en lugares con gran soleamiento e incidencia. Esto implica reservar un área exterior del edificio para colocarlas. En la mayoría de los casos suele ser la cubierta, no obstante, en los edificios en altura esta disponibilidad es muy pequeña debido a que suelen tener una cubierta reducida, aterrizada, o destinada a colocación de elementos como maquinarias, pararrayos o aljibes.

Por esta problemática, en algunos edificios en altura se está empezando a optar por la colocación de **placas solares fotovoltaicas** en las fachadas. Las placas fotovoltaicas son más delgadas y pueden admitir dimensiones más pequeñas que las placas solares térmicas. Es esta versatilidad en el tamaño (y el correspondiente peso) lo que permite su colocación en otras disposiciones: ancladas, colgadas, etc.



Ilustración 28 Uso de paneles fotovoltaicos integrados en fachada (urbanNext. (s. f.). FKI Tower Adrian Smith + Gordon Gill Architecture [Fotografía]. urbanNext. <https://urbannext.net/fki-tower/>)

Esa versatilidad no es posible con los paneles térmicos, puesto que se trata de un elemento de grandes dimensiones que actúa como intercambiador y acumulador térmico. Aunque el rendimiento de los paneles fotovoltaicos es muy inferior al de los captadores térmicos, la electricidad generada por estos últimos puede ser utilizada en diversas funciones incluyendo Calefacción y ACS. Esto les otorga a los paneles fotovoltaicos una mayor versatilidad a hora de su aprovechamiento. Dado que estos últimos dispositivos se encarecen por la necesidad de las baterías de acumulación, resultan más rentables las instalaciones conectadas a la red.

Iluminación natural y sistemas de control solar

Los **huecos** son el sistema de iluminación más básico que tiene la arquitectura desde sus inicios. Una vez aparece el hueco surge la necesidad de poderlo cubrir por cuestiones de protección ya sea de las fuertes corrientes de aire, del sol o de la entrada de intrusos. El **vidrio** permite solucionar todos estos problemas de maneras más o menos eficaces y seguir permitiendo el paso de luz. El vidrio normalmente es transparente pero no tiene por qué ser siempre así. Las soluciones con vidrios translúcidos permiten el paso de la luz, pero se impide la visión y la ventilación. Además, esa luz es difusa lo que evita deslumbramientos y crea un ambiente interior más agradable.

Otros tipos de huecos son las galerías, porches, invernaderos, patios, atrios o conductos de iluminación, siendo algunas de estas soluciones evoluciones del uso de vidrio. Los que tienen mayor interés para los edificios en altura son las galerías, los porches que en altura se traduciría en terrazas o balcones cubiertos y los invernaderos.

Como respuesta al hueco a lo largo de la historia se han planteado distintos sistemas de protección solar que mejoran las prestaciones del hueco y la calidad interior para los usuarios del edificio.

Aunque el empleo de la iluminación natural representa un ahorro energético, su aplicación más interesante en la arquitectura apunta a la calidad ambiental y, por tanto, en ese sentido debe potenciarse.

La **orientación más adecuada de los huecos** es la que tiende hacia los puntos en los que se capte exclusivamente radiación difusa; en general el norte. Si penetra radiación directa en zonas donde se pretende aprovechar como iluminación natural, los efectos de deslumbramiento que conllevará serán muy negativos y no será posible su aprovechamiento.

Para lograr en otras orientaciones el objetivo deseado, se han planteado varias soluciones de protección solar nacidas indudablemente del **brise-soleil** de Le Corbusier, y consistentes básicamente en anteponer al acristalamiento un mecanismo de sombra. Después, se han desarrollado las **fachadas de 'dos hojas'**, muy populares actualmente, que permiten mayores prestaciones generales en el acondicionamiento del edificio (facilitar la ventilación natural, mejorar el aislamiento termoacústico, otros sistemas de control solar, etc.). Le Corbusier ya había realizado también un primer planteamiento similar con su idea de muro neutralizante.

El brise-soleil es un sistema compuesto por la proyección horizontal del forjado y sistemas de costillas horizontales y verticales, a veces inclinadas. Se construían de hormigón armado, prefabricado a veces, de modo que tenían además una importante capacidad de acumulación térmica. En esas condiciones, el acristalamiento es de ejecución muy sencilla, de forjado a forjado, y el muro cortina no se plantea como tal.

Se construyeron muchas variantes de esta idea, tales como celosías continuas con moldeados de hormigón y diferentes diseños que incorporan cierta movilidad para adaptarse a los cambios estacionales.

Se han empleado también muchos tipos de **parasoles ligeros**, y una solución muy extendida son los elementos a base de **cornisas horizontales metálicas voladas** desde el canto del forjado, como las de la sede del Banco de Bilbao, de Francisco Javier Sáenz de Oíza.



Ilustración 29 Fotografía de los parasoles ligeros en la sede del BBVA de Sainz de Oíza en Madrid (Elaboración propia del autor)

Una opción distinta es plantear un parasol de vidrio que sea absorbente o reflectante, aunque si se mantiene la transparencia su eficacia será siempre relativa.

Otros sistemas también basados en pantallas rígidas son los aleros, las repisas de luz, los antepechos, las aletas y los reflectores.

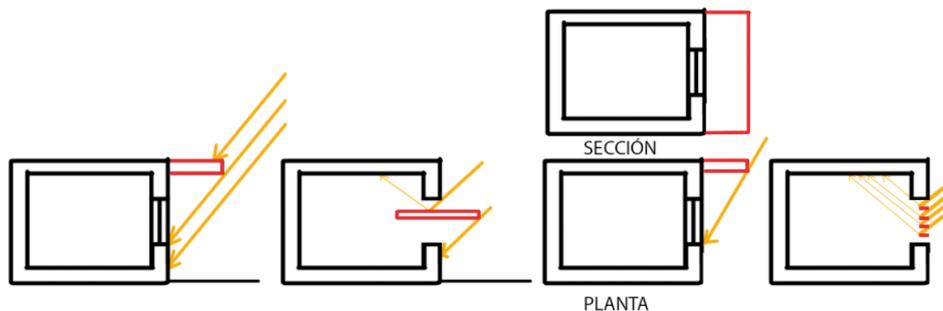


Ilustración 30 Diagrama de alero, repisa de luz, aleta y reflectores (Elaboración propia del autor)

La utilización de vidrios serigrafiados constituye una solución que puede reducir la insolación que entra dentro de la construcción sin tener que crear elementos adicionales. Estos permiten la creación de puntos de sombra en el interior, al impedir las zonas serigrafiadas el paso de luz.

Los elementos móviles salvan dicho problema, aunque exigen más requisitos de mantenimiento. Estos elementos también pueden ser flexibles como las cortinas y los toldos, que impiden parcial o totalmente el paso de la radiación solar y convierten en difusa la luz que los atraviesa. Además, dependiendo de su colocación pueden permitir la ventilación y servir para obtener privacidad visual, siendo susceptibles de recogerse, enrollarse o doblarse para suprimir su acción cuando se desee.

Los filtros solares son otros recursos que actúan como elementos superficiales que cubren exteriormente todo o casi todo el hueco, lo protegen de la radiación solar y permiten la ventilación. Pueden ser fijos o practicables y regulables. Los tipos más utilizados en arquitectura son las persianas de todo tipo y las celosías.

Por último, los obstructores solares son elementos de materiales opacos a la luz y que pueden acoplarse sobre la abertura de un hueco para cerrarlo totalmente, funcionando como barrera de control visual y aislamiento térmico. Tradicionalmente se llaman postigos o contraventanas y pueden estar situados tanto hacia el exterior como al interior.

A veces las mejores soluciones para conseguir la máxima iluminación natural en los edificios, son las que apuestan por plantas con una forma apropiada, huecos amplios con distintas configuraciones y diferentes elementos de control y difusión de la luz.

Las fachadas de vidrio plantean una nueva serie de soluciones. Por un lado, se plantean las **soluciones interiores** como por ejemplo celosías de protección al cerramiento, y en lo posible que éstas sean orientables, incluso automáticamente. Las **protecciones solares externas** es la otra posibilidad de colocación de los sistemas de protección y supone una reducción de las ganancias de calor por insolación, pues se convierte en un hueco en sombra.

Pero en el caso de las fachadas de doble hoja, la creación de la cámara no aporta en principio grandes cambios en cuanto a la insolación, salvo que la hoja exterior se diseñe como un escudo térmico cuyo calor absorbido se cede al exterior y a la cámara. Esta solución está muy generalizada en todo tipo de muros cortina.

En los cerramientos de dos hojas tenemos una tercera opción, la de alojar un sistema de **protección solar pasiva** (celosías o toldos) en la cámara, con la ventaja de protegerlo de la intemperie y ser más eficiente que en el interior. Un producto comercial de este tipo son los paneles acristalados de dos hojas que alojan una persiana veneciana orientable en la cámara de aire. Todo este tipo de sistemas está en pleno auge en el diseño de muros cortina.

Hay otras posibilidades para lograr el control solar, como la proyección de agua sobre el acristalamiento, de modo que al evaporarse reduzca la temperatura superficial.

Por otro lado, son importantes también las características de los acabados superficiales de sus paramentos, al incidir en ellos la luz natural y ser los que harán que el componente actúe de manera diferente, según sean superficies reflectoras, especulares, difusas, absorbentes, etc.

Estrategias energéticas en edificios extensivos

Las **estrategias activas** que mejor se adaptan a la tipología de edificios extensivos son variadas, enumerándose a continuación las más importantes.

En esta tipología, destacan las grandes superficies que ocupan sus suelos y techos. Al igual que ocurre en los edificios en altura, la utilización de sistemas de **suelos y techos calientes y fríos** facilita la climatización de los espacios, llegando a conseguir un gradiente de temperatura muy confortable, cercano al gradiente ideal. Aunque, debido a las grandes alturas libres que suelen caracterizar a los edificios extensivos, se pueden producir corrientes convectivas desagradables en la parte superior. En este caso no hay problemas con el canto del forjado, al no ser el objetivo la construcción del mayor número de plantas posibles, además de encontrarse bajo el edificio el terreno, que puede actuar como un aislante con mucho espesor.

El funcionamiento de las **paredes y fachadas calientes y frías** tienen resultados similares a los conseguidos para los edificios en altura. Sin embargo, en los edificios extensivos las grandes distancias entre fachadas pueden provocar que el calor o el frío no lleguen a apreciarse en las partes centrales, al disiparse antes.

La colocación de los sistemas de aerotermia y geotermia resulta más sencilla, gracias a las grandes superficies de suelo y de cubierta. Respecto a las chimeneas necesarias, estas no suponen una gran pérdida de superficie, al ser más pequeñas que en edificios en altura.

Los **conductos de climatización y ventilación** en esta tipología suelen presentar grandes secciones para dar servicio a las amplias distancias. Asimismo, como consecuencia de las grandes alturas libres de esta tipología, los sistemas de ventilación mecánica pueden provocar corrientes convectivas incómodas para los usuarios. Los sistemas de recuperación de calor y renovación del aire también son utilizados en edificios horizontales con el inconveniente de lo ya dicho de las grandes secciones de tubo.

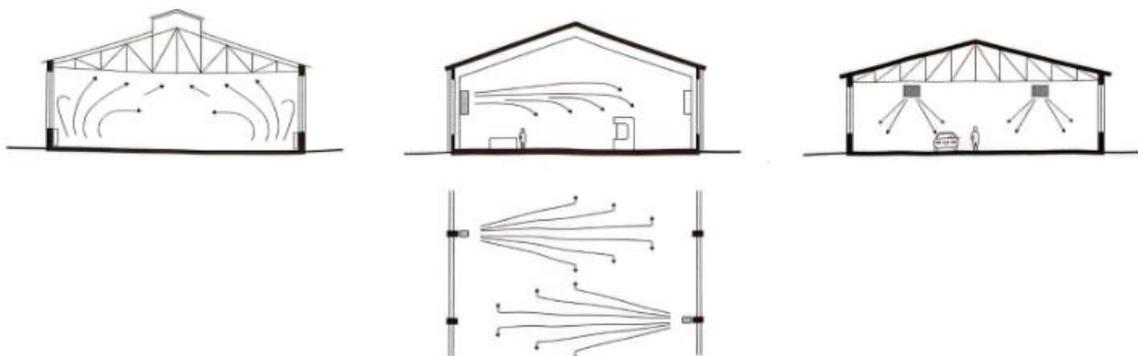


Ilustración 31 Distintas distribuciones del aire en función de la ubicación de los sistemas de expulsión (Wellpott, E. (2009). Calefacción por aire [Ilustración]. En Instalaciones en los edificios (Gustavo Gili ed., p. 291).)

Las **técnicas pasivas** en esta tipología de edificios guardan estrecha relación con su forma, el clima del lugar y la orientación del inmueble.

El **factor de forma** de los edificios en extensión dependerá de su morfología y su superficie. Cuanto más extenso sea el edificio, mayor será la superficie de su cubierta y aún más grande será el incremento de su volumen, por lo que su factor de forma será menor cuanto más amplio sea el edificio.

La climatología ideal para este tipo de edificios es tanto la **templada**, como los **climas cálidos y húmedos**. En estas zonas se opta por aprovechar las ganancias de calor en invierno y las pérdidas en verano, mejorando de esta manera el rendimiento de las instalaciones del edificio. La orientación más beneficiosa para hacer crecer a los edificios siempre es en el eje este-oeste pues aumenta la aportación energética solar de la fachada sur, en el hemisferio norte y de la fachada norte, en el hemisferio sur. En caso contrario de extenderse en sentido norte-sur los edificios de climas cálidos y húmedos son los que mayor penalización tienen.

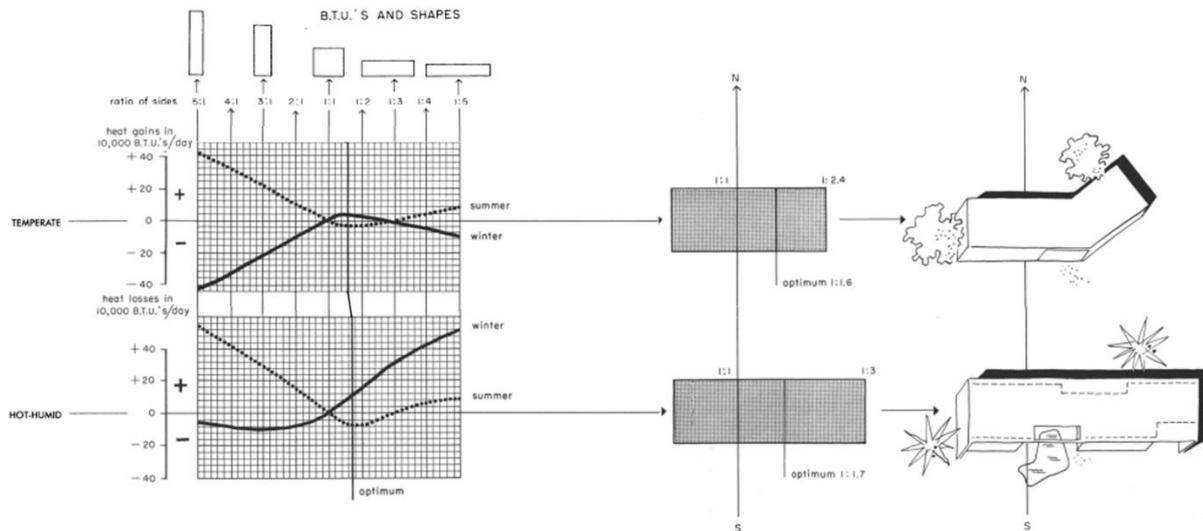


Ilustración 32 Factor de forma en climas templados y cálidos y húmedos (Olgyay, V. (1963). *Basic forms and building shapes in different regions*. [Ilustración]. En *Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism* (Princeton University Press ed., p. 89).)

Los edificios extensivos pueden beneficiarse de dos de sus cualidades principales a la hora de establecer estrategias energéticas en los mismos. Por un lado, su menor altura va a permitir que las **corrientes de aire sean menos fuertes** y más manejables. De otra parte, **su elemento predominante es la cubierta** donde se pueden aplicar diversos sistemas y técnicas tanto para disipar el calor gracias a una buena ventilación, como para captar energía del sol o iluminación.

El bloque lineal es seguramente el tipo contemporáneo más adaptado a una concepción medioambiental del edificio **extensivo**, con **orientaciones preferentes al sur o a este-oeste**, poco fondo de crujía y una amplia repercusión de cerramientos para lograr una generosa **iluminación natural** y una **ventilación cruzada**.

La aplicación de las estrategias que se van a explicar a continuación, aunque también se pueden extrapolar a cualquier tipología, al estar relacionadas con la buena práctica de la arquitectura, tienen una mayor relevancia en los edificios en extensión, destacando las siguientes:

- Aprovechamiento de las condiciones eólicas para ventilación
- Aprovechamiento de la energía solar para calefacción y ACS
- Aprovechamiento de la energía del terreno
- Iluminación natural y sistemas de control solar

Aprovechamiento de las condiciones eólicas para ventilación

En los edificios extensivos el aire no plantea los problemas que este elemento implica en los edificios en altura, por cuanto que **a nivel del terreno el aire tiene una fuerza menor y más controlable**. Al estar más pegados al terreno el roce que produce el viento contra el suelo reduce el movimiento del aire. En ocasiones para mejorar la ventilación, se puede optar por elevar el edificio con el objetivo de aumentar la velocidad del viento que pasa a través del mismo, y permitir que la envolvente desprenda calor por convección.

Por ello, en los edificios extensivos si se encauza de la manera correcta, el viento puede usarse con objetivos similares a los perseguidos en los edificios en altura, es decir, para mejorar la calidad del aire interior, reducir el tamaño de la instalación de retorno de aire, además de servir para reducir las cargas energéticas que tienen que proveer los sistemas activos.

La **orientación de los sistemas de captación y del edificio** en general está vinculada a la energía que se pretende captar y en el caso de la captación de viento, los dispositivos más eficaces son los orientados a vientos dominantes.

Los acabados interiores son igual de importantes en la tipología de los edificios extensivos, debiendo descartarse los desprendimientos de sustancias o cuerpos molestos perjudiciales para la salud.

La manera más fácil de controlar el viento es la diferencia de presión o de temperatura. Uno de los sistemas utilizados es la **convección** que puede controlarse con la forma, generando mecanismos de ventilación natural que pueden emplearse para la regulación térmica y la renovación del aire. El viento al actuar sobre la forma influye en la creación de diferentes regiones a su alrededor, con presiones y succiones de diferente intensidad que dependen del perfil y tamaño de la superficie y de las características del viento.

Los sistemas de convección, sobre todo el aire acondicionado, pueden crear un gradiente térmico poco adecuado, a diferencia del suelo radiante que casi reproduce el perfil perfecto. Las paredes excesivamente calurosas o frías, como por ejemplo un techo radiante o con un número elevado de lámparas halógenas, o un gran ventanal, crean asimetría radiante con otros paramentos, creando molestia.

Los sistemas de encendido–apagado o todo–nada, cuando se mueven en un rango amplio, provocan igualmente incomfortabilidad, al crear un ritmo de variación de temperatura excesivo. El correcto uso de la ventilación puede corregir los efectos de un mal gradiente térmico, reduciendo la incomodidad y pudiendo reducir el consumo de las instalaciones activas.

Ejemplos sencillos de refrigeración por **ventilación natural** son todas aquellas formas con aperturas opuestas para forzar la ventilación cruzada, en este caso predomina en horizontal. Hoy, este mecanismo tiene una gran actualidad, y muchos espacios tradicionalmente acondicionados con ventilación y climatización mecánicas se acondicionan con medios naturales.

Respecto a las techumbres, las **cubiertas ventiladas** eliminan los efectos del sobrecalentamiento sobre la misma, por lo que, en climas calurosos y con alta radiación solar, es conveniente añadir al aislamiento de la cubierta alguno de estos sistemas.

Atendiendo al **ángulo de inclinación y la orientación de las aguas de un techo** pueden emplearse para desviar la trayectoria original del viento, y de esta manera aprovechar mejor su fuerza dinámica para ventilar los ambientes.

La inclinación del techo a favor del viento producirá mayor presión en la fachada de incidencia que techos planos, por cuanto la trayectoria del viento se desvía hacia arriba y produce una mayor masa de aire a presión negativa a sotavento. Mientras mayor es la pendiente mejor es el efecto.

Los techos con pendientes opuestas a la incidencia de los vientos producen un efecto de presión negativa menor, debido a que el aire tenderá más rápidamente a restaurar su trayectoria original para volver a la superficie del suelo.

Las cubiertas a dos aguas con orientación perpendicular a la incidencia de los vientos en la construcción y con poca pendiente permitirán la restauración más rápida de la trayectoria del viento a sotavento, por lo tanto, menor será la diferencia entre sobrepresión y depresión alrededor del volumen. Con techos a cuatro aguas el efecto es más evidente.

Los techados planos con aleros tipo corredor perimetral disminuirán los campos de presión alrededor del volumen. Esta situación se puede mejorar creando remates ascendentes al perímetro de los aleros.



Ilustración 33 Distintos efectos del viento en función del tipo de cubierta (Elaboración propia del autor)

Un sistema de cubierta que puede resultar muy interesante es el de las **cubiertas dobles** porque se puede aprovechar del efecto de colchón térmico. La circulación del aire en la cámara evita que en las épocas de calor el forjado se caliente y debido a su inercia térmica haga de acumulador, irradiando calor hacia el interior.



Ilustración 34 Ejemplo de uso de cubierta doble (Tectónica. (18 de agosto de 2022). Extensión de Escuela Secundaria en Dano, Burkina Faso, de Francis Kéré. Unas aberturas en el techo permiten la salida del aire caliente, buscando la ventilación natural del edificio a través de la cubierta. [Ilustración y Fotografía]. Tectónica. <https://tectonica.archi/articles/cubiertas-ventiladas/>)

La **ventilación cruzada vertical** también es utilizada en los edificios extensivos, principalmente cumpliendo la función de refrigeración de los espacios habitables, expulsando el aire caliente y más húmedo desde la parte inferior hacia la parte superior debido a su menor densidad. De este modo permanece en la parte inferior el aire más seco y fresco. Para conseguirlo se recurre a la extracción por cámara solar o mediante sistemas de aspiración estática.

Otras técnicas empleadas son las **torres de viento** que se basan en el sistema opuesto al anterior, tomando el aire fresco de las zonas altas para introducirlo dentro del edificio. De esta manera se logra expulsar el aire caliente mediante una ventana en una zona algo elevada.

Asimismo, el **sistema basado en el efecto evaporativo** es un fenómeno que se puede conseguir de diversas maneras. La primera es aprovechando masas de agua ya existentes, al ubicar nuestro edificio en las proximidades y orientarlo aprovechando corrientes de aire en el eje del edificio y la masa de agua. Este mecanismo es más eficaz en climas cálidos y secos donde se puede aumentar bastante la humedad ambiente y que la evaporación de agua sea la máxima posible.

El mismo efecto se puede conseguir con la proyección de agua sobre la cubierta para reducir así la temperatura de los paramentos con los que entra en contacto, aprovechando el hecho de que el agua al pasar a estado gaseoso absorbe energía del entorno, reduciendo la temperatura ambiente.

Distinto método, pero relacionado al anterior es el uso de patios con fuentes o masas de agua. Estos aplican el mismo mecanismo que el indicado antes utilizando el efecto evaporativo para reducir la temperatura ambiente. Aunque el patio puede utilizar otros sistemas como la creación de sombras o el uso de vegetación que reducen la radiación solar y por ende la temperatura del aire.

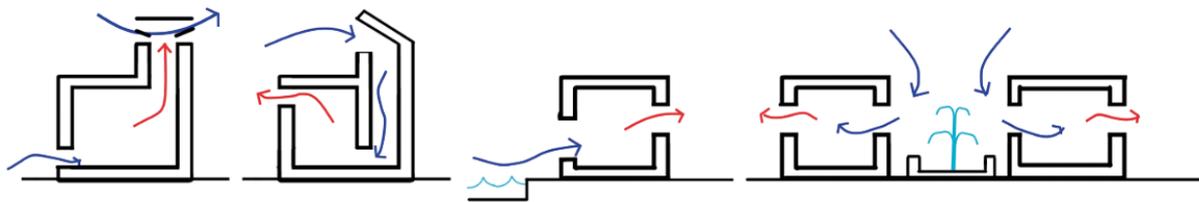


Ilustración 35 Esquema del sistema de tiro térmico, torre de viento, efecto evaporativo y patio (Elaboración propia del autor)

Finalmente, en los edificios extensivos el uso de aerogeneradores es menos viable que en los edificios en altura, al depender principalmente de que en su ubicación haya corrientes de viento que sean convenientes para el buen funcionamiento de estos sistemas.

Aprovechamiento de la energía solar para calefacción y ACS

El edificio extensivo tiene como elemento principal su **cubierta**, siendo un elemento dominante de su diseño que determina el comportamiento ambiental de todo el complejo. Como se ha mencionado anteriormente, la orientación de los dispositivos de captación y del edificio está vinculada a la energía que se pretende captar. En el caso de la radiación solar, la **orientación** más adecuada para su mejor captación durante el invierno y para evitar efectos perjudiciales en el verano, en toda España es la sur. El objetivo que se busca en los cerramientos es el de aislar y acumular calor, y se utilizan diferentes estrategias para captarlo.

Respecto a las techumbres, una **cubierta plana** recibe el cien por cien de las horas de sol durante el día. En verano, además, los rayos que inciden sobre ella en los momentos de máxima irradiancia lo hacen de una forma muy perpendicular.

Los **sistemas captadores** son aquellos conjuntos de componentes de un edificio que tienen como función captar la energía de la radiación solar y transferirla al interior en forma de calor.

Los sistemas captadores se caracterizan por su rendimiento a la captación y por su factor de retardo. El rendimiento a la captación es la relación entre la energía que penetra en el ambiente interior y la energía radiante incidente, mientras que el factor de retardo (f) expresa la uniformidad en el tiempo de la penetración de la energía en el ciclo de 24 h, como relación entre la energía que entra en horas sin radiación (noche) y la que entra como media diaria de las 24 h del ciclo.

Los sistemas captadores **directos** son aquellos sistemas de climatización natural donde la energía radiante penetra directamente en el ambiente interior que se quiere acondicionar.

La radiación solar atraviesa superficies transparentes a la radiación de onda corta, como es el caso del vidrio de ventanas o lucernarios. Una vez ha penetrado es absorbida por las superficies interiores y las calienta. La energía térmica acumulada se cede al ambiente con retardo y amortiguación, por convección y radiación de onda larga, siendo esta radiación del tipo que no atraviesa el vidrio. La masa térmica en contacto con las superficies del interior sirve para reducir las oscilaciones de la temperatura del aire. El factor de retardo de los sistemas directos es nulo.

En los sistemas directos se recomienda el uso de aislamiento móvil en las aberturas, para mejorar el aislamiento nocturno del edificio, que es en general demasiado bajo si existen grandes superficies de vidrio.

Los **sistemas captadores semidirectos** son aquellos donde, entre el ambiente interior y el exterior, se interpone un espacio que capta la energía solar. Este **espacio intermedio o invernadero** tiene una alta capacidad para captar radiación y, por lo tanto, unas condiciones térmicas medias mayores que las del exterior, con una oscilación de temperaturas muy acentuada. La radiación que penetra en el invernadero es absorbida dentro del mismo, se convierte en calor y se puede ceder al ambiente interior por conducción o por convección.

Los **sistemas captadores indirectos** son aquellos en los que la captación se hace mediante un **elemento acumulador que almacena energía**, para ceder posteriormente el calor al ambiente interior. La radiación, después de atravesar un vidrio, es absorbida y se acumula como calor en un elemento opaco de gran capacidad térmica. Desde este elemento se cede al ambiente interior como radiación de onda larga y por convección superficial y en el proceso se produce un retardo y una amortiguación de la oscilación de temperaturas. La pérdida de energía del sistema hacia el exterior puede reducirse con aislamientos móviles y vidrios dobles.

Los sistemas indirectos pueden clasificarse por fachadas, por cubierta o por suelo, según la situación del elemento de acumulación de calor. Los más habituales son los de techo, que tienen un elemento de acumulación horizontal en la cubierta, por la cual capta la radiación y la cede al interior.

El caso más usual es la cubierta de agua o cubierta estanque, que está realizada con bidones o sacos de plástico transparente llenos de agua, sobre un forjado pintado de color oscuro y buen conductor del calor. La masa de agua se utiliza como almacén de calor, captando en invierno la radiación solar para reemitirla hacia el ambiente interior. En verano el sistema puede refrigerar, enfriándose durante la noche por emisión de radiación hacia el cielo.

Son sistemas con bajo rendimiento a la captación de la radiación de invierno, que llega con un ángulo desfavorable. Por este motivo son aconsejables en regiones de baja latitud, donde mejora el ángulo de incidencia y además puede ser interesante usarlos también en verano. Como variante en latitudes altas pueden usarse aberturas inclinadas o verticales en una sobrecubierta que protege la acumulación. En todo caso es interesante utilizar aislamiento móvil, de noche en invierno y de día en verano.

La energía acumulada en la cubierta pasa al interior por conducción atravesando el forjado, con retardo y reducción de oscilación. Del forjado al ambiente la cesión es únicamente por radiación, de forma que se reduce el rendimiento del sistema en funcionamiento invernal.

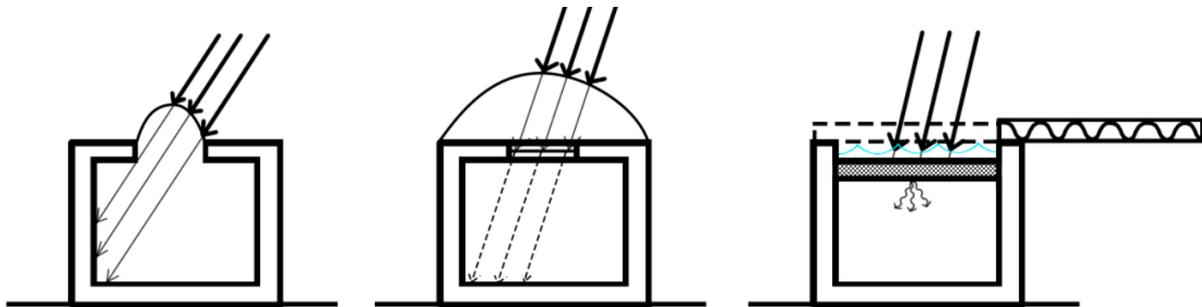


Ilustración 36 Captación directa, captación semidirecta y captación indirecta por cubierta (Elaboración propia del autor)

Los **sistemas captadores independientes** son sistemas de climatización natural donde la captación de la energía radiante, su acumulación y su cesión al ambiente interior que se quiere acondicionar, se hacen mediante componentes que son independientes entre ellos.

Aquí vuelven a entrar en juego los **sistemas de paneles solares** térmicos y fotovoltaicos. Estos en los edificios extensivos se suelen colocar en las cubiertas, siendo más versátiles en las cubiertas planas y algo más condicionado en las cubiertas inclinadas.

Por otra parte, están los **sistemas de inercia** que son partes o componentes de un edificio que incrementan su masa respecto a la masa constructiva inicial. Actúan estabilizando la temperatura interior frente las oscilaciones de las condiciones exteriores.

Su funcionamiento los hace adecuados para mejorar los efectos de las oscilaciones de temperatura exterior, tanto en el caso del frío como en el del calor. Estos sistemas están caracterizados por su masa térmica útil, que es la que le conferirá al edificio inercia térmica en sus variaciones de temperatura. La inercia del edificio en un ciclo concreto, que puede ser diario, semanal o anual, es la capacidad de retener o ceder calor en el ciclo considerado. Las masas que tienen un grueso considerable actúan mejor en los ciclos de larga duración, ya que la transferencia del calor tiene suficiente tiempo para atravesar toda la masa.

Los **sistemas de inercia interior** están formados por elementos de gran capacidad térmica situados en el interior del edificio. Actúan amortiguando las oscilaciones interiores de temperatura producidas por la irregularidad de ganancias y pérdidas. Estos elementos pueden ser materiales de construcción pesados o recipientes con agua, debiendo tener un contacto térmico preferente hacia el interior. Para favorecer el funcionamiento se deben situar las masas térmicas en las zonas del edificio donde el intercambio energético sea más grande, que normalmente está cercano a las superficies vidriadas, en los locales periféricos, etc.

Los **sistemas de inercia en cubiertas** son aquellos que disponen de elementos de gran capacidad de acumulación térmica en la cubierta del edificio, para amortiguar el efecto interior de las oscilaciones energéticas. Como masas térmicas se pueden utilizar recipientes o bolsas de agua colocadas sobre el forjado, formando la mencionada cubierta-estanque o materiales sólidos de construcción de alto peso específico, colocados en el mismo lugar.

Aprovechamiento de la energía del terreno (arquitectura enterrada)

El aprovechamiento de la energía del terreno se basa en dos principios básicos: el de la inercia, basado en la amplitud de medida de los muros de las construcciones enterradas que alcanzan varios metros y el relativo a la temperatura más o menos constante del terreno, que convierte a estas construcciones en casi insensibles a los cambios térmicos exteriores.

Los efectos de mantener una temperatura tan estable se reducen cuando la cueva, comparable con una construcción enterrada, es muy superficial o poco profunda. Además, aunque no se aprecien alteraciones térmicas a lo largo del día, si se apreciarán algunas variaciones a lo largo del año.

Teóricamente para amortiguar las variaciones día-noche el espesor debe ser de 20 a 30 cm, para amortiguar las variaciones entre días de distintas temperaturas, espesor de 80 a 200 cm, y para amortiguar variaciones invierno-verano, espesores de 6 a 12 m.

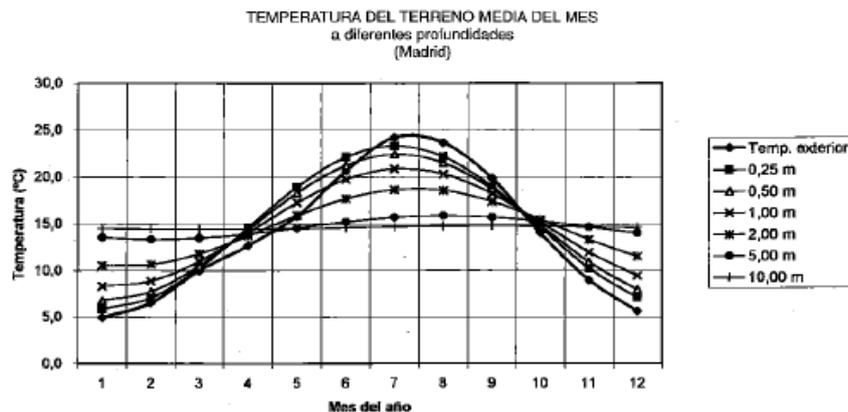


Ilustración 37 Relación entre profundidad y temperatura (Neila González, F. (2004). Variación de la temperatura del terreno a lo largo del año según la profundidad. [Gráfico]. En *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. (Munillalera, Ediciones. ed., p. 40)

La sensación de bienestar que se tiene dentro de una cueva, trasladable a una construcción enterrada, es mayor en verano que en invierno debido a que la temperatura media del día en verano está más próxima al confort que la de invierno. No obstante, durante el verano puede llegar a hacer frío en el interior de una casa-cueva.



Ilustración 38 Distintas formas de relación del edificio con el terreno (Elaboración propia del autor)

Los **sistemas de inercia subterráneos** son los que resultan de enterrar o de excavar, total o parcialmente, el edificio. Los gruesos importantes de tierra tienen una gran inercia térmica y por lo tanto el interior del edificio queda en contacto con superficies de temperatura prácticamente constante, independiente de las variaciones energéticas de corta duración del clima exterior.

En la actualidad se han planteado instalaciones como **bombas de calor que se apoyan en la energía geotérmica** que es la energía en forma de calor situada bajo la superficie de la tierra. Mediante los diferentes sistemas de captación se realiza el intercambio de calor con el terreno. Es una de las energías renovables más eficientes hoy en día y se puede aprovechar en cualquier lugar del mundo y de forma continua.

Otra forma de aprovechar la energía del terreno es la creación de **sistemas de ventilación subterráneos**. Estos normalmente se utilizan en climas cálidos para el suministro de aire frío. Este mecanismo funciona eficientemente en climas que tengan grandes oscilaciones térmicas. El uso de los conductos situados a gran profundidad (entre 6 y 12 metros según el tipo de terreno), pueden llegar a alcanzar una temperatura prácticamente constante durante todo el año.

Para obtener un efecto apreciable, al cederse el calor del aire a la tierra lentamente, se deben utilizar conductos con unos recorridos subterráneos muy largos. Por este motivo, es un sistema que mejora en edificios de uso discontinuo. Si el aire que tratamos es seco, el rendimiento del sistema se puede optimizar si el terreno es húmedo, porque aumenta su transmisión térmica y además puede enfriarse el aire por evaporación.

Las indudables ventajas del sistema se ven limitadas en algunas zonas que están afectadas por desprendimientos de radón, un gas radiactivo natural, debido a su acumulación en sótanos. Los terrenos con base granítica son los más propensos a la producción del radón. En ellos se deben evitar los locales por debajo de la rasante, y si fuera imprescindible, se debería proceder a su correcto sellado y a una potente ventilación por sobrepresión.

Aunque las **cubiertas vegetales** no tienen por qué estar a nivel de suelo, siguen aprovechándose de conceptos similares a si estuviera enterrado el edificio. Las cubiertas vegetales del tipo ecológico (de escaso espesor, con especies autóctonas, sin mantenimiento y con un consumo de agua mínimo) eliminan los efectos del sobrecalentamiento sobre la cubierta, por lo que, en climas calurosos y con alta radiación solar, es conveniente añadir al aislamiento de la cubierta alguno de estos sistemas. Además, las cubiertas vegetales proporcionan una ventilación superficial, utilizando la distribución de los elementos orgánicos en la cubierta, permitiendo la circulación del aire para que se renueve.

Relacionado con los sistemas de captación solar enumerados anteriormente, están los **sistemas indirectos por suelo** que son aquellos que tienen un elemento captador y acumulador de la energía solar, que está situado bajo el suelo del ambiente interior que se pretende acondicionar.

Este elemento captador y acumulador acostumbra a ser un depósito de piedras, aunque también puede ser de agua, con una alta masa térmica, cuidadosamente aislado y que capta la energía radiante por una superficie orientada hacia el Sur.

La energía solar pasa desde la superficie de captación al interior del depósito por convección natural del aire o del agua. La cesión de energía al ambiente interior en el caso más directo se hace desde el suelo, por convección superficial y radiación de onda larga y se produce un cierto retardo y amortiguación de la oscilación.

Iluminación natural y sistemas de control solar

En los edificios en extensión el aprovechamiento de la iluminación natural se convierte en uno de los grandes retos que es preciso afrontar, debido a la gran distancia que puede existir entre las fachadas y un punto central, al no alumbrar adecuadamente la iluminación que entra. Por ese motivo, el planteamiento de **huecos en la cubierta** se convierte en una solución bastante socorrida, aunque no es la única posibilidad. Otra opción es realizar patios para crear fachadas interiores que reduzcan las distancias entre las fachadas y los puntos intermedios. Una solución a caballo entre el patio y los huecos de techo son los atrios.

Los **patios**, desde el punto de vista lumínico, se interpretan como espacios rodeados por los muros de un edificio o de diversos edificios y abiertos al exterior por su cara superior. Son espacios con condiciones lumínicas similares a las del exterior, de forma que permiten una cierta iluminación natural. Sus tamaños son distintos y por lo general su altura es mayor que su anchura. Cuando los acabados son de colores claros el efecto lumínico aumenta.



Ilustración 39 Ejemplo de patio (Museo Memoria de Andalucía, Granada de Alberto Campo Baeza) (Callejas, J. (25 de febrero de 2021). Museo Memoria de Andalucía, Granada de Alberto Campo Baeza [Fotografía]. Arquitectura Viva. https://arquitecturaviva.com/assets/uploads/obras/38806/av_41302.jpeg?h=3db132a2)

Otros elementos de conducción adecuados en los climas fríos son los **atrios**, que son espacios de la zona interior del volumen de un edificio que están en contacto con el ambiente lumínico exterior por su cara superior, pero que están separados del mismo por un cerramiento acristalado. Son espacios considerados como interiores al edificio, ya que normalmente tienen funciones definidas, que pueden ser albergar las comunicaciones verticales o espacios de relación. Permiten cierto acceso de luz natural a otros espacios subsidiarios conectados con él.

El tamaño habitual de este elemento tiene una elevación similar a la del edificio o algo inferior y una superficie en planta muy distinta en función de su uso y dimensiones del edificio. Los materiales de la envolvente generalmente son transparentes o difusores, aguantados por una estructura que suele ser metálica. Los tonos claros en los acabados interiores favorecen la distribución de la luz.



Ilustración 40 Ejemplo de uso de atrio (Ampliación del British Museum de Norman Foster) (Young, N. (24 de enero de 2021). Renovación del British Museum, Londres, Norman Foster [Fotografía]. Arquitectura Viva. <https://arquitecturaviva.com/obras/renovacion-del-british-museum>)

La modalidad de los huecos en la cubierta ofrece una importante variedad de soluciones para captar luz y calor en los edificios, destacando algunas variantes que a continuación se describen.

Los **tubos solares** están diseñados para conducir luz que captan del exterior hasta zonas interiores del edificio que de otra manera serían difíciles de iluminar con luz natural. Proporcionan normalmente una luz difusa y sus dimensiones son pequeñas, ya que al no tener otra utilización funcional se procura reducir al máximo posible la sección, mientras que su longitud máxima útil llega hasta 10 m. Su interior está revestido de espejos u otras superficies reflectoras. El extremo captor de la radiación tiene un componente especial proyectado para recoger eficazmente los rayos de sol, que puede ser fijo o móvil, diseñado para favorecer el acceso del sol en los períodos del año o las horas del día que interese.



Ilustración 41 Sección tubo solar (Ecoinventos. (30 de enero de 2022). Sistema de iluminación natural Solatube [Ilustración]. Ecoinventos. <https://ecoinventos.com/solatube-luz-natural/>)

Las **aperturas cenitales** se sitúan en cerramientos horizontales de la cubierta. Los más característicos en la arquitectura son los lucernarios, las cubiertas en diente de sierra, los forjados translúcidos y las claraboyas, las cúpulas y las linternas.

Los **lucernarios** son elevaciones sobre el plano de la cubierta de un espacio, con aberturas verticales o inclinadas en uno de los laterales. Pueden permitir la ventilación natural sin visión exterior y crean niveles altos de iluminación en el ambiente interior, con luz normalmente difusa.

Las **cubiertas en diente de sierra** son un conjunto de planos de cubierta con cumbreras paralelas, que dejan entre ellas una serie de aberturas lineales, verticales o ligeramente inclinadas, por donde penetra la luz del cielo, directamente o por reflexión en los otros planos opacos de la cubierta.

Los **forjados translúcidos** son cerramientos horizontales transitables, contruidos parcialmente con materiales translúcidos, que separan dos espacios interiores superpuestos, o uno de estos espacios respecto al exterior, permitiendo acceder luz cenital difusa al espacio inferior.

Las **claraboyas** son aberturas situadas en la cubierta de un espacio habitable, que permiten la iluminación cenital de las zonas que están bajo las mismas. En algunos casos son practicables y por lo tanto permiten la ventilación del espacio inferior. Los materiales del cerramiento son vidrios o plásticos translúcidos o transparentes, para permitir la entrada de la luz natural, pudiendo incorporar una gran variedad de elementos de control.

Las **cúpulas** son cubiertas semiesféricas con perforaciones para permitir la entrada puntual de la luz o también pueden estar contruidas globalmente con materiales translúcidos, de forma que la luz atraviesa a través de toda su superficie.

Asimismo, se llaman **linternas** a las aberturas situadas en el punto más alto de una cúpula, protegidas por una pequeña cubierta levantada por encima del plano superior de aquella.

En muchas realizaciones actuales se pueden encontrar formas óptimas que tiene su origen en la técnica del invernadero, utilizando superficies de simple y doble curvatura, con una estructura mínima para lograr la conservación de la energía.

No hace mucho tiempo, la mayor parte de las construcciones de vidrio contemporáneas se preocupaban por conseguir un espacio de características espectaculares, pero estaban poco atentas a las nuevas posibilidades en sus aspectos energéticos. Una excepción a todo esto fue la arquitectura de Fuller, que desde el inicio se identificó por una visión mucho más orgánica del problema. La **cúpula geodésica** con una envolvente transparente, de vidrio o plástico, es una constante en su obra, dictada por la búsqueda simultánea del óptimo estructural y energético.

En la evolución reciente del espacio acristalado una solución muy empleada ha sido la **bóveda de cañón**, que tiene la ventaja de poder acristalarse con un solo tipo de pieza.

Finalmente, los elementos de protección solar son similares a los que se usan en los edificios en altura adaptados cuando es necesario a los huecos de techo, usando sistemas fijos como umbráculos o sistemas móviles como toldos. Un elemento que tiene bastante más importancia en los edificios extensivos para la obtención de sombras es el uso de la vegetación.

Casos de estudio

La mejor forma de comprender los efectos de las instalaciones en los distintos tipos de edificios es mediante un análisis práctico de edificios reales. Por ello en el presente Trabajo de Fin de Grado se va a realizar el estudio de las instalaciones de dos edificios emblemáticos británicos del estilo **High-Tech**. Ambos de uso dotacional, proyectados en la segunda mitad del siglo XX por dos arquitectos coetáneos, de reconocido prestigio:

- El **Centro Sainsbury de artes visuales**, diseñado por Norman Foster en la ciudad de Norwich (inaugurado en 1978) y
- El **Lloyd's Building**, proyectado por Richard Rogers para la City de Londres (inaugurado en 1986).

Estas dos construcciones son relevantes porque integran en su diseño las instalaciones, incorporando la tecnología más avanzada del momento para lograr un funcionamiento idóneo. Los edificios objeto de este trabajo son exponentes de la fascinación de la arquitectura por la tecnología, que destacó en las décadas que siguieron a la Segunda Guerra Mundial.

Ambos consiguen desarrollar formas arquitectónicas nuevas que utilizan estructuras ligeras, técnicas de construcción industrializada y soluciones innovadoras de ingeniería. Los arquitectos e ingenieros contribuyeron a generar una nueva tipología de edificio o "superestructura" replanteándose los lugares y los espacios dedicados a la cultura, al trabajo y a la vida en general, apostando por formas novedosas que pudieron parecer transgresoras en aquel momento, aunque acabaron desplegando su influencia en todo el mundo, como referentes destacados.

Los dos edificios pertenecen al estilo High-Tech. Se trata de un estilo arquitectónico que surge en los años setenta del siglo pasado, a partir de una generación de arquitectos (británicos en su mayoría) que apostaron por romper con las normas. Aquellos arquitectos estaban inmersos en las ideas utópicas y experimentales de los últimos coletazos del Movimiento Moderno, y compartieron ideas, formas y materiales. La denominación toma su nombre del libro: "*The Industrial Style and Source Book for The Home*", publicado en 1978 por Joan Kron y Suzanne Slesin. El libro expone abundantes modelos donde priman los materiales industrializados particularmente utilizados en techos, pisos y muros.

La corriente High-Tech es conocida por su expresionismo estructural, porque los edificios muestran sus funciones internas como parte de su diseño con orgullo y exhibiéndolas de forma atrevida. Con esa presentación pretenden lograr la finalidad de plasmar en todos los diseños y fabricaciones una apariencia industrial. La tecnología de los materiales también es uno de sus rasgos característicos, pues no hubiera sido posible su nacimiento sin la evolución del hormigón y el acero.

Inicialmente la arquitectura High Tech implicó una revitalización del Movimiento Moderno, un desarrollo natural de las ideas precedentes, pero apoyado en los instrumentos que ofrecen la innovación y la tecnología, en constante evolución. Este período hace de puente entre el Movimiento Moderno y el Postmodernismo.

Tomó además elementos del movimiento japonés **Metabolista**, que había surgido en 1960 en el contexto del futurismo, cuyo propósito era dar respuesta al desafío que plantean las urgencias de una sociedad urbanita y a la falta de espacio de las ciudades donde se trabaja. El metabolismo arquitectónico planteaba que las ciudades y las formas que las componen debían ser concebidas como seres vivos, flexibles y adaptables, y crecer orgánicamente para afrontar las nuevas necesidades de sus habitantes, donde la tecnología llegaba al extremo de imaginar edificios y ciudades de ciencia ficción.

Otro referente para el movimiento High-Tech, fueron las ideas del grupo de arquitectura de vanguardia **Archigram**, creado en la década de 1960, principalmente en la Asociación de Arquitectura de Londres, que abogaba por lo futurista, antiheroico y pro-consumista, inspirándose en la tecnología, con el fin de crear una nueva realidad que fuese expresada solamente a través de proyectos hipotéticos.

El escritor y crítico de la arquitectura británica, Reyner Banham, decía que un edificio para pertenecer al estilo High-Tech debía seguir una serie de parámetros, que se identifican con los siguientes:

- “Características canónicas [de la arquitectura ‘High-Tech’]:*
- a) espacios extensos, abiertos y diáfanos en todas las plantas;*
 - b) alto nivel de infraestructuras tecnológicas;*
 - c) estructura metálica claramente visible;*
 - d) exhibición patente de las instalaciones;*
 - e) estética derivada de (o enfatizando) los puntos c) y d)”.*

Aunque el estilo High-Tech se “funda” en los años setenta del pasado siglo, no surge de la nada. Se puede observar que especialmente desde mediados del siglo XIX y a lo largo del siglo XX el gran interés por las tecnologías incipientes, fue dejando una destacada huella en la arquitectura.

Se podría decir que el primer edificio High-Tech fue el *Crystal Palace*, obra de Joseph Paxton en el año 1850-1851, un edificio de acero fundido y vidrio, el cual cumple casi todos los puntos anteriores a excepción de la exhibición patente de las instalaciones, aunque hay que tener en cuenta que muchas de las instalaciones a las que se hace referencia en las características canónicas todavía no estaban tan popularizadas. Este edificio supuso un antes y un después para la arquitectura moderna y fue un referente no solo para el estilo High-Tech, sino para el Movimiento Moderno que lo precedió.

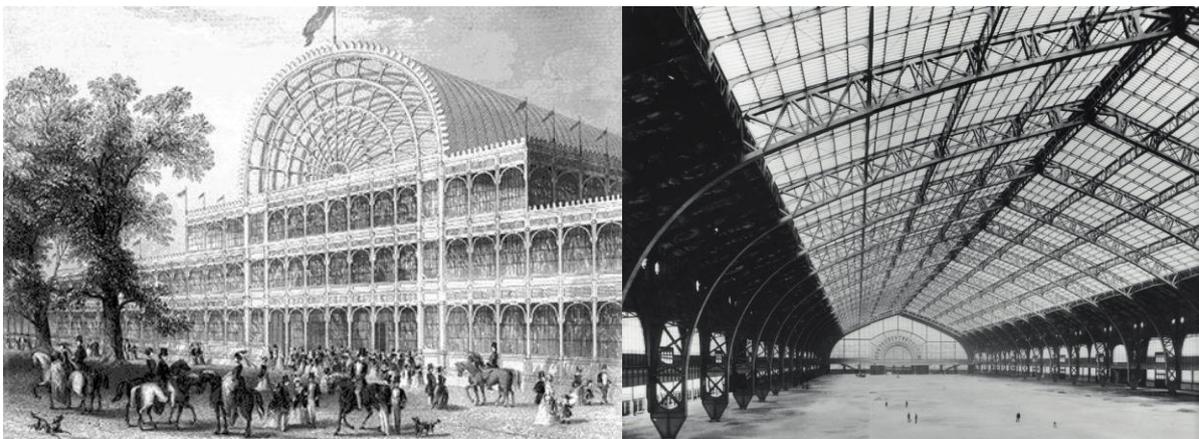


Ilustración 42 Imagen de la izquierda Crystal Palace (Wikimedia Commons. (13 de marzo de 2005). Crystal Palace [Ilustración]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crystal_Palace.PNG)

Ilustración 43 Imagen de la derecha Galerie des Machines (Estévez-Cimadevila, J., & López-César, I. (29 de octubre de 2015.). Galería de las Máquinas. Exposición Universal de París 1889 Figure 1. Galerie des Machines. Universal Exposition of Paris 1889. [Fotografía]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Galeria-de-las-Maquinas-Exposicion-Universal-de-Paris-1889-Figure-1-Galerie_fig1_283846538)

El siguiente edificio a reseñar es la *Galerie des Machines* de Ferdinand Dutert y Victor Contamin en el año 1889. Este hito se presenta como ejemplo de la capacidad de crear espacios extensos, abiertos y diáfanos en toda la planta, además de su estructura de alta tecnología.

De esos antecedentes del siglo XIX pasamos al siglo XX y concretamente al **Movimiento Moderno**, cuyos seguidores siempre presentaron un gran interés por la estandarización, “*Los cinco puntos de la arquitectura*” y “*Hacia una arquitectura*” de Le Corbusier, la internacionalización y la homogeneidad referida a conseguir dar la misma solución sin importar donde se realizará. Estos arquitectos siempre tuvieron en mente que las nuevas tecnologías eran necesarias para el mayor confort de los usuarios de los edificios, demostrándolo con pequeños gestos, pero nunca haciendo que estos fueran protagonistas únicos del diseño.

Una de las figuras que va a ser clave como referente de la arquitectura High-Tech es **Buckminster Fuller**, pues dejó una huella en los arquitectos pertenecientes a este estilo pues siempre tenían en mente una pregunta que decía: “*Madam, do you know what your house weighs?*”, que se traduciría como: “Señora, ¿sabe cuánto pesa su casa?”.

En los años sesenta tras la caída del Movimiento Moderno surgen una serie de arquitectos con un interés cada vez mayor en las instalaciones que precisan las construcciones, integrándolas de forma magistral dentro de sus edificios, pero sin llegar a exhibirlas como elemento protagonista. En este grupo se encuentran arquitectos como Ezra Ehrenkrantz, Eero Saarinen, James Stirling, Yona Friedman, Buckminster Fuller o el estudio Archigram, entre otros.

Una mención especial merece **Reyner Banham** y su libro “*A House is not a Home*”, donde viene a concluir que, al diseñar una casa, con el aumento de instalaciones que estaban apareciendo, casi se podría llegar a omitir lo que es su carcasa, referido a fachadas y cubiertas, por la relevancia que estaban alcanzando las instalaciones en los edificios.

En 1963 surge el **Team 4** compuesto por Su Rogers, Wendy Cheesman, Norman Foster y Richard Rogers, que se disolvería en 1967, donde algunos de los arquitectos que serán fundamentales en el impulso de la arquitectura High-Tech desarrollaron este estilo. Sus proyectos llevan un marcado sello industrial, en el sentido de que emplean en los edificios elementos que se repiten multitud de veces, circunstancia que favorece la conveniencia de que sean fabricados en lugares alejados de la obra. Además, frecuentemente se diseñan componentes para un edificio ex profeso, reflejando con ello un estilo de buena manufactura.

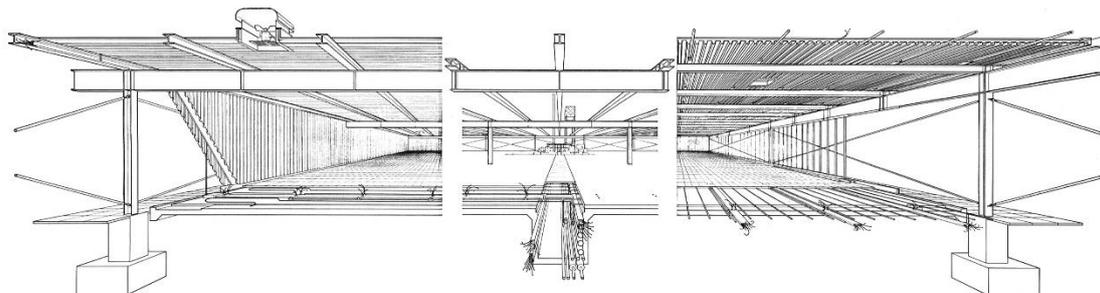


Ilustración 44 Reliance Controls Factory, última obra del Team 4 (Team 4. (noviembre de 2018). Figure 5 [Ilustración]. Atlas of Places. <https://www.atlasofplaces.com/architecture/reliance-controls/>)

La última obra del Team 4 es el Reliance Controls Factory, una fábrica de material electrónico, proyectada y construida en sólo diez meses, de 1965 a 1966.



Ilustración 45 Centro Pompidou de Renzo Piano y Richard Rogers en París, Francia (NJIT competition drawing. (4 de octubre de 2010). Clásicos de Arquitectura: Centre Georges Pompidou / Renzo Piano + Richard Rogers [Fotografía]. archdaily. <https://www.archdaily.co/co/02-54879/clasicos-de-arquitectura-centre-georges-pompidou-renzo-piano-richard-rogers>)

En los años setenta, el centro Pompidou de los arquitectos Renzo Piano y Richard Rogers en París, será la primera obra que se va a definir de forma total como arquitectura High-Tech. Este edificio plantea la colocación de todos los elementos de instalaciones y comunicaciones en la parte del perímetro, permitiendo esa disposición un gran espacio central diáfano. Estos elementos siempre quedan expuestos y se convertirá en el sello de identidad del edificio.

Algunas obras también emblemáticas que se encuadran dentro del concepto High-Tech, son las siguientes: el edificio diseñado para la compañía 'Willis Faber & Dumas' por Norman Foster 1971-1975, o el Sainsbury Centre for Visual Arts, también obra de Norman Foster de 1974-1978 y el Museo para la 'Menil Collection' de Renzo Piano de 1982-1986.

El culmen de este estilo se produce en la década de los ochenta con dos hitos el 'Hong Kong & Shanghai Bank' de Norman Foster de 1979-1986 y el edificio Lloyd's de Richard Rogers de 1978-1986.

En el periodo de finales del siglo XX y principios del XXI el estilo High-Tech no se ha estancado, sino que ha evolucionado, incluyendo dentro de sus preocupaciones la sostenibilidad ambiental, avanzando hacia un estilo nuevo: el **Eco-Tech**. Destacando en esa línea obras recientes como el Ayuntamiento de Londres de Norman Foster de 1998-2002 o el Rascacielos para el 'New York Times' de Renzo Piano de 2000-2007.

Edificio Lloyd's

El proyecto del Edificio Lloyd's se realiza por encargo de una de las compañías de seguros más importantes del mundo, Seguros Lloyd's de Londres, para un emplazamiento en el corazón económico de la City Londinense.

La compañía llevaba años creciendo y su plantilla se había triplicado en los últimos 50 años, por lo que en 1978 optaron por la dotación de un nuevo espacio para que durará los próximos 50 años. La compañía invitó a participar en el nuevo diseño a un total de 40 empresas de las que se pidió a seis que presentaran su propuesta.

El lugar elegido para el nuevo inmueble no obedece al azar, por cuanto que la decisión se decantó por conservar la ubicación que tuvo el primer edificio, en el cual funcionó la gran empresa de seguros marítimos Lloyd's de Londres, construido en 1928, a pocos pasos del Royal Exchange. Parte de la fachada del antiguo edificio se mantuvo en pie en el diseño final, sumándose a ese primer edificio otro construido en 1958, justo en el lado opuesto de la calle Leadenhall St.

La propuesta ganadora fue la de Richard Rogers ofreciendo al cliente no un edificio o una propuesta de construcción pulida que represente cualidades formales y espaciales, sino un conjunto de estrategias para incorporar las necesidades de Lloyd's. Debido a la sensibilidad y tacto de la propuesta, Lloyd's percibió que su arquitecto entendía los problemas a los que se enfrentaba mejor que los propios miembros de la firma. El edificio fue concebido como un conjunto de relaciones entre los sistemas de ordenamiento y sus mandatos funcionales. De ello se deduce que la intención arquitectónica organizadora era desarrollar y expresar estos sistemas, junto con sus conexiones funcionales y físicas.

Una de las demandas principales del programa era el requerimiento de una sala de mercado expandible de 6500 m² a 18600 m², superficie a la que se llegó a principios del siglo XXI. Otro de los requisitos que exigía Lloyd's apuntaban a la necesaria versatilidad que esperaban del edificio, para que pudiera servir tanto para su expansión, como para una posible contracción, durante los próximos 50 años. La inversión en una instalación con un proyecto de vida tan larga implicó planear el eventual reemplazo de componentes que quedarán obsoletos y que el material de oficina pudiera ser sustituido a lo largo de su vida. Para dar solución a este último requisito, se diseñan estaciones de trabajo desmontables a medida. Quedó claro que el reto principal del proyecto era la flexibilidad de los espacios y la capacidad de cambiar sus funciones sin interrupción.

La sede de la compañía de seguros Lloyd's en Londres, desempeñó un papel innovador en cierto modo equivalente al del Centro Pompidou de París. En este los temas eran el espacio para la cultura y la construcción metálica, en el edificio Lloyd's se trata del espacio para el trabajo y el hormigón armado. Las ideas son básicamente las mismas: un espacio diáfano y con la flexibilidad como motivo, lo que da como resultado una planta de grandes luces con los elementos estructurales y de servicios situados en el exterior, y un gran protagonismo de los sistemas de instalaciones. De nuevo, la técnica es el eje central de la arquitectura de aquel momento, no sólo se busca en ella una nueva libertad, sino que además su expresión es más importante que su realidad.

El edificio Lloyd's con su poderosa apariencia se presenta como un submarino amarillo de corriente pop varado en la capital inglesa. Su imagen también ha sido comparada con las plataformas petroleras del Mar del Norte, como una emulación de la claridad técnica, un homenaje a los clientes de la rica compañía petrolera de Lloyd's, o ambos.

En planta, el edificio es rectangular con un atrio central de operaciones iluminado cenitalmente. El atrio se encuentra rodeado por una corona de oficinas que se abre a dicho atrio y al exterior, con 16 plantas de altura máxima. Seis núcleos periféricos reúnen las escaleras, los ascensores, los aseos y los elementos de climatización de acero inoxidable, con aislamiento interior de fibra de vidrio rígida, que se planearon como recambiables.

De hecho, las seis torres de servicio que rodean el bloque de oficinas de vidrio y su atrio central de 16 pisos se concibieron primero como un sistema de soluciones, más que como un diseño de edificio. Los toques High-Tech son, por lo tanto, inherentes al enfoque. Pero la estética de la plataforma de la máquina es menos una manipulación estilística que una respuesta refinada y bien integrada a un sitio estrecho, junto con requisitos de espacio exigentes.



*Ilustración 46 A la izquierda el exterior del edificio Lloyd's (Wikimedia Commons. (14 de mayo de 2011). Lloyds building taken 2011 [Fotografía]. Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lloyds_building_taken_2011.jpg*



*Ilustración 47 A la derecha el interior del edificio Lloyd's (Ramsay, M. (1 de septiembre de 2020). Richard Rogers se retira de su práctica de arquitectura tras 43 años [Fotografía]. archdaily.
<https://www.archdaily.mx/mx/946862/richard-rogers-se-retira-de-la-arquitectura-tras-43-anos-de-practica/5f4e835db357651a030003e0-richard-rogers-to-retire-after-43-years-of-practice-photo>*

La filosofía de Rogers a la hora de diseñar estos espacios se basó en los principios de planta abierta, flexibilidad, funcionalismo e imágenes técnicas es ampliamente reconocida. Aunque estas prácticas han asociado fuertemente el trabajo de Richard Rogers con actividades de alta tecnología, el estudio prefiere denominarse a sí mismo dentro de los ideales del Movimiento Moderno optimista, evitando las etiquetas estilísticas y la fascinación por las máquinas.

También apuntan a objetivos más amplios de promoción social y ecológica, así como al sentimiento particular de crear "lugares de personas". El propio Rogers ha reconocido la

obligación del diseño de ir más allá del programa del cliente al servicio del ámbito cívico y de ofrecer una "actuación pública".

Uno de los grandes hándicaps en el diseño de este edificio es su ubicación, al encontrarse situado junto a los puestos de comida de Leadenhall Market y en medio del callejero medieval de las concurridas y retorcidas calles de "The Square Mile". Por este motivo se busca una buena comunicación dentro del edificio y un buen control del flujo de la gente, pues se estaban planteando un espacio de oficinas diez veces superior al convencional. Debido a esa circunstancia se decidió colocar las circulaciones, las salidas, los baños y otros espacios de apoyo en el perímetro para evitar cualquier conflicto con el espacio central. El diseño se guía también desde una perspectiva de integración de sistemas, siguiendo el esquema de "espacios servidos y servidores" de Louis Kahn.

Surgirá un problema centrado en la cimentación y el derecho de luz, al plantearse un edificio nuevo rodeado de los cimientos de otros circundantes, cuyos titulares apelarán a una serie de limitaciones de altura impuestas por el "derecho a la luz" de asisten a los vecinos del sur y el oeste.

La cimentación se realizó utilizando 300 pilotes de 762 mm de diámetro a una profundidad de 25,9 m. La estructura del edificio se basa en una serie de pilares de hormigón prefabricados sobre los que se apoya un forjado bidireccional con vigas de 300 mm de ancho por 550 mm de alto de sección en U invertida y postensadas, que salvan las luces entre los soportes.

EL emparrillado es bidireccional de nervios de hormigón armado con casetones vistos de 55x30 centímetros cada 1,80 metros realizado in situ, que generan unas cuadrículas de 10,8 m por 18,0 m. Esta estructura carece de capa de compresión, pero al colocarse una losa superior no colaborante genera un suelo elevado, gracias a una serie de subestructuras de pequeños pilares situados en las esquinas de la retícula. Con esta disposición cada planta tiene una forma rectangular de 68,4 m por 46,8 m con un atrio central de 11 m por 33 m y una altura de 84 metros. El edificio se divide en 13 plantas sobre rasante y 3 bajo el nivel del suelo con una altura de suelo a techo de media de 3 m.

También los soportes circulares se hormigonaron in situ, pero las conexiones se hicieron prefabricadas, con lo que se trataba de eludir los problemas asociados a la ejecución de las juntas. La conexión es una ménsula hueca, que se coloca antes de hormigonar el soporte, de modo que este pasa a su través. Las vigas en U apoyan en las ménsulas a través de placas elastoméricas.

La estructura está triangulada mediante barras de sección circular que concurren en los capiteles prefabricados.

El cerramiento de vidrio, que en el Centro Pompidou resultó ser un problema secundario, tuvo en el Lloyd's una solución muy interesante. Las fachadas del edificio se resuelven a base de hormigón visto y un muro cortina con carpinterías de acero inoxidable de rotura de puente térmico y con triple acristalamiento con vidrio exterior esmerilado, con hoja oscilante. En su interior, se encuentra una cavidad que sirve para el retorno del aire que tiene un espesor de 40 mm entre el acristalamiento exterior e interior. El atrio se culmina con una bóveda también en vidrio, sin el sistema de retorno de aire. La superficie vidriada del edificio es de 8903 m².

Las comunicaciones verticales del edificio se resuelven gracias a 12 ascensores, distribuidos en las seis torres satélite exteriores, y el sistema de escaleras mecánicas en el atrio, en los primeros cuatro niveles.

Instalación de Agua Fría Sanitaria (AFS)

Los mayores retos del edificio Lloyd's apuntan por un lado a su altura, de 88 m medida desde el segundo sótano hasta el ático y sin duda, a la solución adoptada en el mismo para eludir el uso de plantas técnicas.

Para abordar la solución empleada en el Lloyd's, al no disponer de información más detallada que constata algunos aspectos de sus instalaciones, se va a intentar explicar la hipótesis más probable del planteamiento de la red de AFS en ese edificio, tomando como base fotografías, planos, detalles constructivos y la lógica de las propias instalaciones, derivada de las publicaciones generales sobre la materia.

La acometida de agua fría sanitaria (AFS) en el edificio Lloyd's se realiza desde la red general de la ciudad de Londres, enterrada en una toma desde la calle Leadenhall Street por el norte, donde se encuentra la llave de corte general del edificio desde el exterior. A continuación, se deriva a un cuarto de instalaciones donde se encuentran los contadores y las distintas llaves de corte según la normativa específica del lugar.

Debido al tamaño del edificio y sus características, para garantizar el suministro de agua, dispone de aljibes en el propio cuarto de instalaciones y en la zona sur del edificio, que entrarían en funcionamiento en caso de corte del suministro mediante un equipo de bombeo.

Bajo el techo del sótano primero se divide una conducción por el falso techo de ese sótano a los distintos vestuarios y la cocina, continuando mediante ramales hacia las tres torres servidoras y el suelo técnico de la planta baja. En las plantas baja y sótano primero, los cuartos húmedos se encuentran en la parte central de edificio, por lo que la instalación parece haberse colocado en el suelo en planta baja, para no romper la modulación de las losas del techo y en el primer sótano se habrán pasado por el falso techo de esta planta.

Para conseguir la presión suficiente en las últimas plantas del edificio, situado bajo los distintos montantes verticales, se dispone de un grupo de presión en la planta sótano primero. Estos montantes sirven el AFS a los cuartos húmedos que se encuentran en todas las plantas superiores, llegando únicamente a la última planta los montantes de la parte norte.

Finalmente, la derivación hasta la caldera se llevará por el techo del segundo sótano.

La agrupación en columnas de los cuartos húmedos en las tres torres de servicio permite una instalación bastante simplificada a través de los citados montantes, desde los cuales en cada planta se ramifica a los distintos niveles.

Los elementos a los que deben de dar servicio estas conducciones generales son, por una parte, los vestuarios y cocina del sótano primero, los equipos de ACS, los equipos de extinción de incendios y, además, los aseos en las plantas superiores.

Los montantes verticales transcurren a través de un elemento metálico diseñado para albergar las instalaciones, protegerlas y estar en armonía con el diseño exterior, del que estos elementos se convierten estéticamente en protagonistas.

Los núcleos verticales de aseos están compuestos por cápsulas prefabricadas metálicas con los acabados realizados en obra, que tras su doble paramento permite el tránsito de las conducciones, habiéndose estudiado para tres perspectivas posibles que son iguales y que se puedan conectar hacia su interior, desde los montantes generales en las tres posiciones en las que se puede colocar.



Ilustración 48 A la izquierda columna de baños desde el exterior (Ariza, H. (24 de octubre de 2014). LLOYD'S BUILDING. Diseño futurista en la City de Londres [Fotografía]. Architectural Visits. <https://architecturalvisits.com/lloyds-building-lloyds-of-london/>)

Ilustración 49 A la derecha columna de baños desde el interior (Wignall, K. (17 de septiembre de 2019). INSIDE LLOYD'S OF LONDON [Fotografía]. Look Up London. <https://lookup.london/inside-lloyds-of-london/>)

Desde la toma general de cada núcleo de baño, tras su llave general de corte, se distribuye la red por dos ramales a los lavabos, otra a los inodoros y una tercera en los aseos de caballeros hacia los urinarios.

Bajo los lavabos se encuentra la llave de corte, que da paso a la grifería del lavabo que es un monomando manual con corte mediante célula fotoeléctrica.

Igualmente, desde la misma red se enlaza la conexión de AFS de los urinarios que se activan con un pulsador.

Los inodoros cuentan con fluxores como mecanismos de descarga de agua, que necesitan una presión mínima de 1,5 bares. Disponen de depósitos de agua que permiten la alimentación de la conducción con la simultaneidad exigible para el número de inodoros localizados en cada torre.

Bajo los suelos técnicos de las plantas, que están compuestos por piezas prefabricadas de 10 cm de hormigón transcurren las instalaciones de forma horizontal de AFS, llega a los distintos puntos.

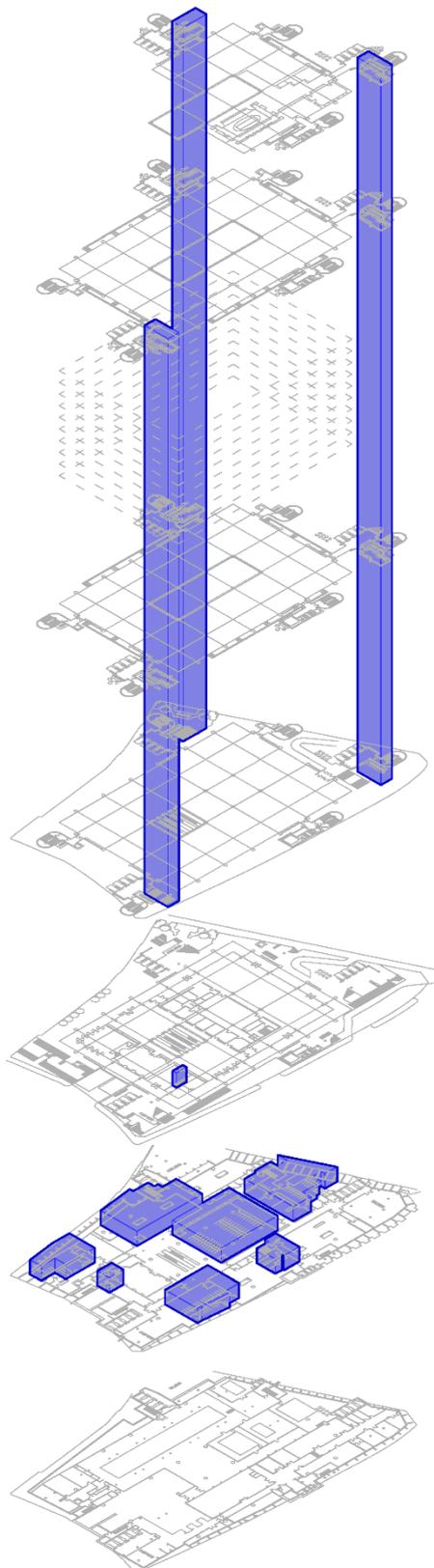


Ilustración 50 Esquema instalación AFS (Elaboración propia del autor)

Instalación de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Los desafíos en el edificio Lloyd's para la red de ACS son los mismos que nos encontrábamos en AFS, pero en este caso se suma el problema de las pérdidas de calor.

La instalación de agua caliente sanitaria (ACS) del edificio Lloyd's se realiza a través de tres calderas de gas que se localizan en el segundo sótano, donde se encuentra un depósito para el combustible. Estas calderas también se utilizan para el sistema de climatización.

Las calderas están conectadas en cascada, entrando en funcionamiento de forma simultánea en función de la demanda, mediante un circuito de electroválvulas que almacena el ACS en los depósitos. El circuito se alimenta con un grupo de presión para las distintas líneas, llegando a baños, vestuarios y cocina, que transcurren en paralelo por los mismos recorridos que la instalación de AFS anteriormente descrita.

La canalización de los tubos está protegida con tuberías recubiertas con aislante térmico para reducir las pérdidas de calor, que consiguen garantizar una temperatura en los puntos de suministro de 38 °C.

Para dar respuesta tanto a la altura de la construcción, como a las largas distancias existentes hasta los diferentes puntos de suministro de ACS, el edificio dispone de un circuito de retorno para garantizar un aprovechamiento energético.

El suministro del agua caliente al resto del edificio está garantizado gracias a un grupo de presión, mediante unos montantes verticales en las tres torres servidoras y unos ramales en horizontal hasta las tomas de destino, principalmente al primer sótano, donde se encuentran los vestuarios del personal y la cocina.

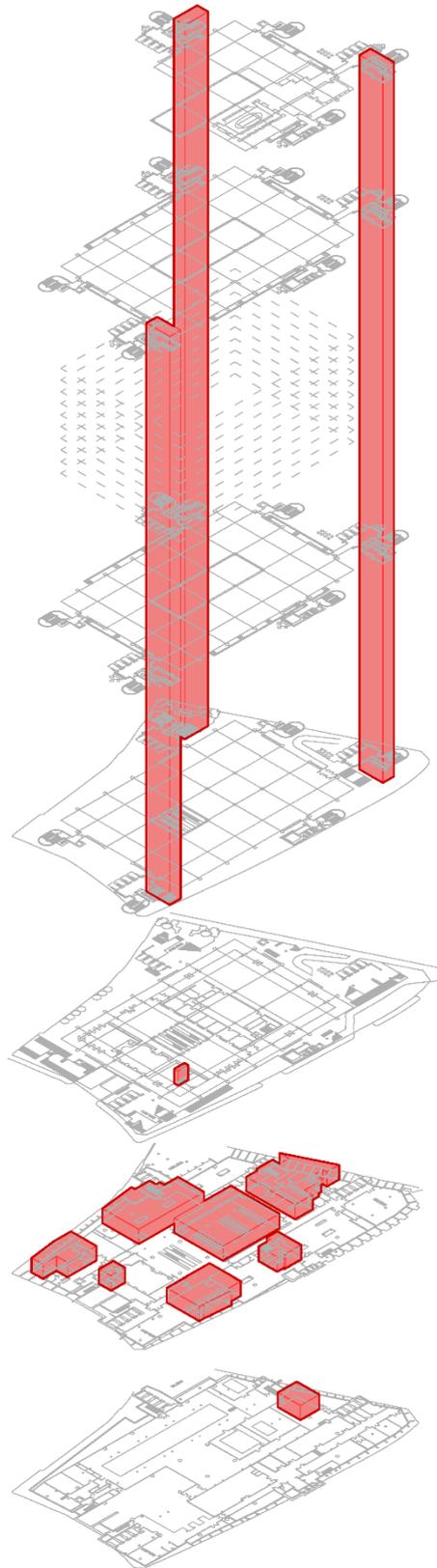


Ilustración 51 Esquema instalación ACS (Elaboración propia del autor)

Instalación de Saneamiento

El sistema de saneamiento del edificio Lloyd's se basa en una red principalmente vertical que conecta los bloques de aseo prefabricados de las tres torres servidoras que los albergan, y que se relacionan a las distintas plantas. Estas aguas residuales bajan hasta la planta sótano donde se unifica mediante una red horizontal colgada con el resto de la instalación de saneamiento que proviene de la cocina y los vestuarios del personal que están en esta planta. De esta manera se reducen al mínimo las pérdidas de altura de plantas dentro del edificio debido al aumento del canto del forjado.

Además, las tuberías exteriores son reforzadas debido al recubrimiento que se las hace y que también se aíslan contra el ruido de impacto para mejorar la calidad acústica de los espacios por los que discurre y evitando su rotura por impacto de los elementos que circulan junto a las aguas residuales debido a la gran distancia vertical de caída libre.

La recogida de agua de pluviales se realiza a base de cubiertas planas invertidas con grava en su parte superior y el atrio acristalado.



Ilustración 52 A la izquierda atrio desde el exterior (Ariza, H. (24 de octubre de 2014). LLOYD'S BUILDING. Diseño futurista en la City de Londres [Fotografía]. Architectural Visits. <https://architecturalvisits.com/lloyds-building-lloyds-of-london/>)

Ilustración 53 A la derecha atrio desde el interior (Ariza, H. (24 de octubre de 2014). LLOYD'S BUILDING. Diseño futurista en la City de Londres [Fotografía]. Architectural Visits. <https://architecturalvisits.com/lloyds-building-lloyds-of-london/>)

Como se ha comentado anteriormente en los edificios la superficie de cubierta de estas construcciones en relación a sus fachadas es bastante reducida. Al haberse reducido al mínimo las superficies de cubiertas, se consigue que se reduzcan las dimensiones de las bajantes.

En este edificio no se ha empleado ningún sistema de almacenamiento o reutilización del agua de lluvia. Estos no se han llegado a utilizar porque la altura del edificio no es significativa para que sea necesario o bien porque el tamaño de las cubiertas no es lo suficientemente grandes como para captar una cantidad de agua importante. Además, no existen elementos ajardinados que pudieran reutilizar esa agua dentro del edificio.

Por otro lado, el reaprovechamiento de las aguas de pluviales como un sistema de ahorro de agua reutilizada en los aseos no es viable debido a que los bloques de aseos son prefabricados y tienen muy poca versatilidad a la hora de introducir instalaciones que no sean las tradicionales, es decir AFS, ACS y saneamiento.

En la cubierta se encuentra uno de los elementos más emblemáticos del edificio, el atrio acristalado. Este elemento está perfectamente diseñado y está correctamente sellado a nivel general y sus encuentros para evitar humedades y filtraciones.

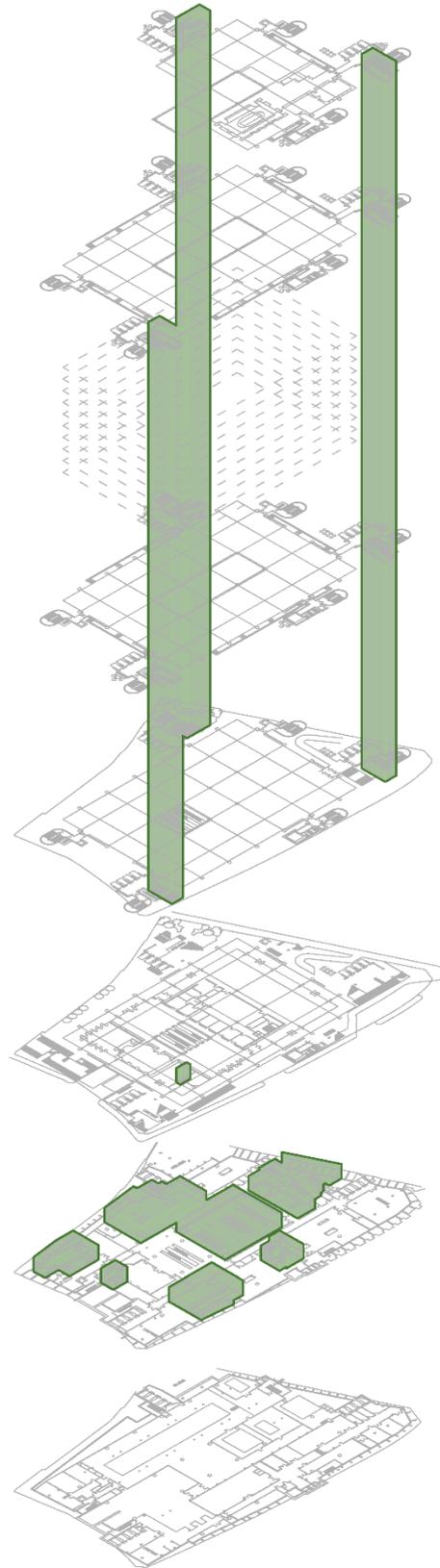


Ilustración 54 Esquema instalación saneamiento (Elaboración propia del autor)

Instalación de Climatización y Ventilación

Antes de empezar a definir las instalaciones del edificio Lloyd's, es necesario mencionar el clima específico de Londres. Se caracteriza por ser fresco, ventoso, lluvioso y nublado, pero es cambiante debido a la variación del viento. Las temperaturas son generalmente moderadas por la influencia marítima, pero la variabilidad extrema producida por movimientos frontales repentinos es un factor importante. La alta latitud es otra influencia de la variación, que produce una diferencia exagerada de estaciones: un día de mediados de junio dura hasta 16,6 horas de sol, mientras que un día sombrío de diciembre dura solo 7,4 horas desde el amanecer hasta el atardecer. La temperatura media anual está por debajo de los 15°C.

Debido a este clima su funcionamiento principal a lo largo del año debería de ser de calefacción. Sin embargo, un edificio dominado por la carga interna debida al uso y al gran flujo de personas tiene una temperatura de equilibrio por debajo de los 20°C a 24°C del equilibrio de comodidad humana. El Lloyd's, con su intensa densidad de ocupantes y requisitos de equipo de oficina, casi siempre se sobrecalienta desde adentro.

Entonces, incluso en este clima fresco, los diseñadores tuvieron que examinar el metabolismo térmico especial de este edificio y planificar la necesidad de enfriamiento. Esto, a su vez, dio prioridad a la reducción de las cargas internas durante el día. También sugirió la zonificación térmica separada de las áreas perimetrales, donde las superficies internas de las paredes frías y las ventanas debían ser tenidas en cuenta.

Gran parte de la **instalación de climatización** del edificio Lloyd's se encuentra en la planta sótano del mismo, ocupando un tercio de su superficie. Está compuesta por una **caldera**, un **equipo de refrigeración** compuesto por tres enfriadores y una **unidad de tratamiento de aire**. Las zonas perimetrales del edificio son suplementadas con dos **bombas de calor**.

Su trazado se distribuye a través de grandes tuberías verticales, integradas en cuatro de las torres servidoras que transportan el aire ya acondicionado a las distintas plantas, a través de un tubo perimetral bordeando todas las plantas. En estas mismas cuatro torres se encuentran, en la parte superior, las salas que contienen las **unidades de ventiladores de inducción**.

Una vez penetra en cada planta se distribuyen horizontalmente por encima de los forjados y bajo el suelo técnico, compuesto por una losa de 10 cm de hormigón construida in situ, donde se alojan los fan-coils. Una vez climatizado ese espacio, el aire se hace circular hacia los retornos que son las mismas luminarias, para lo que se forman elementos compactos en forma de casetones que reúnen la luminaria, el rociador, el difusor de aire, el tratamiento acústico y el acabado. De esta manera el aire recoge el calor generado por la iluminación, y se lleva a unos tubos situados en la fachada.

La fachada está formada por paneles acristalados de suelo a techo, con los montantes en el exterior. La integración de las instalaciones en el cerramiento supone una novedad en su diseño que logra un comportamiento dinámico. Se compone de un triple acristalamiento formado por un doble vidrio exterior y una hoja simple interior, con una cámara entre ambas de 7,5 milímetros. El aire pasa a través de la cámara del triple vidrio y es recogido por un sistema horizontal, que lo reconduce de nuevo a las torres servidoras, para su posterior tratamiento y renovación.

El paso del aire recuperado por la fachada reduce la pérdida de energía del interior en invierno, al tiempo que logra evitar la absorción de energía del exterior en verano.

Esta solución adoptada es interesante en climas fríos, aunque baja el rendimiento del recuperador de calor. En verano, el aire caliente de la cámara tiene que llevarse al climatizador, lo que no parece tener mucho sentido porque reduce la eficiencia del sistema.

El recurso de incorporar la circulación de aire a las cámaras acristaladas es muy interesante, y constituye una evolución de la idea del "muro neutralizante" de Le Corbusier.



Ilustración 55 Detalle del sistema de climatización por la fachada (Ariza, H. (24 de octubre de 2014). LLOYD'S BUILDING. Diseño futurista en la City de Londres [Fotografía]. Architectural Visits. <https://architecturalvisits.com/lloyds-building-lloyds-of-london/>)

Otro sistema de climatización empleado en este edificio, es el que se utiliza en el **atrio central** de 11,50 m x 34,50 m, para crear corrientes de aire que circulan por los distintos niveles del inmueble, desde la planta baja hasta la última superior a través de sus quince pisos, teniendo en cuenta que la temperatura no es la misma en la parte baja que en la parte superior. Circunstancia que permite regular el nivel de confort en los distintos estratos y mejorar de forma importante su eficiencia energética.

La climatización del edificio Lloyd's, basado en un sistema de ciclos de 24 horas, permite reducir los picos de demanda, a través de la **acumulación del calor** recuperado en los tanques del sótano. Además, las losas de hormigón que forman el plenum sirven de tanques de inercia térmica, pues absorben la energía durante el día, soltando poco a poco el calor acumulado durante toda la noche en invierno y a la inversa en verano.

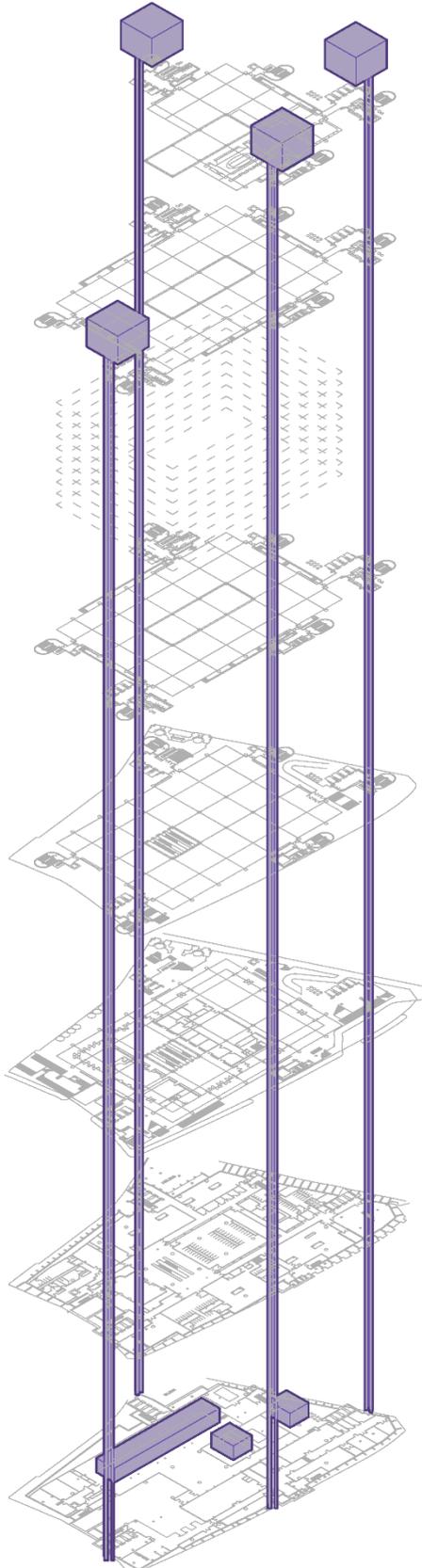


Ilustración 56 Esquema instalación climatización y ventilación (Elaboración propia del autor)

Instalación de Electricidad

Los desafíos a los que se enfrenta el edificio Lloyd's son que debido a su gran demanda de electricidad fue necesario la instalación de un transformador de media tensión a baja tensión y además de esto también se precisa de un equipo de generación de emergencia en caso de caída de la red.

La acometida de electricidad a media tensión en el edificio Lloyd's se realiza desde la red general de la ciudad de Londres, enterrada en una toma desde la calle Leadenhall Street por el norte, transcurriendo igualmente soterrada como el resto de líneas de la compañía eléctrica a media tensión de esa zona de la ciudad.

La línea de entrada de la electricidad a media tensión al inmueble es trifásica. Tras el sistema de corte del suministro de energía de la compañía eléctrica en el exterior, las tres fases de corriente entran al interior del edificio a través de una acometida a media tensión, hacia el cuarto de transformación independiente del inmueble.

Dentro del citado cuarto de transformación se encuentran, en un cubículo independiente por razones de seguridad, en primer lugar, las cuchillas de corte de accionamiento manual y a continuación, un sistema mecánico de corte a modo de interruptor de la corriente a media tensión. Este se activa y desactiva mediante un volante giratorio que acciona un sistema de muelles para realizar la conexión y desconexión instantáneas, que permite meter o cortar la electricidad de forma segura para la persona encargada del manejo.

A partir de este punto, en un segundo cubículo independiente, se encuentra un sistema de aisladores que sustentan la línea hasta llegar al interruptor manual de corte del transformador de 400V, situado en un tercer módulo independiente por razones de seguridad. Dicho transformador convierte la media tensión en baja tensión trifásica a 400V.

Las líneas de 400V se conectan a un gran interruptor de accionamiento manual y a los equipos de medida: el maxímetro y los contadores. El maxímetro controla la demanda máxima de potencia del edificio para el control o lectura de la potencia máxima demandada en el edificio. Mientras que los contadores controlan los kilovatios/hora consumidos.

Del cuarto de transformación, la línea a 400V pasa a un cuarto de instalación eléctrica, donde se conecta a un gran cuadro general al que llegan las tres fases transformadas y la toma de tierra. El sistema de toma de tierra se realiza con un cable de cobre enterrado bajo la cimentación, complementado con un sistema de picas y placas, todo ello conectado hacia una arqueta para garantizar la seguridad de la instalación eléctrica.

Desde allí, en el edificio Lloyd's las distintas líneas trifásicas se dividen para cubrir las necesidades de servicio del edificio, repartiéndose en seis cuadros eléctricos, uno por cada torre servida, que llegan a través del suelo técnico.

De cada uno de los referidos cuadros eléctricos surge en vertical, a través de los tubos metálicos que componen la fachada, a modo de patinillos para instalaciones, una línea que se conecta con otro cuadro independiente por planta, donde se instalan los mecanismos de protección, entre los que destacan: el alumbrado, toma de corriente, máquina de climatización, cocinas, cuartos húmedos, derivación a telecomunicaciones, ascensores y montacargas, equipos de bombeo, sistemas de seguridad, escaleras automáticas, alumbrado exterior, alumbrado de emergencia, protección contra incendios y grúas de mantenimiento..

Cada uno de esos circuitos cuenta también con sus respectivos cuadros independientes, llegando la línea a los mismos a través del suelo técnico. Los distintos circuitos que nacen de

estos cuadros se conectan de forma equilibrada a cada una de las tres fases, de manera que los consumos de electricidad quedan compensados.

Desde cada una de esas derivaciones cada circuito dispondrá de su cuadro eléctrico dimensionado en función de su potencia necesaria con automáticos, diferenciales, magnetotérmicos e interruptores generales y dividiendo los cuadros por plantas dando servicio desde donde llegan los mecanismos de corte por zonas, las tomas de corriente y el acceso a los cuadros de las salas de máquinas que pueda haber en las plantas que corresponda.

Para ascender a las plantas se distribuyen a través de los grandes tubos metálicos que conforman la fachada, naciendo en cada planta una derivación que se distribuye a los distintos puntos a través del suelo técnico y el falso techo, que incluye fase, neutro y toma de tierra. En las plantas de sótano el trazado se realiza a través del techo de ambas plantas.

El alumbrado se conecta desde el falso techo y las tomas de corriente se realizan por el suelo técnico a 13 A, 220 V según la normativa británica y toma tipo G. Las conducciones desde los cuartos de transformación se distribuyen por los falsos techos por bandejas y por los suelos técnicos también sobre bandejas. En este edificio se utilizan elementos de mobiliario que integran el puesto de trabajo, la impulsión y las tomas de energía.



Ilustración 57 Mobiliario que integra puesto de trabajo, impulsión y tomas de energía (DAS Business Furniture. (12 de marzo de 2020). Lloyd's Case Study 2 [Fotografía]. DAS Business Furniture. <https://dasbf.com/portfolio-item/lloyds/>)

Los 12 ascensores y las escaleras mecánicas se conectan en trifásico a 400v, al igual que los equipos de bombeo y los equipos de climatización también, ya que estos utilizan motores.



Ilustración 58 A la izquierda ascensores desde el exterior (Wikimedia Commons. (8 de septiembre de 2009). Lloyd's Lifts [Fotografía]. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lloyd%27sLifts.JPG>)

Ilustración 59 A la derecha escaleras mecánicas interiores (Ariza, H. (24 de octubre de 2014). LLOYD'S BUILDING. Diseño futurista en la City de Londres [Fotografía]. Architectural Visits. <https://architecturalvisits.com/lloyds-building-lloyds-of-london/>)

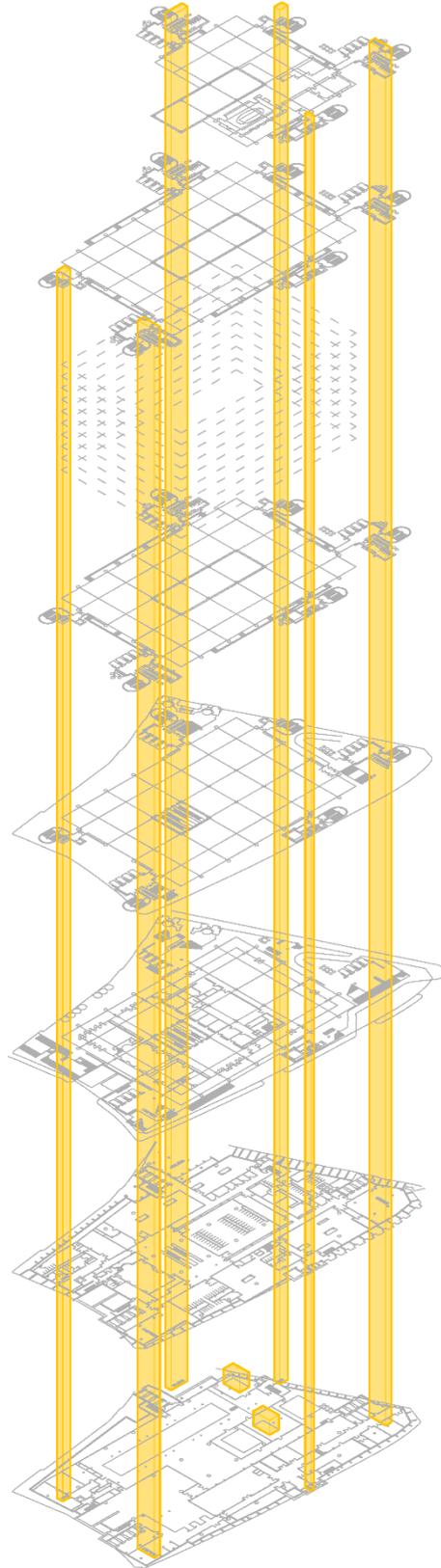


Ilustración 60 Esquema instalación electricidad (Elaboración propia del autor)

Instalación de Iluminación

En el edificio Lloyd's los mayores desafíos son causados por que es necesario comprobar los posibles deslumbramientos a causa de la luz natural y por otro lado la comprobación de los grandes espacios entre el atrio y la fachada donde pueden quedarse zonas en penumbra. También es importante mencionar que en Londres hay una gran diferencia de iluminación natural entre los meses de verano, un día de mediados de junio tiene hasta 16,6 horas de sol y los meses de invierno, un día sombrío de diciembre dura solo 7,4 horas desde el amanecer hasta el atardecer, esto sin tener en cuenta que en esta ciudad hay un gran número de días lluviosos o nublados lo que reduce la aportación de luz natural.

Para dar solución a estos problemas en el edificio Lloyd's se plantea un techo en rejilla de hormigón visto sobre el que se colocan las luminarias de diseño que ocupan los 10000 huecos del techo. Debido al gran número de luminarias obtenemos una gran dispersión de la superficie radiante. Estas luminarias aportan sobre las estaciones de trabajo una iluminancia de 500 lux. Estas luminarias de diseño son colgadas, empotradas, suspendidas, abiertas, en forma de toro y fluorescentes en un tono 3500K, sin celosía o difusor y sin filtros. El diagrama fotométrico es simétrico. La iluminación de las tareas puede ser controlada por el usuario en las estaciones de trabajo.

Exteriormente está iluminado en tonos violáceos y azules mediante focos e iluminación indirecta en los techos de las escaleras de las torres satélite.

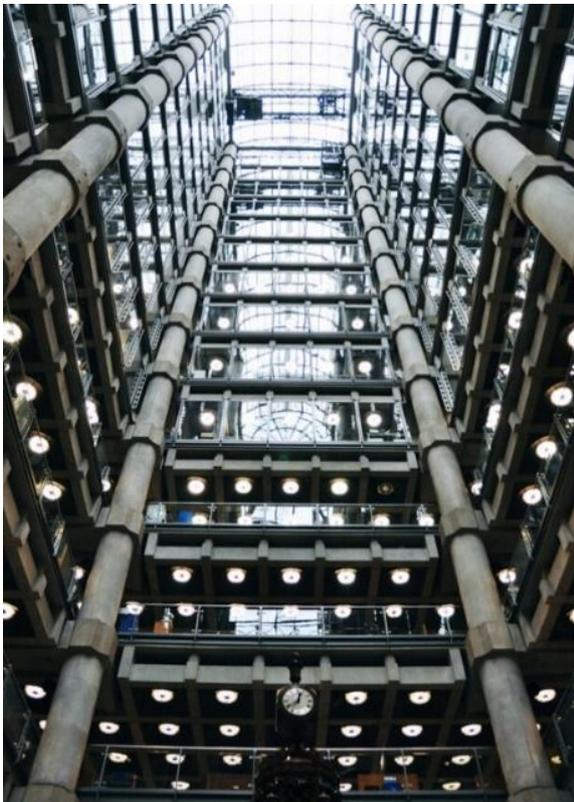


Ilustración 61 A la izquierda iluminación interior (Ariza, H. (24 de octubre de 2014). LLOYD'S BUILDING. Diseño futurista en la City de Londres [Fotografía]. Architectural Visits. <https://architecturalvisits.com/lloyds-building-lloyds-of-london/>)

Ilustración 62 A la derecha iluminación exterior (Wikimedia Commons. (1 de mayo de 2011). Lloyd's insurance exterior at night [Fotografía]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lloyd%27s_insurance_exterior_at_night.jpg)

Estrategia energética

El sistema de climatización constituye la estrategia energética activa protagonista en el edificio Lloyd's. Como ya se ha indicado anteriormente en este Trabajo, se trata de un sistema de todo aire compuesto por una caldera de gas, un equipo de refrigeración y una unidad de tratamiento de aire con recuperación de calor, además de dos bombas de calor de aerotermia de apoyo.

La expulsión de los gases de combustión de la caldera se realiza a través de una chimenea, la cual discurre por la parte exterior del edificio, consiguiendo con esta solución que no se pierda superficie útil de las plantas.

Por otro lado, la unidad de tratamiento del aire (UTA) en este edificio se encuentra dividida. Una parte se encuentra situada en el sótano y el resto, en la zona superior de cuatro de las torres servidoras. De este modo, los sistemas de impulsión de aire y de extracción se reducen bastante, consiguiendo que el espacio ocupado por las instalaciones sea menor por planta. La parte de la instalación que discurre por el exterior del edificio la componen tuberías que deben estar bien protegidas de la intemperie y de posibles golpes, al objeto de lograr que la instalación sea lo más eficiente posible.

Gracias al buen diseño del edificio las instalaciones nunca suponen una pérdida de espacio, sino que además ofrecen un aspecto impresionante del proyecto.

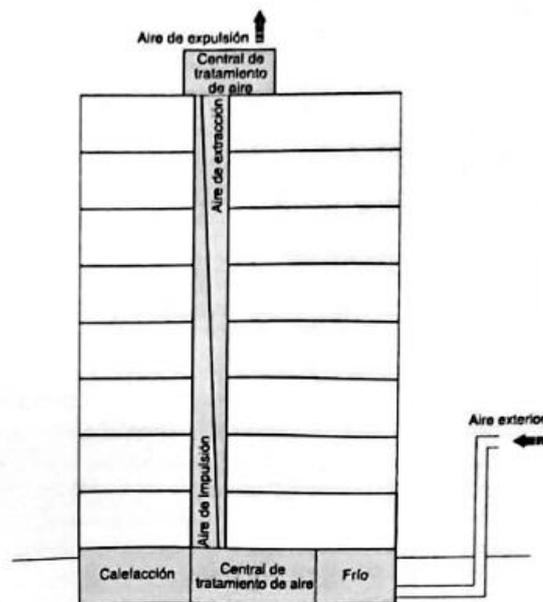
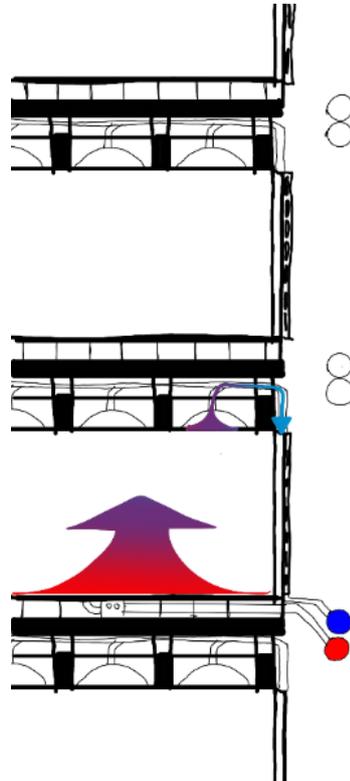


Ilustración 63 Distribución de los sistemas de recuperación de calor y tratamiento del aire en el edificio Lloyd's (Wellpott, E. (2009). Disposición de las centrales de tratamiento del aire [Ilustración]. En Instalaciones en los edificios (Gustavo Gili ed., p. 347).)

Aunque no es la estrategia principal en este edificio, también se aplican sistemas de suelos y de fachadas frías y calientes. La instalación de aire se realiza por debajo del suelo mediante una serie de fan-coils. Estos calientan o enfrían el espacio tanto por aire como por la inercia que acumula la losa de hormigón. La solución pudo suponer la pérdida de alguna planta del edificio al ganar los forjados más canto. Sin embargo, teniendo en cuenta que en el entorno se han construido edificios de mayor altura que el proyectado por Rogers, no parece que la altura del edificio fuese un problema.

Una vez climatizado el espacio se recupera el aire a través de los casetones, que redirigen el aire hacia el interior de los vidrios de la fachada, convirtiéndose de esta manera en una pared fría o caliente en función de la necesidad. Así se consigue mejorar la sensación de confort del interior, por cuanto que la sensación térmica que producen los paramentos por radiación es similar a la temperatura ambiente.

Uno de los inconvenientes de que pase el aire recuperado por la fachada es la reducción del rendimiento de la instalación de recuperación de calor. Su funcionamiento es algo mejor en invierno porque, aunque existen pérdidas por conducción debidas al contacto con el exterior, se compensan parcialmente gracias a la radiación solar, mientras que en verano este aire solo tiene ganancias de calor tanto por conducción como por radiación solar.



*Ilustración 64 Esquema de funcionamiento del sistema de climatización del edificio Lloyd's en sección
(Elaboración propia del autor)*

Las estrategias energéticas pasivas que se aplican en el edificio Lloyd's son muy variadas. Destaca su bajo factor de forma, que se sitúa en $0,10 \text{ m}^2/\text{m}^3$, obtenido de los datos conocidos del edificio con una base de 68,4 m por 46,8 m y una altura de 84 m. Este aspecto le resulta muy favorable, permitiendo que el edificio pueda acumular bastante energía. Por el contrario, se reducen las ganancias y pérdidas térmicas vinculadas al contacto con el exterior.

Al encontrarse en un clima templado, las formas más favorecidas son las ligeramente alargadas en el eje este-oeste, como ya se ha explicado. En el edificio Lloyd's la proporción de la planta es de 1,46:1 en la base, lo que supone en un clima templado tener algunas ganancias en verano y pérdidas en invierno, obligando a suplirlas mediante sistemas activos. En este edificio se intentan mejorar las ganancias solares en las plantas superiores, reduciendo el tamaño de su planta, tomando proporciones más cercanas a la ideal de 1:1,47.

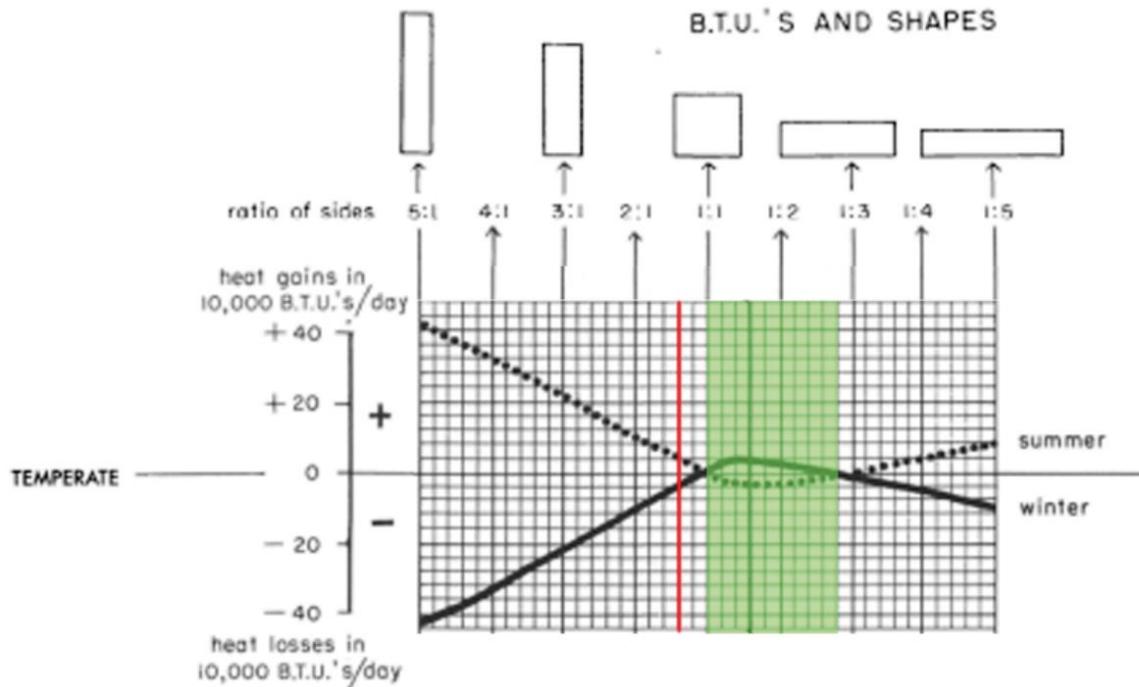


Ilustración 65 Relación de los lados de la planta en el edificio Lloyd's y sus ganancias y pérdidas (Olgay, V. (1963). *Basic forms and building shapes in different regions*. [Ilustración]. En *Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism* (Princeton University Press ed., p. 89).)

Se van a desarrollar a continuación una serie de estrategias que se aplican a este edificio de los siguientes campos:

- Aprovechamiento de las condiciones eólicas para ventilación
- Aprovechamiento de la energía solar para calefacción y ACS
- Iluminación natural y sistemas de control solar

Aprovechamiento de las condiciones eólicas para ventilación

Los sistemas de ventilación natural en el edificio Lloyd's se basan principalmente en el uso del tiro térmico. Este es un sistema de **ventilación cruzada vertical** que permite expulsar el aire más caliente y húmedo, desde la parte inferior hacia la parte superior, debido a su menor densidad. Con este método se consigue que permanezca en la parte inferior el aire más seco y fresco. En el edificio Lloyd's este proceso se realiza a través del atrio central.

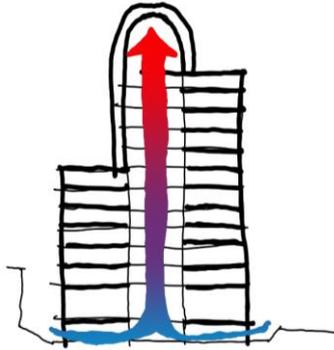


Ilustración 66 Esquema de funcionamiento del sistema de ventilación del edificio Lloyd's en sección. (Elaboración propia del autor)

La colocación de parte de los sistemas de climatización en la parte superior tampoco es una decisión tomada a la ligera, pues de esta manera se aprovecha del efecto de las torres de viento, tomando el aire de la parte superior donde el aire es más fresco, mejorando así el rendimiento de las instalaciones en la época de verano.

La orientación del edificio es un eje noreste-suroeste siendo de las mejores para el aprovechamiento de los vientos dominantes de la ciudad de Londres.

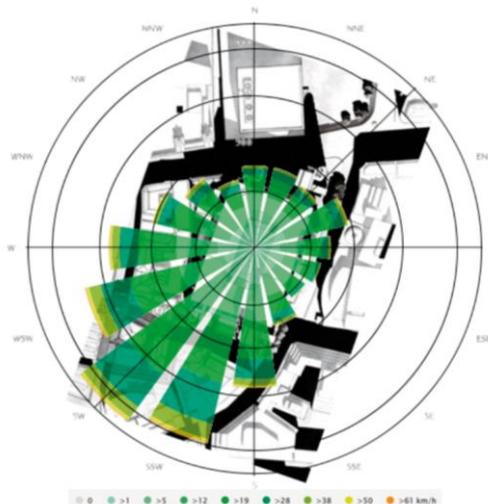


Ilustración 67 Vientos dominantes de la ciudad de Londres sobre el plano de situación del edificio. (Elaboración propia del autor, datos obtenidos de https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/londres_reino-unido_2643743)

La renovación de aire del edificio es principalmente mecánica, aunque las aperturas de la fachada pueden usarse como un mecanismo de renovación de aire natural, pudiéndose aplicar sistemas de ventilación cruzada horizontal.

Aprovechamiento de la energía solar para calefacción y ACS

Gracias a la gran superficie vidriada de las fachadas del edificio, los sistemas de captación directa de energía solar en el edificio Lloyd's se convierten en un elemento de gran importancia para este fin. Estos se basan fundamentalmente en la utilización del vidrio. Este material permite aprovechar directamente el calor irradiado por el sol, que calienta la masa interna del edificio. Para este efecto, la **orientación** es fundamental. Tiene como inconveniente la dependencia absoluta de las horas de sol, lo que unido al incontrolado proceso de acumulación, que se va a producir en los suelos y paredes cercanos al punto de captación, provoca una irregular distribución del calor en el espacio.

Gracias al acabado estampado se reduce el sobrecalentamiento producido en verano por el soleamiento, así como las pérdidas por conducción en invierno. Como resultado de todo ello, el sistema evita la mayor parte de las ganancias térmicas solares en verano, al mantenerse fría la hoja interior. En invierno, esta hoja interior está a la temperatura de las distintas salas.

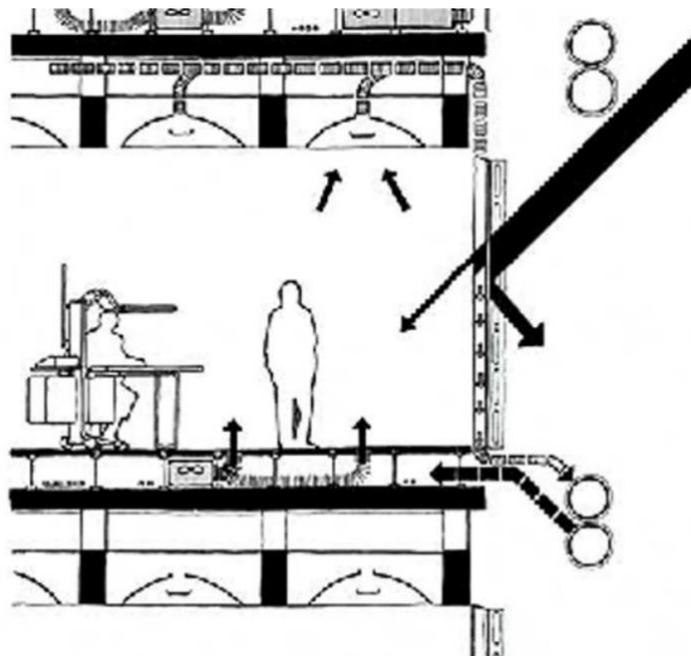


Ilustración 68 Efecto del estampado del vidrio y el mecanismo de recuperación de aire (El Plan Z Arquitectura. (12 de mayo de 2012). Richard Rogers, Lloyds Bank [Ilustración]. El Plan Z Arquitectura. <http://elplanz-arquitectura.blogspot.com/2012/05/richard-rogers-lloyds-bank.html>)

Como se ha explicado anteriormente los forjados del edificio funcionan como sistemas de inercia interior. Esto genera un sistema de ciclos de 24 horas, permitiendo reducir los picos de demanda, soltando poco a poco el calor acumulado durante toda la noche en invierno y a la inversa en verano.

Debido a que el edificio se encuentra en un clima templado el uso del atrio es viable, pues la incidencia de la radiación solar en verano no es excesivamente conflictiva, ya que no resultan fáciles de proteger.

El funcionamiento del vidrio triple es similar al del muro cortina activo, pero utilizando aire recuperado en lugar de agua. Su labor es parecida al de los sistemas de captación semidirectos, pues entre el ambiente interior y el exterior, se interpone un espacio que capta la energía solar, sirviendo de escudo.

Iluminación natural y sistemas de control solar

El diseño del sistema de iluminación natural del edificio Lloyd's se basa en la utilización de fachadas transparentes y un lucernario superior, en forma de atrio. Esto permite el aprovechamiento de la luz natural durante el mayor tiempo posible, coincidiendo en este caso con las horas de mayor actividad. La iluminación natural, aunque importante, es apoyada cuando es necesario por un sistema de iluminación artificial con luminarias fluorescentes en origen, para complementar el aprovechamiento de la luz natural.

Cabe mencionar que el control de la luz natural en el edificio Lloyd's para evitar los deslumbramientos y la incomodidad de los usuarios, se resuelve gracias al principio básico de haber elegido una buena orientación de los huecos y materiales cualificados en las fachadas. Además, el vidrio es estampado y translúcido salvo en una banda horizontal, con un facetado que amplifica la transmisión luminosa solar diurna y refleja la luz artificial durante la noche.

La forma escalonada de iluminación natural del edificio Lloyd's, consta de doce pisos hacia el norte, se reduce a seis pisos hacia el sur, aprovechando así la penetración de la luz solar, a través de la incorporación del atrio, como elemento clave en la reducción de las cargas provenientes de la iluminación.

El atrio aumenta en volumen y superficie a medida que crece el edificio en altura en la cara sur. En la cara norte, donde se encuentran los niveles de las oficinas, se genera una gran superficie para la luz difusa proveniente de esta orientación. La iluminación natural que llega hasta el espacio "The Room" es significativa y demuestra el éxito en el diseño del atrio. Además, todas las ubicaciones del edificio se encuentran a menos de 7 metros de una fuente de luz natural.

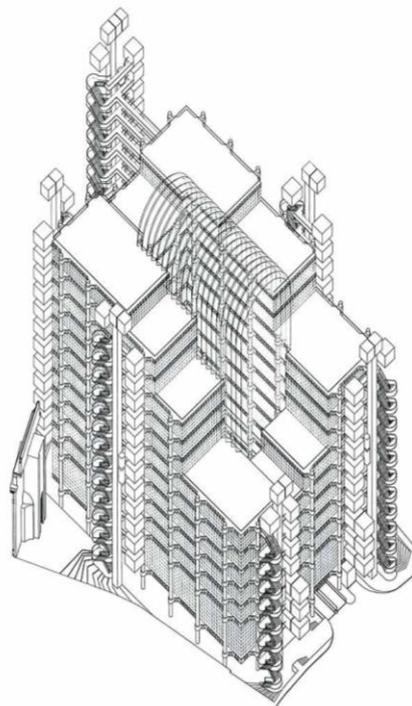


Ilustración 69 Escalonamiento del edificio para permitir el paso de luz en la cara sur (El Plan Z Arquitectura. (12 de mayo de 2012). Richard Rogers, Lloyds Bank [Ilustración]. El Plan Z Arquitectura. <http://elplanz-arquitectura.blogspot.com/2012/05/richard-rogers-lloyds-bank.html>)

Centro Sainsbury de artes visuales

Los clientes de la obra, Sir Robert y Lady Sainsbury describieron su interés por el arte como la "adquisición apasionada" de obras que les atraían intuitiva y sensualmente. Pensaron que el Centro de Artes Visuales sería la mejor manera de transmitir su propio aprecio y promover la comprensión académica de los demás. Norman Foster recibió el encargo de crear un lugar donde el arte pudiera experimentarse placenteramente en el transcurso de la vida diaria. Se eligió Sainsbury porque era una nueva escuela cuyo alcance y formato podían adaptarse a formas novedosas de pensar sobre la educación artística.

La colección de arte de los Sainsbury en ese momento constaba de unas 500 obras de dibujo, pintura y escultura de los períodos de arte europeo de finales del siglo XIX y XX y un segundo grupo de antigüedades de África, Oceanía y Oriente y el periodo precolombino.

El programa inicial del cliente fue bastante breve. Los Sainsbury deseaban que todos en el programa de East Anglia experimentaran el arte de manera informal. La colección de arte se compartiría entre los estudios académicos y la exhibición pública en un entorno de "sala de estar". Habría un restaurante, un área de exhibición y una biblioteca. En la consulta efectuada a la UEA, el programa se amplió para incluir una escuela de bellas artes, un club de profesores y un restaurante público.

La Universidad de East Anglia está situada en el borde occidental de Norwich en el condado de la costa este de Norfolk, Reino Unido. El río Yare corre al oeste del campus, siendo el centro Sainsbury el edificio más cercano.

El Plan maestro para la UEA fue creado por Sir Denys Lasdun en 1962 y desarrollado hasta 1968. Lasdun es un arquitecto de la corriente Brutalista, basada en la arquitectura de hormigón. Este tipo de construcción era contrario a la filosofía de Foster de efímero y ligero, por lo que las opciones para ubicar el Sainsbury más cerca de la entrada del campus o en varios otros lugares fueron rechazadas debido a la interferencia con el crecimiento planificado u objeciones similares. La situación escogida le pareció la más adecuada a Foster y fue razonada con Lasdun.

El edificio se encuentra en el extremo sureste del campus, situado en una esquina apartada, lejos del estacionamiento u otros servicios públicos de la universidad y se expone contra la línea de árboles, la masa del edificio termina el eje largo de las aulas de ciencias en un lado y reclama su jardín privado en el otro.

Foster empujó la huella contra el extremo abierto del campus, preservando y capturando todo el espacio verde disponible hacia el sureste. Esta disposición también brinda la mejor vista desde el área de exhibiciones especiales hacia un espacio amplio, en lugar de volver a las residencias que tenían el eje largo de Sainsbury hacia el sur.

Las referencias de centro Sainsbury son entre otros el Museo de Luisiana, Copenhague, por Jørgen Bo y Vilhelm Wohlert de 1956-1958, el Museo Nordjyllands de Elissa y Alvar Aalto con Jean-Jacques Baruel, Aalborg de 1958-1972 y la Nueva Galería Nacional de Berlín de Mies van der Rohe de 1962-1968. De estas referencias se sacan una serie de claves que se aplican en el centro Sainsbury como la estrategia de luz natural combinada con la iluminación artificial superior ajustable, la flexibilidad para el crecimiento y uso adaptativo, la creación de espacios de almacenamiento utilizable, la colocación de las distintas instalaciones y la iluminación sin interrupción de exhibiciones, la generación de un ambiente sociable y la coherencia entre el diseño de muebles y su disposición con el diseño del edificio.

A medida que Foster desarrollaba el programa, pronto llegó a una solución que ponía las funciones de la galería, la escuela de arte, la sala común para personas mayores y el restaurante bajo un mismo techo. Esto fue más eficiente que crear un grupo de edificios más pequeños y satisfizo el deseo de los Sainsbury de que la colección estuviera disponible para una visita informal. Al agrupar todo junto, el diseño permitiría más oportunidades para una interacción placentera. El acceso de servicio al almacén del sótano y al taller proviene del otro lado del campus. Un camino gira hacia el edificio y se esconde debajo de la zona de esculturas al lado del restaurante. Toda la carga y descarga de obras de arte se realiza de forma segura y pasa desapercibida en el sótano. Foster también decidió que un edificio con enfriamiento mecánico sugeriría un carácter institucional que no era amigable con un entorno informal, por lo que el edificio se basaría en estrategias de enfriamiento natural.

Poner todos los espacios del programa bajo un mismo techo introduce problemas de separación entre las funciones: seguridad, acústica, privacidad, programación, etc. Esto hace que la circulación y la separación dentro de un espacio de usos múltiples de un solo volumen sean bastante difíciles. También plantea cuestiones sobre el espacio flexible frente al espacio diferenciado. La elección de Foster de una gran planta abierta, adaptable a cualquier número de propósitos, tenía que resultar satisfactoriamente mejor que una serie compartimentada de espacios diferenciados optimizados para usos específicos.

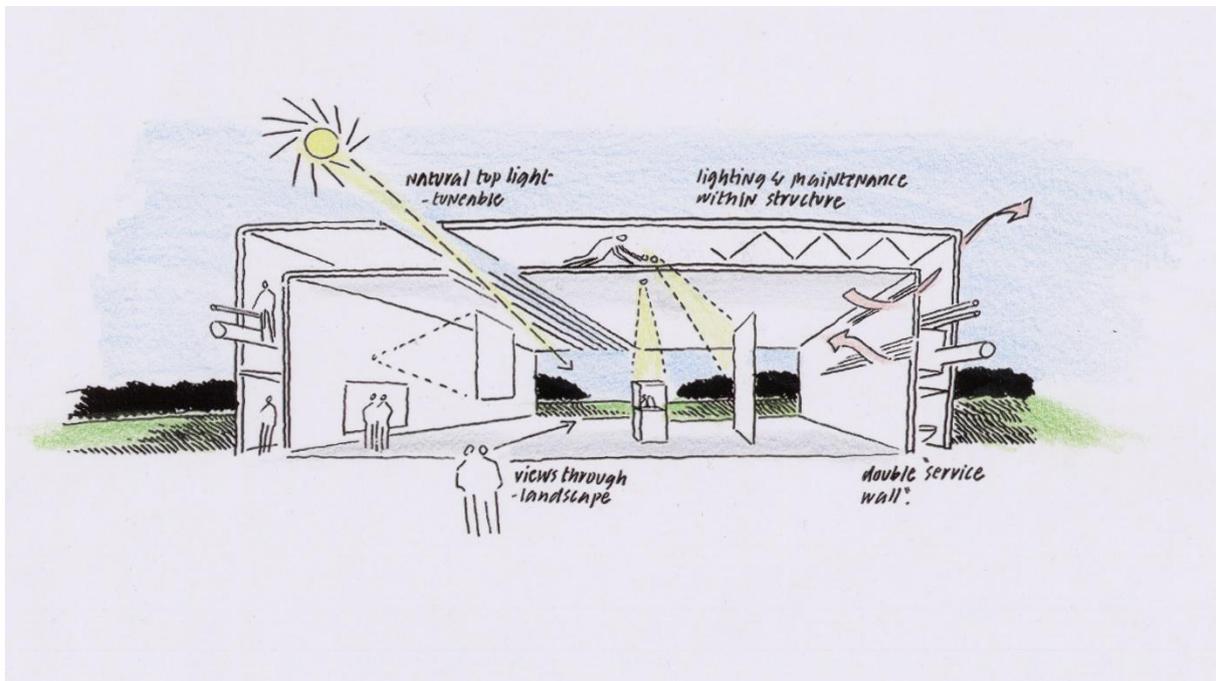


Ilustración 70 Diagrama de funcionamiento del centro Sainsbury (Norman Foster Foundation, (2017). Cutaway section [Ilustración]. Norman Foster Foundation Archive.

https://archive.normanfosterfoundation.org/en/consulta/resultados_busqueda.do?desc=N&id=646&forma=ficha&presentacion=mosaico&posicion=92

Como solución final se plantea una gran planta rectangular de 35 m x 131,4 m para un espacio de 4599 m². Al restar la zona estructural perimetral ocupada de 2,1 m, queda un espacio libre interior de 122,4 m x 29,0 m que equivale a 3.549,6 m² quedando de esta manera alrededor del 70% de la huella en el espacio central continuo. La altura total es de 10,3 m con una altura interior libre de 7,3 m.

Para entrar al edificio desde las terrazas del campus de arriba, se plantea un puente que conduce a los visitantes por encima de la calle y hacia el nivel medio en un ángulo de 45 grados con respecto al plano. Una escalera de caracol baja hasta la zona de recepción. La

entrada a pie al nivel de la calle es a través de una puerta debajo del puente. La escuela de arte tiene sus propias puertas más arriba en la misma elevación lateral del campus.

De punta a punta, el espacio interior central se divide en siete áreas rodeadas por el grueso muro central de servicios.

La cimentación se realiza mediante zapatas rígidas corrida de hormigón de 3,0 m de profundidad y losa de hormigón. También hay un sótano angosto, pero de cuerpo entero conectado por un camino de servicio subterráneo a la calle al norte del edificio.

La estructura principal del edificio consiste en 37 juegos de celosías espaciales que cubren una luz de 34,4 m de ancho y proporciona una altura libre de 7,5 m. Estas vigas se atornillan a los pilares de celosía de acero soldado que forman en planta un triángulo isósceles de base 1,8 m y una altura de 2,5 m y se separan entre sí 3,6 m. Tanto las vigas como los pilares sitúan su base plana hacia el exterior para soportar la envolvente. Las columnas prefabricadas se llevaron al sitio de una sola pieza y las cerchas llegaron en dos secciones.

Las paredes de vidrio en ambos extremos del edificio que miden 30 m por 7,5 m requieren que las dos últimas filas sean hiperestáticas para proporcionar rigidez necesaria para evitar la distorsión de los grandes huecos acristalados. El acristalamiento descansa en canales de acero anclados a la losa de cimentación. Los paneles de vidrio miden 7,5 m por 2,4 m y están unidos por un sellador de silicona estructural. Para reforzar el sistema se utilizan unas aletas de vidrio de refuerzo en toda su altura, como los utilizados en la sede de Willis Faber Dumas, colocados perpendiculares a cada junta en el interior para protegerlos contra el viento.



Ilustración 71 A la izquierda exterior del centro Sainsbury (Kirkwood, K. (1999, 31 agosto). Un templo contemporáneo: el Centro Sainsbury [Fotografía]. Arquitectura Viva. <https://arquitecturaviva.com/articulos/un-templo-contemporaneo-el-centro-sainsbury>)

Ilustración 72 A la derecha interior del centro Sainsbury (Adey, S. (2020, 20 enero). The gallery exhibits the large art collection of Sir Robert and Lisa Sainsbury [Fotografía]. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2020/01/20/sainsbury-centre-norman-foster-video/>)

Las demás fachadas se resuelven mediante un sistema de paneles aislantes intercambiables con revestimiento de aluminio curvo y plano de 1,5 mm. El aislamiento de espuma rígida tiene un grosor de 100 mm. El coeficiente general de transferencia de calor es de $0,47 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Los paneles también reflejan la luz para mantener la temperatura de la superficie iluminada por el sol y, por lo tanto, la ganancia de calor, más manejable. Los paneles de revestimiento de paredes y techos son idénticos y miden 2,4 m por 1,2 m. Todos los paneles encajan en una rejilla de junta continua de neopreno que incorpora un canalón de lluvia integrado en el perfil. Interiormente se resuelve mediante chapa ondulada de aluminio y sistemas de rejilla también de aluminio. Estos sistemas interiores se respaldan con un aislante acústico absorbente para reducir los efectos del ruido. Finalmente, a nivel de techo se instalan una serie de pasarelas que eliminan la necesidad de andamios y escaleras en la galería.

Foster admiraba los ideales de lo efímero de Buckminster Fuller. A partir de 1971, Foster estableció una relación de trabajo con Richard Buckminster Fuller. Esta relación duró hasta la muerte de Fuller en 1983. Encajan bien con sus propios motivos sociales y éticos para la arquitectura. Cuando Fuller vio el Centro Sainsbury, le pidió a Norman Foster una evaluación basada en el peso total de la construcción del edificio. El edificio final tiene un peso total de más de 13,2 toneladas. Los resultados demostraron que el sótano representaba el 80 por ciento de su peso y aproximadamente el 30 por ciento de su presupuesto. Dato más importante aún, es que el edificio pesa menos por metro cuadrado que un Boeing 737. Para los edificios de alta tecnología, las proporciones de peso, costo y beneficio son métricas interesantes. Los materiales livianos, económicos e intercambiables, en este caso, brindan gran parte del beneficio con una menor participación de recursos.

Instalación de Agua Fría Sanitaria (AFS)

Los mayores retos del centro Sainsbury son por un lado las largas distancias que deben recorrer los conductos, llegando a 120 m de distancia de un extremo y por otro lado la solución que da mediante las bandas técnicas laterales. A continuación, se va a explicar cómo se realiza la red de AFS en el edificio.

La acometida de agua fría sanitaria (AFS) en el Centro Sainsbury de artes visuales se realiza desde la red general de la ciudad de Norwich enterrada en una toma desde la calle Norfolk road por el noreste, donde se encuentra la llave de corte general del edificio desde el exterior. Al estar dentro de un campus el cuarto de contadores es general para todos los edificios del conjunto.

La instalación de agua fría sanitaria (AFS) de este edificio se realiza únicamente a uno de sus dos brazos, siendo este el brazo noreste. En este brazo se encuentran tres aseos, que dan servicio a todo el espacio central y en la planta sótano, los aseos se encuentran en prolongación de este brazo.

Debido al tamaño del edificio y su uso principal no se previó de aljibes para solventar cortes fortuitos de agua.

Las instalaciones de AFS pasan a través del techo de las piezas de baño prefabricadas con acabados en obra.

La agrupación en serie de los cuartos húmedos permite una instalación bastante simplificada a través de los ramales.

Los núcleos verticales de aseos están compuestos por cápsulas prefabricadas metálicas con los acabados realizados en obra, que tras su doble paramento permite el tránsito de las conducciones, habiéndose estudiado para las tres posiciones posibles y que se puedan conectar hacia su interior desde los montantes generales en las tres posibles posiciones en las que se puede colocar.

Desde la toma general de cada núcleo de baño tras su llave general de corte se distribuye la red a los por dos ramales de los lavabos, otra a los inodoros y una tercera en los aseos de caballeros hacia los urinarios.

Bajo los lavabos se encuentra la llave de corte que da paso a la grifería del lavabo que es un pulsador y un regulador de temperatura.

Igualmente, desde la misma red se conectan la conexión de AFS de los urinarios que se activan con un pulsador.

Los inodoros cuentan con fluxores por lo que necesitan una presión mínima de 1,5 bares y depósitos de agua que permiten la alimentación de la conducción con la simultaneidad exigible para el número de inodoros en cada torre.

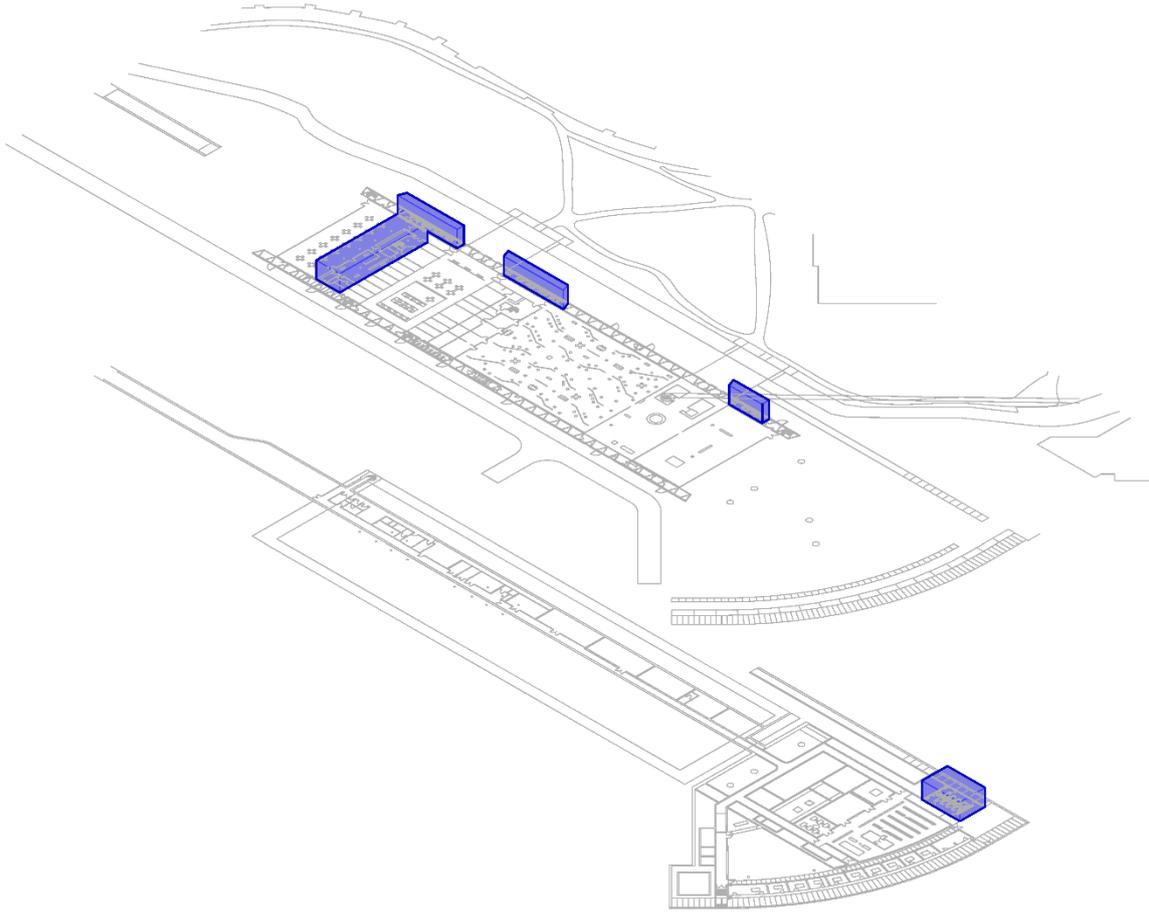


Ilustración 73 Esquema instalación AFS (Elaboración propia del autor)

Instalación de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Los retos en el centro Sainsbury para la red de ACS son los mismo que nos encontrábamos en AFS, pero en este caso se suma el problema de las pérdidas de calor.

La demanda de agua caliente sanitaria (ACS), se resuelve con una caldera central de la universidad que aporta el calor necesario para todo su campus.

Merece una mención el sistema de producción de ACS que tiene el conjunto universitario de una caldera de distrito, compuesto por tres calderas de gas teniendo una capacidad total del equipo de 6MW por caldera, cuya eficiencia máxima se consigue cuando la demanda es del 65% de la producción máxima, reduciéndose la eficiencia cuando es superior o inferior, suponiendo un mayor costo y mayor número de emisiones de carbono por cada unidad de calor que se produce.

Gracias a la instalación de una serie de depósitos térmicos las calderas funcionan al 65 % de la producción durante la mayor parte del tiempo, y los depósitos se descargan o cargan según sea necesario a medida que la demanda de calor del campus aumenta o disminuye. Cuando la producción de la caldera supera la demanda de calor del campus, los depósitos térmicos se cargan para su uso posterior, y cuando la demanda de calor supera la producción de la caldera, los depósitos se descargan.

La demanda de ACS de este edificio no es muy alta pues solo tiene aseos y no tiene elementos de vestuario en su interior, pues son elementos que suelen disparar la demanda en los edificios, aunque sí que existe un restaurante con una cocina que aumenta ligeramente la demanda de ACS.

La canalización de estos tubos está protegida con tuberías aisladas mediante aislante térmico para reducir las pérdidas de calor, garantizando la temperatura en los puntos de suministro de 38°C.

Dispone de circuito de retorno dada las largas distancias a los distintos puntos de suministro de ACS, para garantizar un aprovechamiento energético razonable para su época.

En este caso no es necesario grupo de presión puesto que el suministro garantiza un caudal y una presión suficiente, para una red horizontal como la de un edificio con estas características.

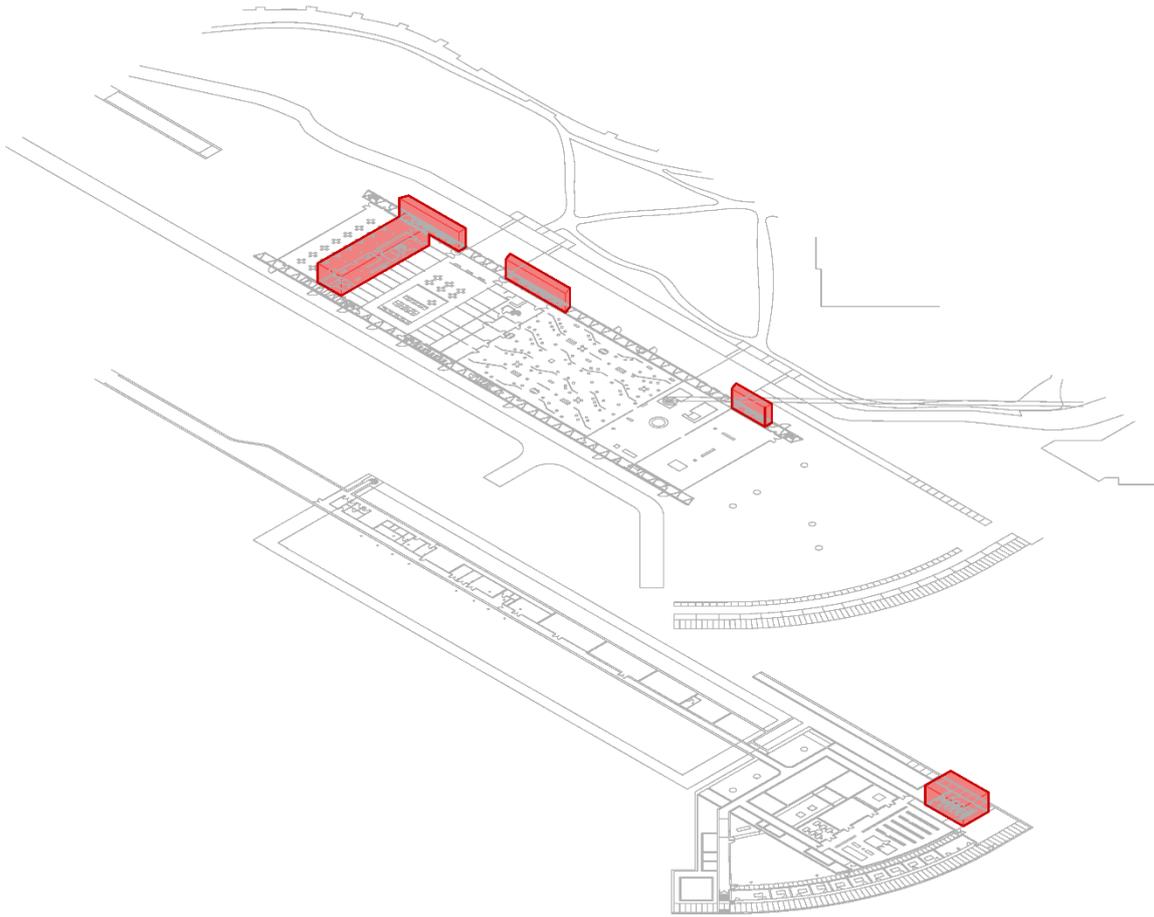


Ilustración 74 Esquema instalación ACS (Elaboración propia del autor)

Instalación de Saneamiento

El saneamiento del centro Sainsbury plantea dos aspectos principales a resolver, el primero y principal su amplia cubierta y segundo sus aseos y otras instalaciones secundarias como la cocina.

La instalación de saneamiento de la cubierta, tiene como función evacuar el agua de pluviales, evitando las condensaciones, las filtraciones y las goteras que provocaría el estancamiento de los fluidos.

La pared y la cubierta son de construcción idéntica. Todos los paneles encajan en una rejilla de junta continua de neopreno que incorpora un canalón de lluvia integral en el perfil. Los desagües del techo, las bajantes y los colectores han sido eliminados por el sistema de uniones de goma detrás de las placas prefabricadas. Su perfil incorpora un pequeño canalón, y todo el conjunto forma un sistema de drenaje distribuido. En la base del edificio hay un canal de lluvia continuo para llevar el agua derramada de la piel del edificio.

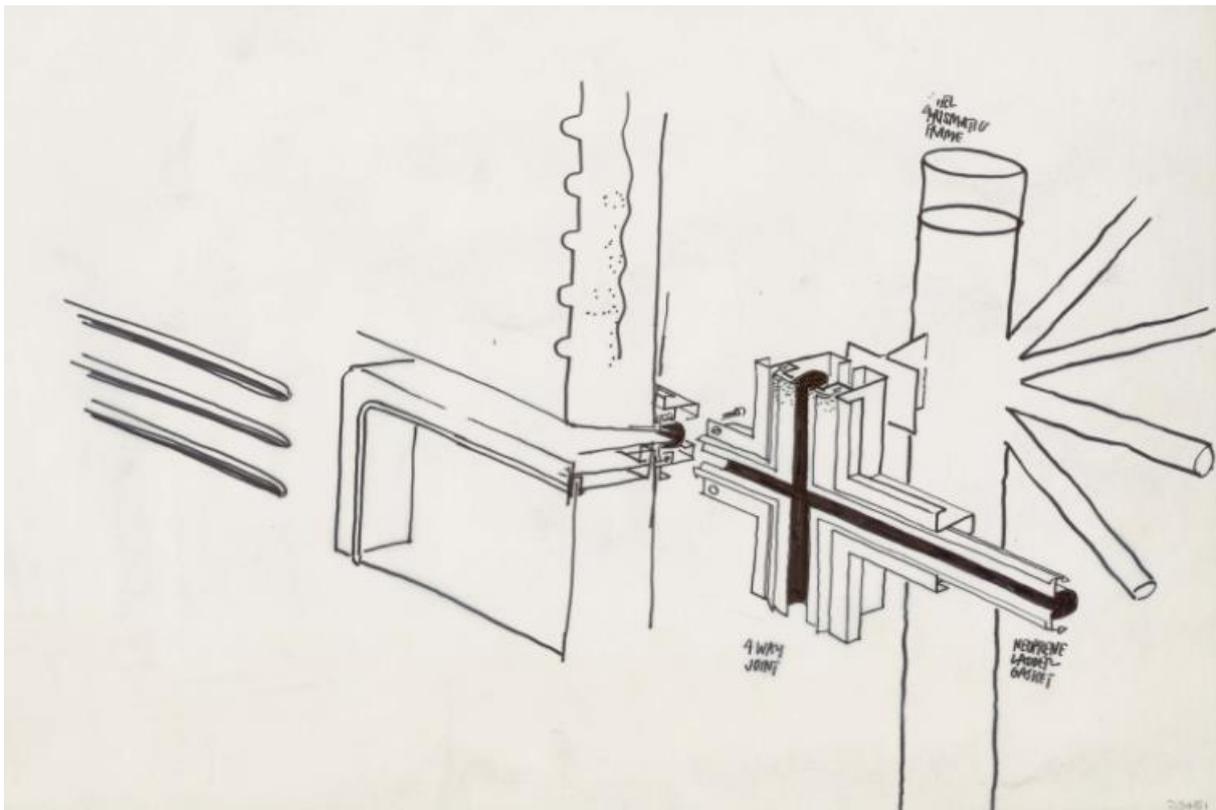


Ilustración 75 Detalle del sistema constructivo (Norman Foster Foundation. (2017). Detail [Ilustración]. Norman Foster Foundation Archive.

https://archive.normanfosterfoundation.org/en/consulta/resultados_busqueda.do?desc=N&id=1239&forma&presentacion=mosaico&posicion=261

Las vigas del techo se ensamblaron con un ligero éntasis y se les aplicó una contraflecha de forma ascendente de 150mm, para permitir el flujo del agua de lluvia y contrarrestar la ilusión de "pandeo".

La zona en sótano que está fuera del volumen principal del edificio, se resuelve con una cubierta vegetal transitable. La vegetación es de pequeño porte compuesto principalmente por césped, que de por sí ya favorece el deslizamiento del agua y ayuda a la impermeabilización. Por otra parte, se ha resuelto los problemas relacionados con las raíces

para no dañar la impermeabilización y la evacuación del agua ya sea filtración, utilizando conducciones y sumideros que reconducen el agua a la red de pluviales, o por la pendiente del propio terreno, que evacua el agua a niveles inferiores fuera del perímetro del edificio.



Ilustración 76 Zona soterrada fuera del volumen principal y su cubierta vegetal (On An Overgrown Path. (2006, 24 junio). Norman Foster's Sainsbury Centre [Fotografía]. On An Overgrown Path. <https://www.overgrownpath.com/2006/06/norman-fosters-sainsbury-centre.html>)

La red de saneamiento de los aseos transcurre enterrada bajo la solera de hormigón sobre la que se apoyan los aseos prefabricados. Gracias a la organización en única banda longitudinal de los aseos, la evacuación hacia la red general se produce de la manera más rápida y con el menor recorrido favoreciendo el aumento de la pendiente de los conductos y evitando de esta manera atranques indeseados.

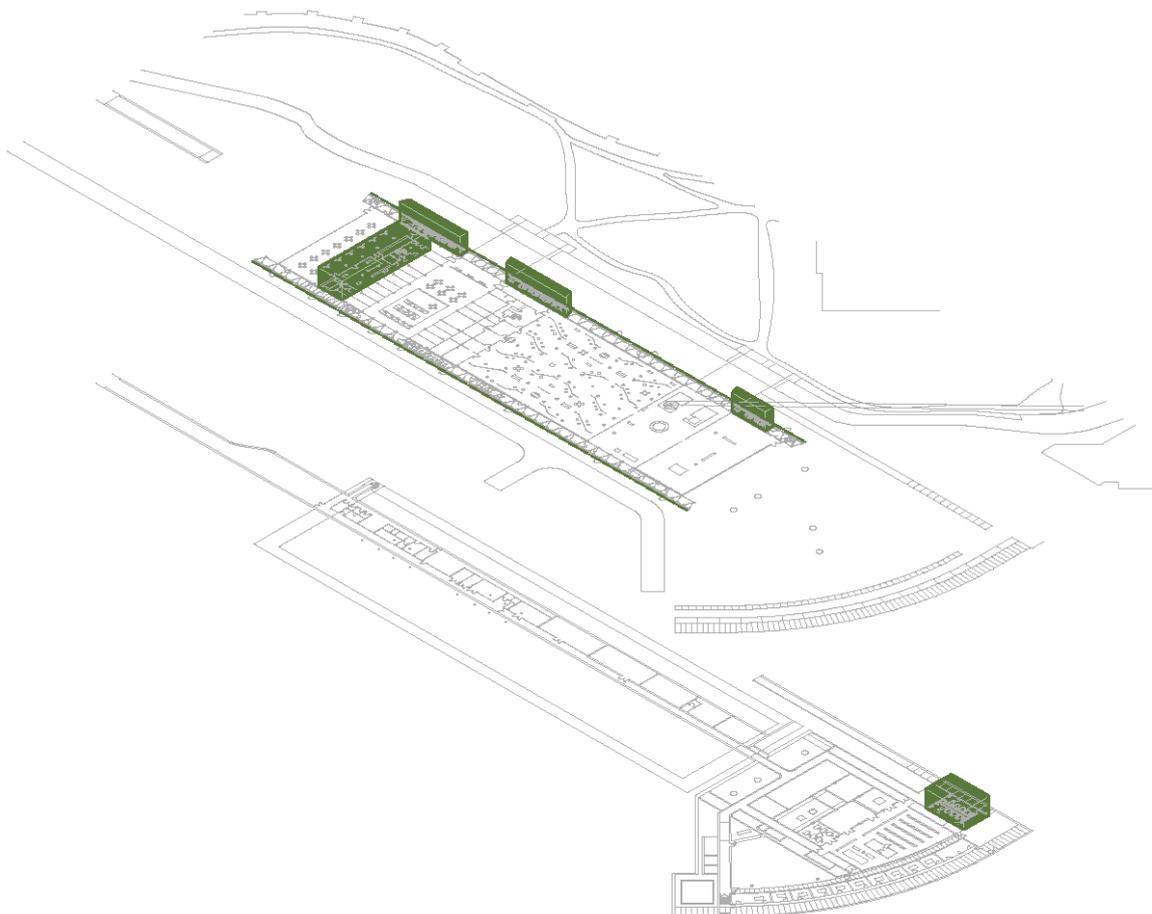


Ilustración 77 Esquema instalación saneamiento (Elaboración propia del autor)

Instalación de Climatización y Ventilación

Antes de hablar de las distintas instalaciones de climatización y ventilación de este edificio se procede a explicar cómo es el clima del emplazamiento del edificio. La región climática de los condados del este de Inglaterra incluye Norwich e Ipswich en la costa y se extiende tierra adentro hasta Cambridge, Northampton y Milton Keynes. Esta área está separada hasta cierto punto de las influencias marítimas moderadoras de la Corriente del Golfo en la mitad oriental de las Islas Británicas. Su clima invernal en particular está sujeto a la influencia de las masas de aire frío del continente. El aire más cálido a través del Canal de la Mancha con frecuencia proporciona suficiente energía y humedad para producir lluvia y nieve en invierno en los condados del este británico.

En general, Norwich es más seco que la mayor parte de Inglaterra debido a la separación de la costa oeste de la Corriente del Golfo que transporta la humedad. Anualmente, hay 550 mm de precipitación en Norwich frente a 600 mm en Londres, 800 mm en Brighton y 1000 mm en el este de Cardiff y Plymouth. Partes de la costa oeste de las Montañas Cámbricas, en comparación, reciben más de 2000 mm por año.

Las temperaturas en Norwich rara vez excede los 24°C, normalmente por menos de 174 horas al año. Las lecturas por encima de los 29 °C son muy raras, y el nivel más alto registrado es de 33 °C.

Los desafíos que se plantean en el centro Sainsbury son, por una parte, la larga distancia que tiene que recorrer el agua que pasa por los conductos de los fan-coil y, por otra parte, la decisión de que en el edificio no se quería colocar un gran sistema de climatización si no únicamente un sistema de calefacción y la refrigeración se conseguiría mediante una buena ventilación.

El edificio se apoya en una serie de estrategias de orientación de las fachadas para minimizar las cargas de refrigeración, permitiendo de esta manera que los sistemas de climatización se limiten a la calefacción y la ventilación. El calor se distribuye al edificio desde una planta central del campus en forma de agua a alta temperatura. La ventilación se suministra directamente a través de los paneles enrejados de la envolvente, y el aire se descarga en los espacios ocupados a través de difusores de pared lateral de largo alcance. En total, hay 40 unidades de fan-coil ubicados en los tres niveles superiores del muro sur. Los conductos no penetran más allá de la pared de servicio. Los espacios de pared intersticiales y los paneles de pared exteriores removibles eliminan la necesidad de grandes obras a la hora de tener que mantener o reparar los equipos mecánicos. Se proporciona ventilación de escape adicional para cocinas, baños, cuartos oscuros y sótanos.

Su integración en el edificio potencia la modulación forzada de la estructura, destacando el orden compositivo de la fachada. En ocasiones la máquina pasa a ser un elemento compositivo más en la fachada sur, quedando los sistemas mecánicos totalmente vista; sin embargo, en el frente de acceso las máquinas aparecen cerradas por una rejilla para dar un aspecto más uniforme y menos tecnológico.



Ilustración 78 Sistema de climatización acabado exterior (Dant, M. (24 de octubre de 2011). Sainsbury Centre for Visual Arts [Fotografía]. flickr. <https://www.flickr.com/photos/faasdant/6320158646/in/photostream/>)

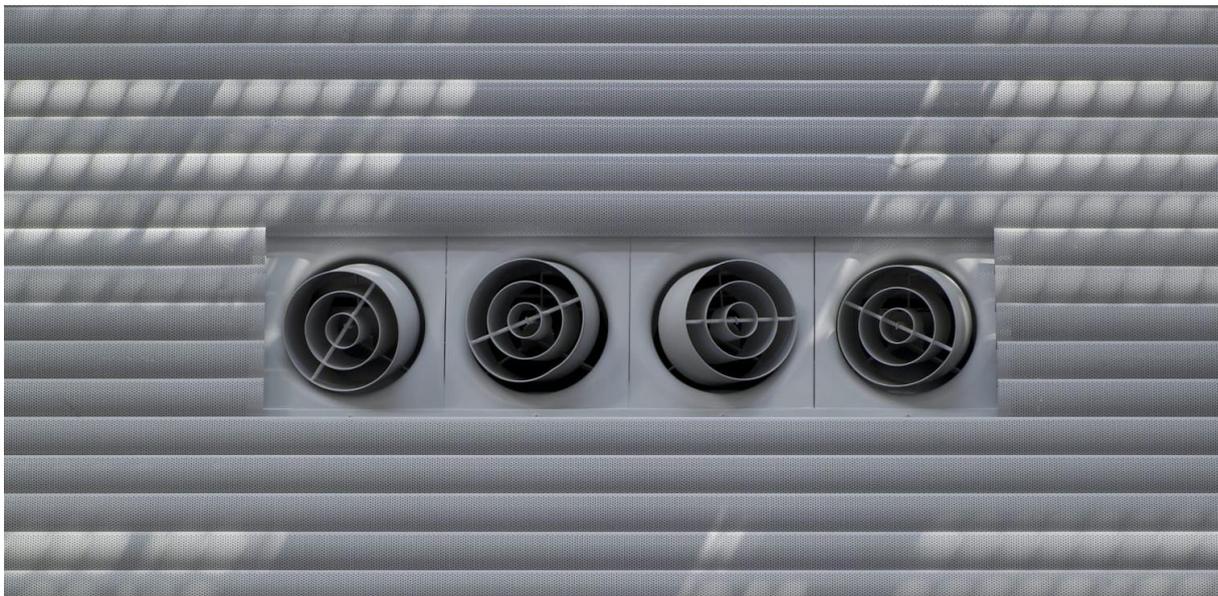


Ilustración 79 Sistema de climatización acabado interior (Young, N. (2015, 18 mayo). FOSTER + PARTNERS SAINSBURY CENTRE FOR VISUAL ARTS [Fotografía]. DIVISARE. <https://divisare.com/projects/289372-foster-partners-peter-cook-john-donat-dennis-gilbert-nigel-young-ken-kirkwood-sainsbury-centre-for-visual-arts>)

Esta solución de bajo consumo energético que prescindiera del enfriamiento mecánico fue un reto, incluso en el clima frío de Norwich. Un factor de vital importancia en este proyecto son las obras de arte que iba a contener, pues los altos niveles de humedad y temperatura aceleran la degradación del material de las obras de arte. El enfriamiento natural con ventilación de aire exterior tendría que ser capaz de compensar no solo las ganancias de la envolvente de temperatura e impactos solares, sino también la ganancia de calor interna de las personas, las luces y los equipos.

En la parte nueva del edificio, que se encuentra en la zona inferior, se dispone de un sistema de climatización que impulsa el calor desde el suelo mediante un sistema de plenum similar al del edificio Lloyd's explicado anteriormente con la única diferencia de que en este caso solo es de calefacción.

La temperatura media a la que se mantiene el edificio en invierno es de aproximadamente 20,5°C, con variaciones de $\pm 1^\circ\text{C}$ y una humedad relativa media en ese periodo de aproximadamente 44%, con una variación aproximada de $\pm 2\%$ y la temperatura media a la que se mantiene el edificio en verano, es de aproximadamente 23,5°C con variaciones de $\pm 1^\circ\text{C}$ y una humedad relativa media de aproximadamente 60%, con una variación aproximada de $\pm 2\%$, lo que nos permite concluir que es un espacio con un gran confort y un microclima muy controlado.

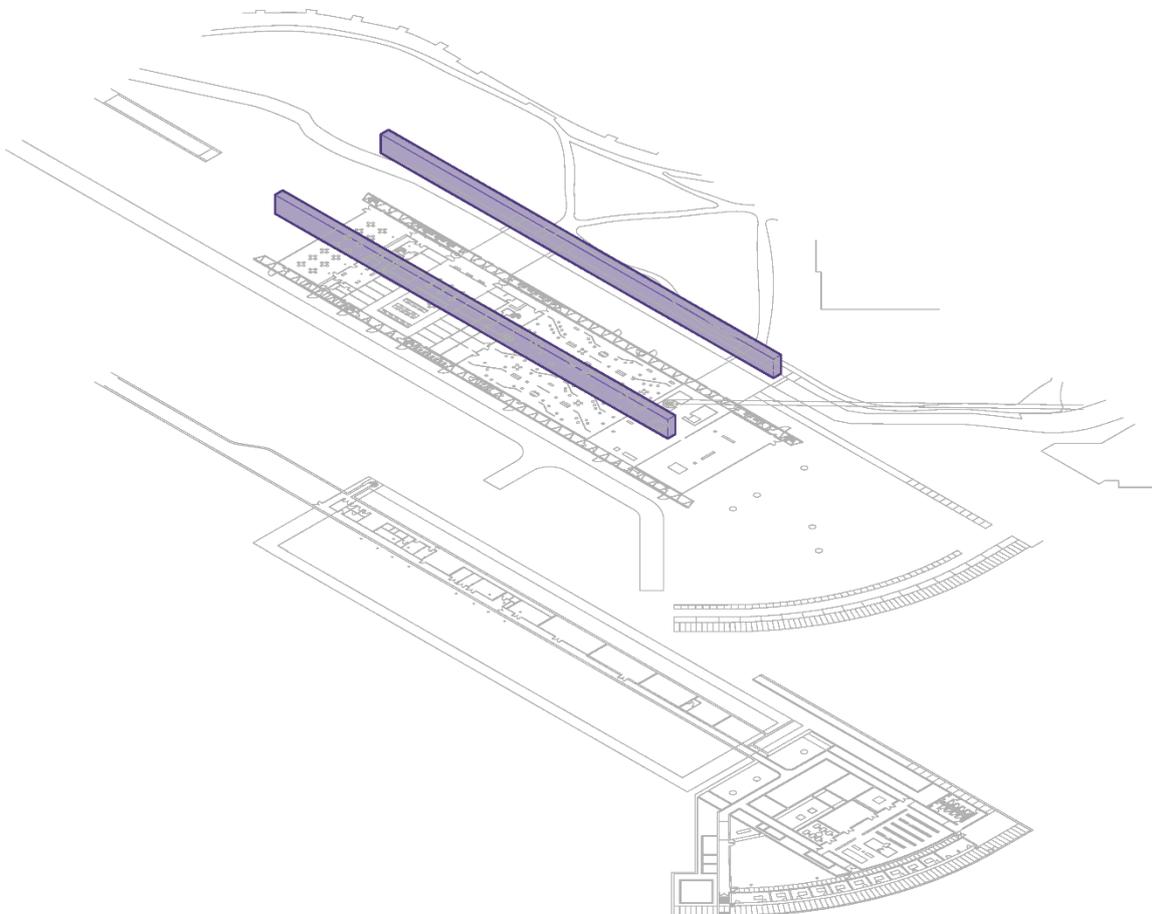


Ilustración 80 Esquema instalación climatización y ventilación (Elaboración propia del autor)

Instalación de Electricidad

La acometida de electricidad a baja tensión en el edificio se realiza ya convertida desde el transformador más próximo del campus, llegando al cuadro general de protección del edificio desde el exterior.

A continuación, están los equipos de medida, el maxímetro y contadores previo al interruptor general de corte. A partir de este punto las fases se conectan a un cuadro general desde el que se dividen las distintas líneas que necesita el edificio.

Seguidamente se llega a un sistema de toma de tierra mediante cable enterrado de cobre en la cimentación y picas para garantizar la seguridad de la instalación.

A partir de aquí las fases se subdividen en dos cuadros, uno por planta. Desde el cuadro se dividen los circuitos correspondientes a alumbrado, toma de corriente, máquinas de climatización, cuartos húmedos, derivación a telecomunicaciones, ascensores y montacargas, equipos de bombeo, sistemas de seguridad, alumbrado de emergencia, alumbrado exterior y protección contra incendios.

Las fases conectan a los distintos circuitos de manera que los consumos de electricidad queden compensados entre las tres fases.

Desde cada una de esas derivaciones, cada circuito dispondrá de su cuadro eléctrico dimensionado en función de su potencia necesaria con automáticos, diferenciales, magnetotérmicos e interruptores generales y dividiendo los cuadros por plantas dando servicio desde donde llegan los mecanismos de corte por zonas, las tomas de corriente y el acceso a los cuadros de las salas de máquinas que pueda haber en cada una de las plantas.

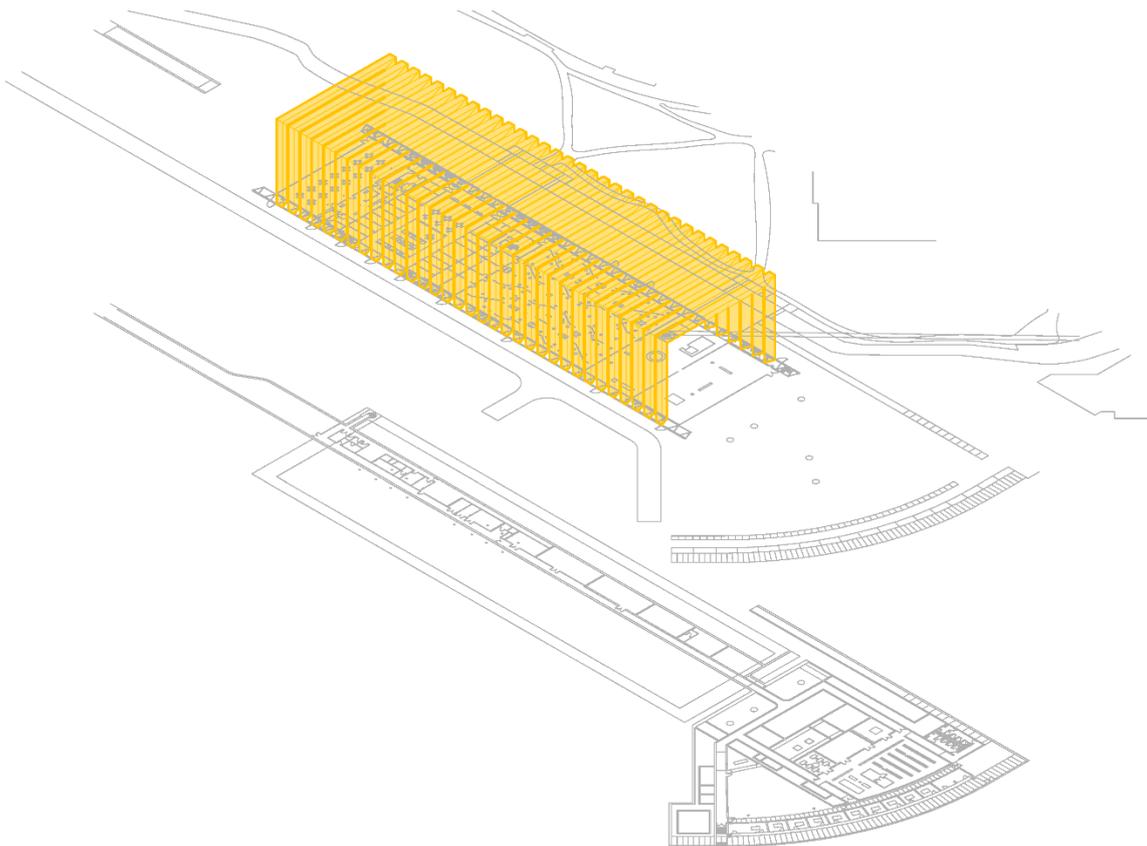


Ilustración 81 Esquema instalación electricidad (Elaboración propia del autor)

Instalación de Iluminación

El alumbrado se conecta a través de los pórticos y unas pasarelas técnicas y las tomas de corriente se realizan por el suelo técnico a 13 A, 220 V según la normativa británica y toma tipo G. Los ascensores se conectan en trifásico a 400v al igual que los equipos de bombeo y los equipos de climatización que tienen motores. Gracias a los espacios de pared intersticiales y los paneles de pared exteriores removibles se elimina la necesidad de grandes obras para el mantenimiento o la reparación de los sistemas eléctricos.



Ilustración 82 Sistema de iluminación interior (Wikimedia Commons. (9 de mayo de 2015). Voice Project - Observatory [Fotografía]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voice_Project_-_Observatory_-_003.jpg)

En el centro Sainsbury, la luz ambiental suplementaria es suministrada por lámparas de riel de alto voltaje y la iluminación de las obras se realiza por luminarias de bajo voltaje. Las láminas de aluminio inferiores del techo están espaciadas en largas filas y las fuentes de luz artificiales están montadas en los espacios abiertos entre ellas, mediante luminarias empotrables de halogenuros metálicos High Bay. Toda la iluminación de las obras se proporciona desde este nivel. Aunque es menos eficiente energéticamente iluminar el arte desde 4,5 m por encima de la zona de exhibición, esta estrategia montada en el techo mantiene gran parte del calor de la luz en lo alto del espacio donde se puede disuadir antes de afectar la temperatura ambiente.

La iluminación para la visualización del museo, proporciona una iluminación a nivel de tarea del orden de 540 lux, con una reproducción cromática excelente.

Estrategia energética

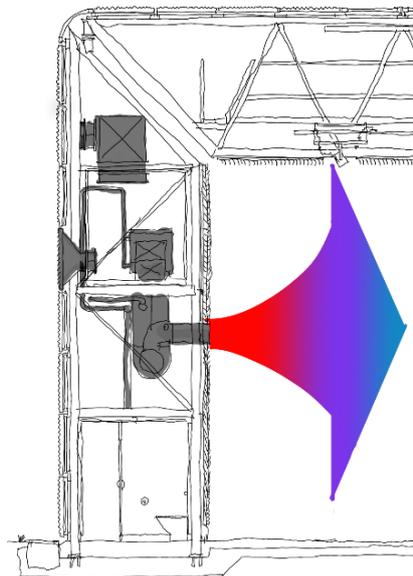
En el centro Sainsbury se emplea como estrategia energética activa un sistema de calefacción todo agua. Como objetivo se buscaba la no utilización de un sistema de refrigeración, pues esta se consigue gracias a una buena ventilación.

El agua caliente que se utiliza en el edificio proviene de una planta central del campus en forma de agua a alta temperatura. Esto supone una dependencia total del servicio, pero reduce a mínimos las instalaciones dentro de la construcción y evita la necesidad de chimenea propia para la expulsión de gases de combustión.

La ventilación se suministra directamente a través de los paneles enrejados de la envolvente, y el aire se descarga en los espacios ocupados a través de difusores de pared lateral de largo alcance. En total, hay 40 unidades de fan-coil ubicados en los tres niveles superiores del muro sur. Los conductos no penetran más allá de la pared de servicio y de esta manera se evitan las grandes secciones de tubo.

En este edificio no se han planteado sistemas de recuperación de calor porque cada máquina tiene toma de aire exterior de forma individual y el aire no es pretratado.

El tener tomas de aire exterior individuales reduce el trazado de las instalaciones considerablemente, aunque aumenta el volumen que ocupan. En este caso no supone un impedimento para el proyecto el dejarse vistas, generando el aspecto del edificio y al permitir el paso de luz.



*Ilustración 83 Esquema de funcionamiento del sistema de climatización del centro Sainsbury en sección
(Elaboración propia del autor)*

La altura del edificio es un factor crucial en el control de la temperatura. El aire caliente recogido en la parte superior puede ser expulsado por un sistema de ventilación simple, que permite las mejores condiciones de trabajo a nivel del suelo durante el día.

El centro Sainsbury se apoya en una serie de estrategias pasivas como la forma, el clima y la orientación. El factor forma del centro Sainsbury es de $0,30 \text{ m}^2/\text{m}^3$ partiendo de los datos conocidos del edificio con una base de $35 \text{ m} \times 131,4 \text{ m}$ y una altura de $10,3 \text{ m}$. Es un edificio bastante compacto, aunque algo menos que el edificio Lloyd's, lo que le permite tener más interacción con el medio.

La proporción de la planta es de 1:3,75, siendo una forma alargada e ideal para los climas templados, aunque su relación es algo mayor a la óptima. La orientación del eje principal del edificio es noroeste-sureste, esto hace que las ganancias en la fachada suroeste sean algo menores si estuviera perfectamente orientada al sur, por lo que, si se plantease una equivalencia, su proporción de la planta se aproximaría a las características más favorables.

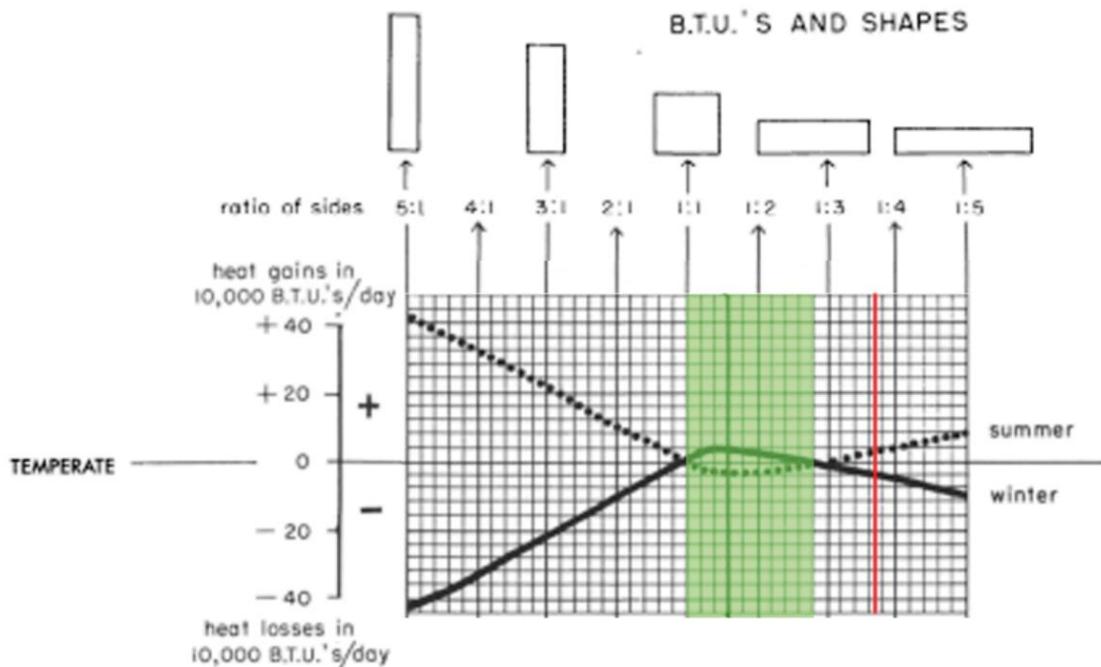


Ilustración 84 Relación de los lados de la planta en el centro Sainsbury y sus ganancias y pérdidas (Olgay, V. (1963). *Basic forms and building shapes in different regions*. [Ilustración]. En *Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism* (Princeton University Press ed., p. 89).)

Se van a desarrollar a continuación una serie de estrategias que se aplican a este edificio de los siguientes campos:

- Aprovechamiento de las condiciones eólicas para ventilación
- Aprovechamiento de la energía solar para calefacción y ACS
- Aprovechamiento de la energía del terreno
- Iluminación natural y sistemas de control solar

Aprovechamiento de las condiciones eólicas para ventilación

Los mecanismos de aprovechamiento del aire mediante sistemas pasivos en el centro Sainsbury se basan principalmente en la ventilación cruzada. En este caso esta se controla mediante huecos practicables en las fachadas permitiendo regular, controlar o suprimir este mecanismo.

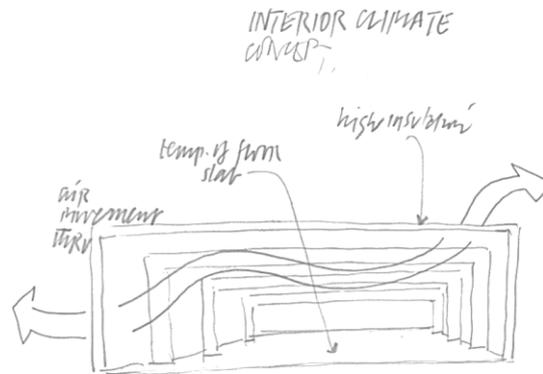


Ilustración 85 Esquema del flujo del aire a través del edificio (Norman Foster Foundation. (2017). Sketches [Ilustración]. Norman Foster Foundation Archive. https://archive.normanfosterfoundation.org/en/consulta/resultados_busqueda.do?desc=N&id=629&forma&presentacion=mosaico&posicion=61)

Como se ha explicado anteriormente la forma del objeto influye en las acciones del viento, creando diferentes regiones a su alrededor, con presiones y succiones de diferente intensidad. En el centro Sainsbury de artes visuales para conseguir la reducción del estancamiento del aire se ha optado por un diseño más aerodinámico, pues las brisas dominantes de verano en Norwich provienen del oeste al suroeste y fluyen directamente sobre el eje corto del edificio.

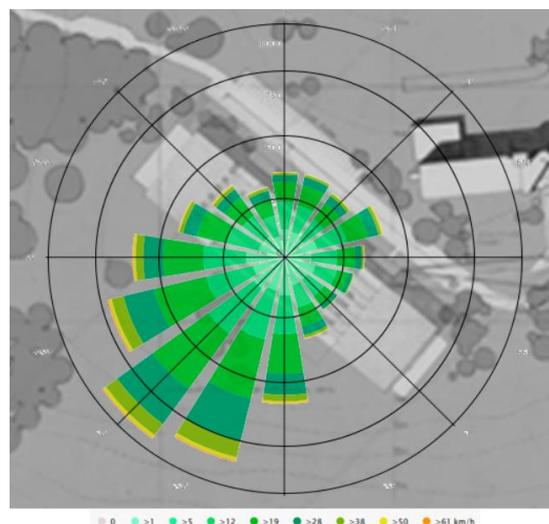


Ilustración 86 Vientos dominantes de la ciudad de Norwich sobre el plano de situación del edificio. (Elaboración propia del autor, datos obtenidos de https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/norwich_reino-unido_2641181)

La climatización de este edificio también aprovecha el efecto evaporativo mediante unas masas de agua ya existente, procedentes del cercano río Yare y el lago del campus.

Aprovechamiento de la energía solar para calefacción y ACS

El edificio Centro Sainsbury dispone de fachadas y cubiertas de gran espesor, que alcanzan los 2,4 metros para evitar el sobrecalentamiento, esto permite que los muros tengan constante la temperatura interior, manteniendo parecidas temperaturas en verano y en invierno.

Otro mecanismo son sus fachadas en acabado metálico que refleja radiación solar reduciendo de esta manera las ganancias térmicas por el sol.

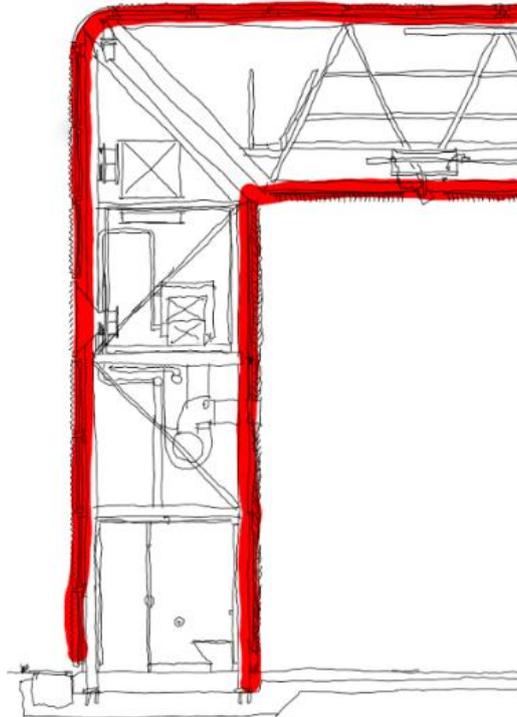


Ilustración 87 Doble fachada del centro Sainsbury que mejora la inercia térmica del edificio (Elaboración propia del autor)

La exposición solar del edificio es principalmente horizontal gracias al amplio acristalamiento en el techo, por lo que la orientación de las paredes es menos importante. Gracias a su **cubierta plana** recibe el cien por cien de las horas de sol durante el día. En verano esto puede ser un problema, pues los rayos que inciden sobre ella en los momentos de máxima irradiación lo hacen de una forma muy perpendicular. Esta situación se resuelve mediante una serie de mecanismos y los sistemas de control solar que se van a explicar más adelante.

Aprovechamiento de la energía del terreno (arquitectura enterrada)

En este edificio no se ha optado por ningún mecanismo activo como la geotermia para aprovechar la energía que aporta el terreno, pero sí se ha tenido en cuenta la capacidad de inercia subterránea.

En el sótano se ha decidido colocar los almacenes de las obras de arte, pues es el lugar con una temperatura y una humedad más constante. Además, es independiente de las variaciones energéticas de corta duración del clima exterior.

La parte sureste del edificio cuenta con una cubierta vegetal. En esta zona se encuentra parte de las instalaciones de restauración de obras de arte y oficinas. Gracias al tipo de cubierta se eliminan los efectos del sobrecalentamiento sobre la techumbre. Además, los recubrimientos vegetales proporcionan una ventilación superficial, utilizando la distribución de los elementos orgánicos en la cubierta, permitiendo la circulación del aire para que se renueve.

Iluminación natural y sistemas de control solar

Para el diseño del sistema de iluminación natural en el edificio del Centro Sainsbury se ha planteado un gran acristalamiento en el techo, permitiendo de esta manera que la exposición solar del edificio sea horizontal y la orientación de las paredes pierda relevancia.

Todas las áreas públicas, excepto el restaurante y los entresijos, están iluminadas por cuatro filas dobles de paneles de techo translúcidos y un alero translúcido continuo con un sistema de pared curvo y otro plano. Hay 32 paneles en todo el techo, por lo que está vidriado en un 25 por ciento sobre esta área. Contando los paneles de la pared y el alero, el cerramiento consta de 46 paneles a lo largo del remate, estando vidriados 12 de ellos en las salas que más luz necesitan durante el día. Además, en el alzado sur la zona que está entre las puertas de la escuela de arte y la entrada principal, la pared está cubierta con paneles translúcidos hasta el alero curvo. Todos estos elementos están sujetos a reorganización, pero ese es el esquema original.

Los revestimientos interiores consisten en lamas de aluminio perforado. Para regular la luz del día se usan dos sistemas distintos: persianas controladas por fotosensores debajo de los tragaluces horizontales, a través del marco estructural y de las láminas ajustables del techo. Los dos conjuntos de persianas están colocados en ángulo recto entre sí, con los controles del tragaluz a lo largo del plano y las persianas del techo refuerzan la línea de la sala larga. Esta celosía entrecruzada crea una malla fina y, por lo tanto, evita el deslumbramiento directo con mucha más eficacia que las persianas paralelas. Tanto las paredes como los techos están pintados de blanco, color que mejor refleja la luz.



Ilustración 88 Sistema de doble persiana en perpendicular (Ormeño, C. (s. f.). Centro de artes visuales Sainsbury [Fotografía]. seArch. <https://seearch.es/obra/centro-de-artes-visuales-sainsbury>)

Conclusiones

Desde la antigüedad se han buscado soluciones constructivas y técnicas para mejorar la calidad ambiental en el interior de los edificios, muchas de ellas todavía vigentes para un buen diseño en el campo de la arquitectura. Las instalaciones en los edificios han ido adquiriendo progresivamente un carácter cada vez más relevante, aunque desde mediados del siglo XX su importancia se ha vuelto decisiva, influyendo en el resultado final de los proyectos.

Las instalaciones en la arquitectura constituyen la solución a aquellos problemas que mediante mecanismos pasivos no se pueden conseguir. El progreso que se aprecia en este campo es exponencial, sin que se pueda establecer su límite en estos momentos. Cada vez hay tecnologías más avanzadas que permiten resolver de forma sencilla y eficaz aspectos de la arquitectura que antes eran considerados muy complejos o incluso irresolubles.

A la hora de diseñar una construcción, ya sea de un edificio en altura o extensivo, es fundamental tener presente que la forma del edificio va a influir en gran manera en el funcionamiento y la eficiencia de las instalaciones que luego se coloquen.

La localización y el clima del edificio nos pueden dar pistas de cómo debe ser la morfología, siendo las formas en altura más eficientes en climas fríos y cálidos secos y los edificios extensivos en climas templados y cálidos y húmedos.

Otro elemento determinante es el factor de forma y la relación del edificio con el exterior. Es muy importante tener en cuenta que un alto factor de forma implica una gran relación con el exterior. Por ello, se debe prestar una especial atención al entorno que rodea al proyecto pues este lo va a condicionar en su calidad ambiental interior. Por el contrario, un bajo factor de forma permite una mayor libertad a la hora de relacionarse con el exterior.

Vinculado con la forma está la orientación que se debe adaptar a nuestras estrategias energéticas, por cuanto que variará dependiendo si se busca una mayor relación con los vientos predominantes o la relación con el sol, siendo las orientaciones más eficientes cuando el edificio tiene un eje principal en el sentido este-oeste.

Una vez definida la forma y las estrategias energéticas de las que se va a nutrir nuestro proyecto se podrán colocar las instalaciones, que funcionarán con mayor eficacia y menor consumo si se han tenido presente todos los aspectos anteriores. No existe una instalación a priori perfecta que solucione todos los problemas, por lo que se debe buscar aquella instalación que mejor se adapte a las características de nuestro proyecto.

Normalmente, se va a buscar que las instalaciones supongan el menor espacio posible pues estas implicarán perder superficie útil. En general, con una menor sección de los tubos, cables y conductos será más fácil conducirlos y si se considera necesario ocultarlos.

La ubicación de las instalaciones es la piedra angular de un buen proyecto, pues una colocación inadecuada de las mismas va a provocar un funcionamiento deficiente, no solo de la instalación si no del edificio, pudiendo arruinar un buen diseño arquitectónico. Además, si la instalación es de difícil acceso, cuando sea necesaria una reparación esta supondrá más tiempo y seguramente mayor coste.

Las instalaciones de los edificios son como seres vivos, evolucionan y crecen por lo que es muy recomendable prever zonas para su ampliación, aumentando así su vida útil y reduciendo las posibilidades de alteración de la idea proyectual en los procesos de ampliación, actualización y mejora de sus infraestructuras y servicios.

Numerosas estrategias energéticas e instalaciones son comunes tanto para los edificios extensivos como los edificios en altura, pues el problema común es la distancia.

Los sistemas de fontanería en los edificios en altura el reto a vencer es la gravedad, es decir la distancia vertical, mientras que en los edificios extensivos es el rozamiento, traducido como largas distancias principalmente en horizontal.

La electricidad tiene como mayor problema las grandes longitudes de cable, sin importar que este se encuentre en vertical u horizontal, pues a causa de ello se producen pérdidas de calor.

Los sistemas de climatización y ventilación el reto varía en función del tipo que sean. Los problemas se asimilarán a los de fontanería de cada tipología si son sistemas basados en agua. Si son sistemas basados en aire, el problema será el rozamiento de este fluido con las paredes del tubo, aumentando el rozamiento cuanto mayor sea la distancia y menor sea la velocidad del aire que pasa a través del tubo.

El estudio de la arquitectura High-Tech me ha permitido comprender que el resultado del diseño de un edificio no es fruto del azar y que conseguirlo no es solo una teoría, sino que es algo posible utilizando los recursos tecnológicos disponibles de la manera más inteligente, rechazando las estrategias menos prácticas, demostrando además que las instalaciones en la actualidad, cada vez más, pueden llegar a ser el alma de los edificios.

Por otro lado, la fijación previa de unos objetivos de eficiencia energética, un buen estudio previo de las condiciones del entorno donde se va a intervenir y el conocimiento de las distintas estrategias por parte de los arquitectos de este estilo, permite, aparte de un diseño brillante como el de los dos edificios analizados, obtener ventajas económicas tanto en su construcción, como en su consumo y su mantenimiento.

Bibliografía

- Almonacid Canseco, R. (28 de Mayo de 2017). 'ARQUITECTURA HIGH-TECH' (13-10-2016).pdf. Obtenido de <https://www.academia.edu/>: https://www.academia.edu/33232666/ARQUITECTURA_HIGH-TECH_UNA_RETROSPECTIVA_HASTA_LA_ACTUALIDAD
- Araujo Armero, R. (2007). *La arquitectura como técnica. 1. Superficies*. Madrid: ATC editores.
- Araujo Armero, R. (2012). *La arquitectura como técnica. 2. Construir en altura : sistemas, tipos y estructuras*. Barcelona: Reverté.
- Ariano, A. (3 de Febrero de 2020). *Lloyd's of London, Richard Rogers*. Obtenido de Andrea Ariano: <https://andreaarianophsaggio2019.home.blog/2020/02/02/lloyds-of-london-richard-rogers/>
- Ariza, H. (31 de Octubre de 2020). *LLOYD'S BUILDING. Futuristic design in the City of London*. Obtenido de Architectural Visits: <https://architecturalvisits.com/en/lloyds-of-london-building/>
- Feijó Muñoz, J. (1994). *Instalaciones de Iluminación en la Arquitectura*. Valladolid: Ediciones Universidad de Valladolid.
- Feijó Muñoz, J. (2000). *Instalaciones de Climatización en la Arquitectura*. Valladolid: Ediciones Universidad de Valladolid.
- Feijó Muñoz, J. (2017). *Instalaciones Eléctricas en la Arquitectura*. Valladolid: Ediciones Universidad de Valladolid.
- Foster + Partners. (s.f.). *Sainsbury Centre for Visual Arts*. Obtenido de Foster + Partners: <https://www.fosterandpartners.com/projects/sainsbury-centre-for-visual-arts/>
- Fumadó Alsina, J., & Paricio Ansuátegui, I. (1999). *El tendido de las instalaciones*. Zaragoza: Bisagra.
- Jenkins, D., & Abel, C. (2009). *Norman Foster : Works. 5*. Munich: Prestel.
- Li Yin Kwan, J. (s.f.). *Lloyds Building , London*. Obtenido de Slide Player: <https://slideplayer.com/slide/3544340/>
- LLOYD'S OF LONDON, 1979-1984*. (11 de Octubre de 2014). Obtenido de All Vienna: <http://wien2025.info/?p=955>
- Lloyd's Building - Data, Photos & Plans*. (16 de Noviembre de 2019). Obtenido de Wikiarquitectura: <https://en.wikiarquitectura.com/building/lloyds-building/>
- McKean, J., & Russell, J. (1999). *Pioneering British "High Tech": James Stirling and James Gowan, Leicester University Engineering Building ; Foster Associates, Willis Faber & Dumas Building ; Richard Rogers partners*. Londres: Phaidon Inc Ltd.
- Meiss Rodríguez, A. (2018). *SUMINISTRO DE AGUA FRÍA SANITARIA EN LOS EDIFICIOS*. Valladolid: Ediciones Universidad de Valladolid.
- Neila González, F. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munillalera, Ediciones.
- Neila González, F. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias. Cuadernos de investigación urbanística N.º 41*, 89-99.
- Norman Foster Foundation. (2015). *Norman Foster Foundation Archive*. Obtenido de Norman Foster Foundation: <https://archive.normanfosterfoundation.org/es/inicio/inicio.do>
- Olgay, V. (1963). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton: Princeton University Press.

Pictures of Sainsbury Centre for Visual Arts, University of East Anglia, Norwich, Norfolk. (s.f.). Obtenido de See Around Britain: <https://seearoundbritain.com/venues/sainsbury-centre-for-visual-arts-university-of-east-anglia-norwich-norfolk-nr4-7tj/pictures>

Powell, K. (2006). *Richard Rogers : complete works. 1, Team 4, Richard + Su Rogers, Piano + Rogers, Richard Rogeres Partnership.* Londres: Phaidon.

Powell, K., & Torday, R. (2006). *Richard Rogers: Arquitectura del Futuro.* Basilea: Birkhäuser.

RSHP. (s.f.). *Lloyd's of London.* Obtenido de RSHP: <https://rshp.com/projects/office/lloyds-of-london/>

Sainsbury Center for Visual Arts - Data, Photos & Plans. (11 de Abril de 2018). Obtenido de Wikiarquitectura: <https://en.wikiarquitectura.com/building/sainsbury-center-for-visual-arts/>

SAINSBURY CENTRE FOR VISUAL ARTS, 1976-1977. (11 de Octubre de 2014). Obtenido de All Vienna: <http://wien2025.info/?p=954>

Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (2019). *Arquitectura y energía natural.* Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

Sudjic, D. (1986). *Norman Foster, Richard Rogers, James Stirling: New directions in British Architecture.* Londres: Thames and Hudson Ltd.

Thermal Stores. (s.f.). Obtenido de University of East Anglia: https://www.uea.ac.uk/about/university-information/sustainability/projects/-/asset_publisher/PeaY8phFOiQa/content/thermal-stores

Wellpot, E. (2009). *Instalaciones en los edificios.* Barcelona: Gustavo Gili.

Wignall, K. (17 de Septiembre de 2019). *Inside Lloyd's of London.* Obtenido de Look Up London: <https://lookup.london/inside-lloyds-of-london/>